

BBSR-
Online-Publikation
120/2024

Potenziale von Wasserkreisläufen zur gemeinschaftlichen und effizienten Energie- und Ressourcennutzung in nutzungsgemischten Baublöcken hoher Dichte

von

Prof. Dr. Jan Polívka
Alena Cohrs
Jonas Marschall
Dr. Martin Schulwitz
Sarah Frieze
Pauline Jegen
Dr. Antonia Rubarth
Anne Söfker-Rieniets
Dr. Steven März
Thomas Adisorn



Potenziale von Wasserkreisläufen zur gemeinschaftlichen und effizienten Energie- und Ressourcennutzung in nutzungsgemischten Baublöcken hoher Dichte

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.37

Projektlaufzeit: 11.2022 bis 11.2024

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Dr. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
zb@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

ILS Research gGmbH, Dortmund
Prof. Dr. Jan Polivka (Projektleitung)
jan.polivka@ils-forschung.de

Alena Cohrs, M. Sc.
alena.cohrs@ils-forschung.de

Jonas Marschall, M. Sc.
jonas.marschall@ils-forschung.de

Technische Universität Dortmund
Dr.-Ing. Martin Schulwitz
martin.schulwitz@tu-dortmund.de

Sarah Friese, M. Sc.
sarah.friese@tu-dortmund.de

Pauline Jegen, M. Sc.
pauline.jegen@tu-dortmund.de

RWTH Aachen University
Dr. Antonia Rubarth
rubarth@staedtebau.rwth-aachen.de

Dipl.-Ing. Anne Söfker-Rienits
soefker@staedtebau.rwth-aachen.de

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Dr. Steven März
steven.maerz@wupperinst.org

Thomas Adisorn, M. A.
thomas.adisorn@wupperinst.org

Redaktion

Claudia Becker

Stand

November 2024

Gestaltung

ILS Research gGmbH, Dortmund

Bildnachweis

Titelbild: RWTH Aachen University Lehrstuhl für Städtebau und Entwerfen und Institut für Städtebau und europäische Urbanistik, 2024
Alle weiteren Foto- und Bildnachweise siehe Abbildungsverzeichnis: S. 187

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Polivka, J.; Cohrs, A.; Marschall, J.; Schulwitz, M.; Friese, S.; Jegen, P.; Rubarth, A.; Söfker-Rienits, A.; März, S.; Adisorn, T., 2024: Potenziale von Wasserkreisläufen zur gemeinschaftlichen und effizienten Energie- und Ressourcennutzung in nutzungsgemischten Baublöcken hoher Dichte. BBSR-Online-Publikation 120/2024, Bonn.

Inhalt

Kurzfassung	6
Abstract	7
1. Forschungsziel	8
2. Ansatz und Methode	10
2.1. Die interdisziplinäre Forschungsgruppe	10
2.2. Ressourceneffizienz als übergeordnetes Ziel	11
2.3. Übergeordnete Methode	11
2.4. Die Fallstudienräume	13
2.5. Die Arbeitspakete	18
3. Kopplungspotenziale: Die Ressourcen der Nutzungsmischung als Chance	21
3.1. Das Leitbild als nutzungsgemischte Stadt	21
3.2. Hemmnisse und Herausforderungen des Ressourcenaustauschs im Rahmen der Nutzungsmischung	28
3.3. Die Ressourcen der Nutzungsmischung	31
3.4. Anwendung im Raum: Fokus Nutzungsmischung	37
4. Wasser als geteilte Ressource: Urbane Wasserkreisläufe und Technologiesysteme	40
4.1. Urbane Wasserkreisläufe in der klimaadaptiven Stadt	40
4.2. Der Energy-Water-Nexus	42
4.3. Technologiesysteme mit dem Fokus Wasser	42
4.4. Flexible Systeme: Funktionstypen in der Nutzungsmischung	46
4.5. Die Anwendung im Raum mit dem Fokus der Wasserkreisläufe	50
4.6. Handlungsempfehlungen für urbane Wasserkreisläufe und innovative Technologiesysteme mit dem Fokus Wasser	54
5. Akzeptanz und Hemmnisse innovativer Technologiesysteme	56
5.1. Theoretisch-konzeptionelle Grundlagen	56
5.2. Fallstudie: Abwasserwärmenutzung	61
5.3. Fallstudie: Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung	70
5.4. Spezifische Handlungsempfehlungen und ihre Anwendung im Raum: Akzeptanzsteigerung und Umsetzung innovativer Technologiesysteme	81
6. Räumliche Synthese	84
6.1. Städtebauliches Ziel der Testplanungen	84
6.2. Gesamtkonzept im Bestand: Kall	84
6.3. Gesamtkonzept im Neubau: Glasmacherviertel	102
6.4. Planungsrechtliche Einordnung der Gesamtkonzepte	117
6.5. Städtebauliche Gestaltungsprinzipien der Kopplung von Ressourcenströmen zur Stärkung von Nutzungsmischung	123
7. Der Transformationsprozess	129
7.1. Möglichkeiten und Grenzen der Wasserkopplung	129
7.2. Die Schlüsselakteurinnen und -akteure und ihr Netzwerk	131
7.3. Der Transformationsprozess	132

8. Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen für die Praxis	136
8.1. Handlungsfelder für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien	137
8.2. Schlüsselmomente der Transformation für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien	143
8.3. Handlungsempfehlungen für den Schlüsselmoment 1: Der Einbau von innovativen Technologiesystemen bei Gebäudeplanung und -errichtung	144
8.4. Handlungsempfehlungen für den Schlüsselmoment 2: Der Umbau zu innovativen Technologiesystemen bei Gebäudesanierung	152
8.5. Handlungsempfehlungen für den Schlüsselmoment 3: Der Ein- und Umbau zu innovativen Technologiesystemen durch Anpassung an Regularien und äußere Umstände	159
9. Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit	164
10. Ausblick	166
Mitwirkende	170
Autorinnen und Autoren	170
Weitere Mitwirkende	170
Praxispartner und Mitwirkende	170
Fachliche Betreuung	170
Administrative Betreuung	170
Literaturverzeichnis	171
Abbildungsverzeichnis	187
Tabellenverzeichnis	189
Anhang	190

Kurzfassung

Die vorliegende Studie untersucht betriebsbezogene Austauschpotenziale der Ressource Wasser in hochverdichteten, nutzungsgemischten innerstädtischen Baublöcken. Damit greift sie die aktuellen Rahmenthemen des urbanen Wachstums auf: Nachverdichtung, Energiewende und Ressourcenschutz sowie Klimawandel und Klimaanpassung zusammen mit Potenzialen der nutzungsgemischten Stadt unter besonderer Berücksichtigung von Wohnen und Gewerbe.

Zur Konzeptentwicklung sollen technische und akteursbezogene Aspekte zusammen mit städtebaulichen Rahmenbedingungen des Ressourcenaustauschs auf Baublockebene betrachtet werden. Ziel ist es, anhand der beiden Nutzungsarten den wechselseitigen Nutzen der Wasserkopplung für die Steigerung von Ressourcen- und Energieeffizienz zu identifizieren und die Konditionen ihrer Umsetzbarkeit zu benennen. Es sollen dabei planerische Rahmenbedingungen lokaler Energieerzeugung, Speicherung und Nutzung unter den oben genannten Anforderungen beurteilt werden. Unter anderem geht die Studie auf folgende Fragen ein: Welche Potenziale und Hemmnisse bestehen bei der Anwendung von wasserbasierten Kopplungstechnologien zwischen den Nutzungen Wohnen und (produzierendem) Gewerbe in dichten städtischen Baublöcken und das sowohl im Bestand wie auch im Neubau? Welche Aspekte davon liegen im Bestand, in der Technologie beziehungsweise den jeweiligen Akteurskonstellationen, und inwieweit lassen sie sich überwinden?

Damit sollen für hochverdichtete Baublöcke nicht zuletzt positive ökologische Effekte (Energiebedarfssenkung) sowie solche der Klimaanpassung vor Ort (Hitzeinselminderung durch Verbindung zu Grünkonzepten), Resilienzsteigerung (Wasserrückhaltung und Kreislaufnutzung), Energieersparnis (Kühlen, Heizen/Abwärmernutzung, Wärmerückgewinnung) und Betriebskostensenkung (Ressourcen- und Energieverbrauchsminderung) erreicht werden. Diese sollen akzeptanzfördernd auf die städtebaulichen Ziele der Nutzungsmischung wirken, indem Win-win-Situationen zwischen Gewerbe und Wohnen in hochverdichteten urbanen Lagen benannt und gehoben werden.

Auf der Grundlage von Best-Practice-Beispielen wurden in kooperativen Workshops mit Akteurinnen und Akteuren aus Handwerk und Bau mit der Research-by-Design-Methode in Testplanungen für zwei innerstädtische Brachen in den Städten Düsseldorf (Großstadt) und Kall (Kleinstadt) beispielhaft Konzepte zum Energie- und Ressourcenaustausch über das Medium Wasser zwischen den Nutzungen Wohnen und Gewerbe entwickelt und entsprechende allgemeine Schlussfolgerungen gezogen. Die Erkenntnisse aus den Testplanungen flossen in akteursbezogene Handlungsempfehlungen ein.

Abstract

The study examines the operational exchange potential of water resources in high-density mixed-use urban blocks. In doing this it addresses the current framework topics of urban growth: redensification, energy transition and resource protection as well as climate change and climate adaptation together with potentials of the mixed-use city with special consideration of housing and commerce.

To develop the concept, technical and stakeholder-related aspects are to be considered together with urban planning framework conditions for resource exchange at building block level. The aim is to identify the mutual benefits of water coupling for increasing resource and energy efficiency on the basis of the two types of utilisation and to specify the conditions under which it can be implemented. The planning framework conditions for local energy generation, storage and utilisation are to be assessed under the above-mentioned framework conditions. Among other topics the following questions will be addressed: What potentials and obstacles exist in the application of water-based coupling technologies between residential and (manufacturing) commercial uses in dense urban building blocks, both in existing and new buildings? Which aspects of this lie in the existing building stock, in the technology or in the respective constellations of actors and to what extent can they be overcome?

The aim is to achieve positive ecological effects for high-density building blocks (reduction in energy requirements) as well as climate adaptation on site (heat island reduction through connection to green concepts), increased resilience (water retention and circulatory use), energy savings (cooling, heating/waste heat utilisation, heat recovery) and reduced operating costs (reduction in resources and energy consumption). These are intended to promote acceptance of the urban development goals of mixed use by identifying and emphasising win-win situations between commercial and residential areas in high-density urban locations.

Based on best-practice examples, concepts for the exchange of energy and resources between residential and commercial uses via the medium of water were developed. This was achieved in cooperative workshops with stakeholders from trade and construction by means of the research-by-design-approach in test planning for two inner-city brownfield sites in the cities of Düsseldorf (urban metropolis) and Kall (small town in rural context). Corresponding general conclusions were drawn. The results of the test planning were incorporated into stakeholder-related guidelines.

1. Forschungsziel

Mit seinem Beschluss vom 24. März 2021 hat das Bundesverfassungsgericht bestätigt, dass die bis dato geltenden Regelungen im Klimaschutzgesetz nicht ausreichend waren und bislang insbesondere Maßnahmen zur deutlichen Emissionsminderung ab dem Jahr 2030 fehlten (BVerfG 2021). Den Zielsetzungen der deutschen Nachhaltigkeits- und Energiepolitik folgend ist die notwendige Emissionsminderung nicht nur durch emissionsarme Energieproduktion zu erreichen, sondern vor allem auch durch umfassende Energieeinsparungen (ebd.). Da rund 40 % des jährlichen Endenergieverbrauchs in Deutschland im Gebäudebetrieb anfällt, bestehen gerade dort erhebliche Energieeinspar- und Emissionsminderungspotenziale (Difu 2018: 245). Der Primärenergieverbrauch in Deutschland soll bis 2050 um 50% gegenüber 2008 gesenkt werden. Rund ein Drittel dieses Einsparziels entfällt auf den Gebäudesektor. Im Hinblick auf die langfristigen Klimaschutzziele spielen somit Gebäude und Stadtstrukturen eine entscheidende Rolle und das sowohl bei Neubau als auch im Bestand. Nachhaltigkeit im urbanen Metabolismus geht über die kompakte Siedlungsentwicklung und Nutzungsmischung hinaus und schließt zusammen mit dem den Energiesektor auch weitere Ressourcenströme ein. Diese gilt es zu optimieren und im Sinne der Circular Economy zu schließen (UBA 2019: 12). Effiziente Stoffkreisläufe wirken sich nicht nur positiv auf die Ressourcennutzung aus, sondern generieren oftmals positive Effekte von Ökosystemdienstleistungen (Kapsalis et al. 2019: 13). Hierbei wird das Wasser in der Stadt künftig als Ressource und Energieträger an Bedeutung gewinnen, sowohl im Hinblick auf die Klimaadaption als auch hinsichtlich eines effizienteren Ressourcenverbrauchs (Libbe et al. 2016: 114). Klimaschutz und die Transformation zu einer ressourceneffizienten Industriegesellschaft werden im Sinne einer generationengerechten und nachhaltigen Entwicklung zentrale gesamtgesellschaftliche Zielsetzungen der kommenden Dekaden sein (Europäische Kommission 2019: 3).

Wurden die Nutzungen von Gebäuden im Hinblick auf ihre Energie- und Ressourcenversorgung bislang als weitgehend eigenständige Bestandteile von Netzinfrastrukturen geplant und an meist zentralisierte Netze gekoppelt, soll in Zukunft ihr gegenseitiges Kopplungspotenzial genutzt werden. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass in einer Win-win-Situation Akteurinnen und Akteure bereit sind, Nutzungspartnerschaften einzugehen und in Maßnahmen zu investieren bzw. ihren Betrieb so auszurichten, dass auch bei höheren Dichten die Einhaltung der planerischen Vorgaben und Schutzvorschriften gewährleistet wird (UBA 2020: 66). Vor allem aus der Nutzungsmischung von Wohnen und Gewerbe ergeben sich Potenziale zum Energie- und Ressourcenaustausch, einerseits aufgrund unterschiedlicher Anforderungen, andererseits aufgrund ihrer angestrebten Nähe in dichten undutzungsgemischten innerstädtischen Quartieren (Gärtner et al. 2021: 7). In dichten urbanen Quartieren kann das Wasser als Medium besonders intensiv vielfältige Funktionen erfüllen: Als Energieträger kann es leicht Wärmeenergie absorbieren, speichern und transportieren. Gleichzeitig kann es selbst als Ressourcenträger für Nährstoffe und als lebenswichtige Ressource für Mensch und Umwelt betrachtet werden (Sigglow 2011; Schiller 2017). Zudem ist Wasser in der Stadt ein zentrales Thema der Klimaadaption (IPCC 2014: 67f.). Bislang fehlt in diesem Feld eine Studie, welche integriert die Potenziale und Grenzen der Nutzungsmischung und des Ressourcenaustauschs von Wohnen und kleinteiligem Gewerbe im Block

1. auf die technischen Möglichkeiten des Energie- und Ressourcenaustausches durch die Wasserkopplung untersucht,
2. Handlungsempfehlungen zur entsprechenden Kooperation der Akteurinnen und Akteure liefert und
3. die städtebaulich-räumlichen und planerischen bzw. baurechtlichen Gestaltungsprinzipien integriert betrachtet und sich so den komplexen realen Rahmenbedingungen im Siedlungsraum nähert.

Forschungsfrage und Zielsetzung

Das Projekt "Potenziale von Wasserkreisläufen zur gemeinschaftlichen und effizienten Energie- und Ressourcennutzung in nutzungsgemischten Baublöcken hoher Dichte" (im folgenden POWER) untersucht die betriebsbezogenen Austauschpotenziale der Ressource Wasser in hochverdichteten innerstädtischen Baublöcken. Dabei steht die Frage im Fokus, inwiefern Synergien zwischen den Ressourcenströmen unterschiedlicher Nutzungen in dichten urbanen Kontexten identifiziert und genutzt werden können, um den Ressourcenverbrauch insgesamt zu senken und die urbane Nutzungsmischung für die beteiligten Akteurinnen und Akteure attraktiver zu gestalten. Die Steigerung der Kosteneffizienz durch die Energieeinsparung soll die symbiotischen Mehrwerte der Kreislaufwirtschaft in der nutzungsgemischten Stadt hervorheben.

Ziel ist es, anhand der Nutzungsarten Wohnen und Gewerbe den wechselseitigen Nutzen von Wasserkopplung für die Steigerung von Ressourcen- und Energieeffizienz zu identifizieren und die Konditionen ihrer Umsetzbarkeit zu benennen. Damit sollen für hochverdichtete Baublöcke positive Effekte zur Klimaanpassung vor Ort (Hitzeinselminderung durch Verbindung zu Grünkonzepten), Resilienzsteigerung (Wasserrückhaltung und Kreislaufnutzung), Energieersparnis (Kühlen, Heizen/Abwärmenutzung, Wärmerückgewinnung) und Betriebskostensenkung (Ressourcen- und Energieverbrauchsminimierung) erreicht werden. Diese sollen akzeptanzfördernd auf die städtebaulichen Ziele der Nutzungsmischung wirken, indem Win-win-Beziehungen zwischen Gewerbe und Wohnen in hochverdichteten urbanen Lagen benannt und gehoben werden.

Auf der Grundlage von Best-Practice-Beispielen wurden in kooperativen Workshops mit Akteurinnen und Akteure aus Handwerk und Bau in Testplanungen für zwei innerstädtische Brachen in den Städten Düsseldorf (Großstadt) und Kall (Kleinstadt) beispielhaft Konzepte zum Energie- und Ressourcenaustausch über das Medium Wasser zwischen den Nutzungen Wohnen und Gewerbe entwickelt. Dabei liegt der Fokus im Bereich Gewerbe auf produzierenden Handwerksbetrieben. Zur Konzeptentwicklung sollen technische und akteursbezogene Aspekte zusammen mit städtebaulichen Rahmenbedingungen des Ressourcenaustauschs auf Baublockebene betrachtet werden. Die Erkenntnisse aus den Testplanungen fließen in Handlungsempfehlungen ein und werden für die induktive Ableitung von räumlichen Prinzipien aus den diskutierten und finalisierten Entwürfen für die profitable Nachbarschaft von Gewerbe und Wohnen mit hoher Akzeptanz genutzt.

Das Projekt möchte damit einen Beitrag zu Erhalt und Entstehung von nutzungsgemischten, ressourcenschonenden, klimaangepassten und zukunftsfähigen urbanen Quartieren leisten.

2. Ansatz und Methode

2.1. Die interdisziplinäre Forschungsgruppe

Das Projekt verfolgt einen interdisziplinären Ansatz mit umfassenden Expertisen der Projektpartnerinnen und -partner in den Teilbereichen Energie- und Ressourcensysteme, Städtebau und Mischnutzung sowie Akzeptanzforschung.

Zum Projektteam der wissenschaftlichen Partnerinnen und Partnern gehören:

- ILS Research gGmbH (ILS)

Die Schwerpunkte der ILS Research liegen in der Gesamtsteuerung des Forschungsprojekts (Lead Arbeitspaket 1) sowie in den planerischen, insbesondere rechtlichen Grundlagen der Nutzungsmischung und Immissionskonflikte, der städtebaulichen Kennwerte der Dichte und Flächennutzung, des Ressourcenverbrauchs und Wasserströme, der Ermittlung von zusätzlichen Kennwerten im Rahmen der Best-Practice-Beispiele und der zwei Fallstudienkonzepte (Lead Arbeitspaket 2).

- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (WI)

Die Schwerpunkte des Wuppertal Instituts im Projekt liegen auf der akteurszentrierten Analyse begünstigender und hemmender Faktoren für die Umsetzung und Akzeptanz der identifizierten Ansätze zum Energie- und Ressourcenaustausch in nutzungsgemischten Baublöcken (Lead Arbeitspaket 4).

- Technische Universität Dortmund, Fachgebiet Ressourcen- und Energiesysteme, Fakultät Raumplanung (TUD)

Die Schwerpunkte des Lehrstuhls Ressourcen- und Energiesysteme der TU Dortmund im Projekt sind die Zusammenstellung des Katalogs an Technologien zur Optimierung der Wasserkreisläufe für Energie- und Ressourceneffizienz (Lead Arbeitspaket 3) sowie die Entwicklung eines technischen Konzepts zum Energie- und Ressourcenaustausch im Wasserkreislauf.

- RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Städtebau und Entwerfen und Institut für Städtebau und europäische Urbanistik, Fakultät für Architektur (RWTH)

Die Schwerpunkte des Instituts für Städtebau der RWTH Aachen liegen im Projekt beim städtebaulichen Entwurf eines Baublocks und der Extrahierung von übertragbaren räumlichen Prinzipien als Grundlage für die langfristige Implementierung von Wohnen und Gewerbe in enger Nachbarschaft durch laufende Konkretisierung der in den Arbeitspaketen 2 - 4 ermittelten Ansprüche in den Entwurfsstudien sowie dem zusammenführenden Ergebniskatalog (Lead Arbeitspaket 5 - 6).

Das Projekt wurde ergänzend durch Prof. em. Dr.-Ing. J. Alexander Schmidt (Universität Duisburg-Essen; Supervision Synthese sektoraler Planungsbelange) beraten.

In den Projekt-Workshops und Werkstätten waren externe Stakeholder und Vertretende aus der Praxis von folgenden Institutionen vertreten: Gemeinde Kall (Wirtschaftsförderung), Verband der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft Rheinland Westfalen, Fachverband des Tischlerhandwerks Nordrhein-Westfalen, Planungsbüro Reicher Haase Assoziierte und der Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.

2.2. Ressourceneffizienz als übergeordnetes Ziel

Die mit dem Forschungsvorhaben angestrebte Steigerung der Ressourceneffizienz wird über drei Zugänge als Stellschrauben der Effizienzsteigerung von den vier Forschungspartnern und ihren jeweiligen disziplin-spezifischen Perspektiven betrachtet und diskutiert:

- Steigerung der Ressourceneffizienz durch die Stärkung der Nutzungsmischung zur Kopplung von Ressourcenströmen,
- Steigerung der Ressourceneffizienz durch die Herstellung und Optimierung von lokalen Energie- und Ressourcenaustauschsystemen auf Basis von Wasserkreisläufen und
- Steigerung der Ressourceneffizienz durch die Reduktion der Hemmnisse zur Steigerung der Akzeptanz und Umsetzbarkeit.

Begriffsdefinition Ressource

Mit dem Projekt wird die angestrebte Steigerung der Ressourceneffizienz hinsichtlich unterschiedlicher Kontexte urbaner Ressourcen betrachtet:

- Raum und Fläche als Ressource (Betrachtung durch Nutzungsmischung und städtebauliche Dichte, Kapitel 3),
- Energie (Wärme) und Wasser als Ressource (Betrachtung durch Kopplung von Kreisläufen und innovativen Technologien, Kapitel 4),
- Akteurinnen und Akteure in der Stadt als Ressource (Betrachtung durch Mapping der eingebundenen Akteure und Hemmnisanalyse, Kapitel 5).

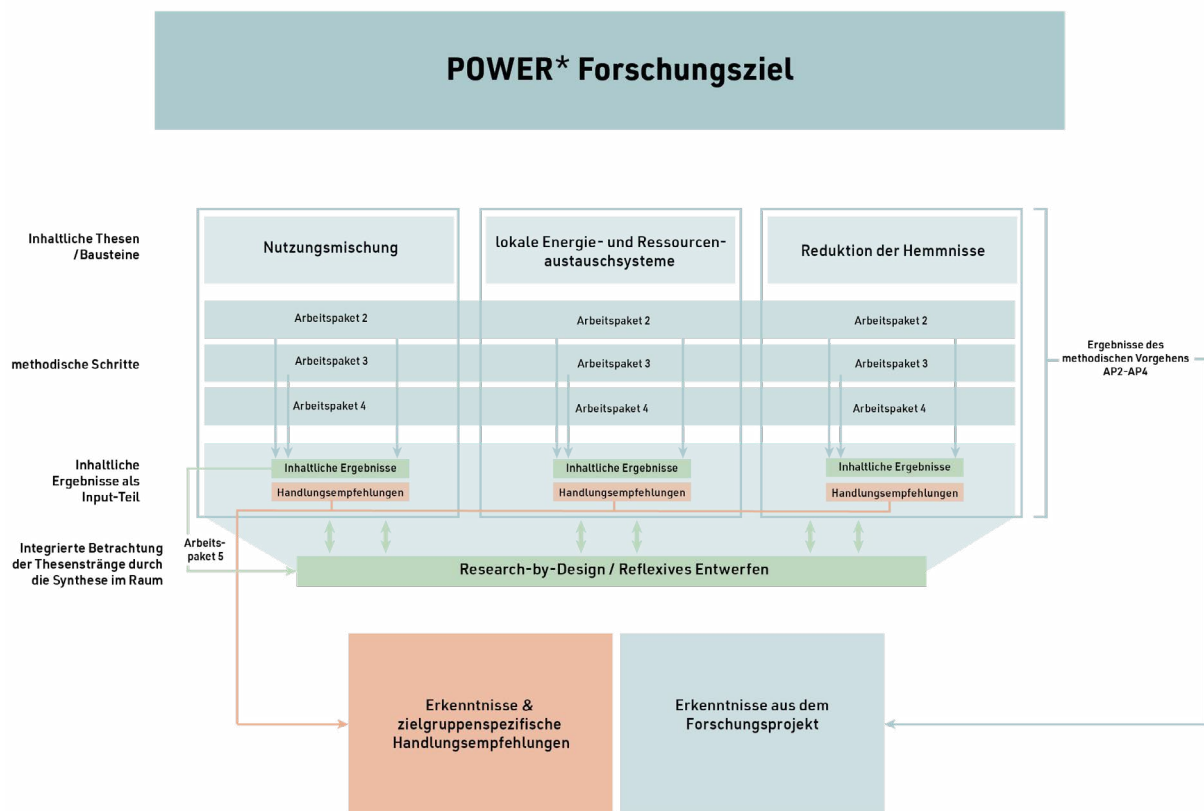
Auch werden besonders Wasser, Energie (Wärme) und Fläche als kritische Ressourcen im urbanen Raum verstanden, die durch ihre Verfügbarkeit oder Qualität einen wesentlichen Einfluss auf die Lebensqualität der Stadtbewohnenden und die wirtschaftlichen Entwicklungspotenziale haben (Bringezu 2023). Gleichzeitig stehen eben diese Ressourcen in immer geringer werdenden Umfang zur Verfügung. Der schonende Umgang durch den reduzierten Ressourceneinsatz und eine Kreislaufführung ist ausschlaggebend für die Nachhaltigkeit der Stadt (ebd.).

Aus diesem Grund wird mit dem Projekt nicht nur die Optimierung an den Einzelstellen angestrebt, sondern eine ganzheitliche Verknüpfung und Optimierung des Systems im Baublock erarbeitet.

2.3. Übergeordnete Methode

Im Fokus des Projekts stehen nicht die Entwicklung technischer Verfahren und die quantitative Bewertung der Effizienz, sondern die Überprüfung ihrer potenziellen Umsetzungsfähigkeit in bestehenden bzw. Neubaublöcken hoher Dichte aus der Sicht der Stadtplanung und technisch-infrastruktureller, städtebaulicher und gebäudekonzeptioneller Anforderungen sowie der Nutzerakzeptanz. Dafür verfolgt das Projekt einen Research-by-Design-Ansatz (Roggema 2017: 3). Für den räumlichen Bezug wurden zwei Fallstudienräume im Bestand und im Neubau ausgewählt. Diese dienen als Feld für städtebauliche Testplanungen, über die die technologischen Konzepte in einem städtebaulichen Rahmen kontextualisiert werden konnten. Zunächst wurden gemeinsam mit externen Stakeholdern aus der Praxis räumliche Strukturen und ein städtebauliches Leitbild als Grundlage für eine ko-kreative Weiterentwicklung der technisch-städtebaulichen Konzepte erarbeitet. Die

Abbildung 1: Übersicht des methodischen und inhaltlichen Projektaufbaus und -vorgehens



darauf aufbauenden Technologiekonzepte wurden im stetig abgleichenden, reflexiven Entwurf mit dem Städtebau weiterentwickelt. Auch die räumliche Organisation wurde stetig rekursiv durch die Erkenntnisse der Arbeitspakete, insbesondere denen der Akzeptanzforschung, bearbeitet.

Die interdisziplinäre Forschungsgruppe steht dabei repräsentativ für unterschiedliche Expertisen sowie auch Perspektiven aus der Praxis. Diese miteinander auszuhandeln und hinsichtlich der Lösungen Kompromisse zu definieren, war nicht nur Ziel des Forschungsvorhabens, sondern auch die begleitende Methode. Ein besonderer Fokus des Projekts lag auf den inhaltlichen und prozessualen Schnittstellen, die sich im Arbeitsprozess zwischen den einzelnen Disziplinen ergaben.

Methode: Ko-Kreation

Die Ko-Kreation als kooperative Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteurinnen und Akteure fand im Projekt auf zwei Maßstabsebenen statt. Die interne Ko-Kreation innerhalb der interdisziplinären Forschungsgruppe entstand durch den kontinuierlichen Austausch und die iterative Weiterentwicklung des Projekts in internen Workshops.

Der weitere Maßstab umfasste die Ko-Kreation mit externen Stakeholdern und Fachpersonen. Dazu wurden sowohl die städtebaulichen Entwürfe als auch die Technologiekonzepte in Online-Workshops im ko-kreativen Austausch mit den externen Stakeholdern (weiter-)entwickelt und evaluiert. Weitere bilaterale Fachpersoneninterviews dienten zur Erhebung praktischer Erfahrung im Umgang und in der Umsetzung von Mischnutzung und innovativen technischen Konzepten.

Tabelle 1: Konzeptionelle Übersicht der Tabelle der städtebaulichen und technischen Kennzahlen

Städtebauliche Kennzahlen	je Gebäude	Nutzungsart (je Geschoss), Funktionstyp, Geschlosszahl, BGF, Gebäudegröße (in qm), Dachfläche für Begrünung und PV
Technische Kennzahlen	je Gebäude	Bedarf an Wärme / Wasser

Methode: Research-by-Design und reflexives Entwerfen

Die räumlich-technischen Gesamtkonzepte wurden im Sinne des reflexiven Entwurfs – also im stetigen Austausch und Anpassen von Raum (Entwurf der zwei Testplanungsgebiete) und den Erkenntnissen der Forschung (Konstruktion der innovativen Technologiesysteme) – erzeugt (Buchert 2014: 68).

Dazu wurde als Hilfsmittel und Kommunikationsmedium zwischen der räumlichen Ebene und den Modellbetrachtungen von Energie- und Stoffströmen eine im Projekt designte Excel-Tabelle genutzt (siehe Anhang Anlage 1). Diese diente auch der Quantifizierung der Energie- und Ressourcenverbräuche in den Fokusgebieten der Fallstudien. Seitens des Städtebaus wurden aus den jeweiligen städtebaulichen Leitbildern Anforderungen definiert, die eben jene stadtplanerischen Ziele reflektieren (zum Beispiel die Verteilung von Wohn- und Gewerbeflächen, Verteilung der Wohnungsformen nach Anteilen). Aus diesen Daten ließen sich abschließend Rückschlüsse für die Handlungsempfehlungen zur Nutzungsmischung und für einen effizienten Umgang mit den Ressourcen ziehen. Die technischen Anforderungen, die sich aus den berechneten Energie- und Stoffströmen ergeben, wurden ebenfalls als Kennwerte in die Tabelle mitaufgenommen. Auf diese Weise wurden die Anforderungen und Möglichkeiten aufeinander abgestimmt entwickelt. Die Tabelle wurde im Verlauf des Projektes wiederholt an die Erkenntnisse aus der ko-kreativen Entwurfsarbeit angepasst. Zudem bieten die Daten die Möglichkeit, zwischen einem qualitativen Städtebau und den benötigten quantitativen Ergebnissen für die Technologien ein geeignetes Maß zu finden.

2.4. Die Fallstudienräume

2.4.1. Übergeordnete Ziele der Testentwürfe

Die im Projekt entwickelten baulich-technischen Konzepte zum Energie- und Ressourcenaustausch über das Medium Wasser zwischen den Nutzungen Wohnen und Gewerbe werden anhand von zwei Fallstudienräumen städtebaulich angewandt. Im Sinne von Research-by-Design (siehe Kapitel 2.3.), werden die baulich-technischen Konzepte in den zwei Testplanungen auf ihre städtebauliche Umsetzbarkeit geprüft und rückkoppelnd schrittweise weiterentwickelt.

Die Testplanungen erfolgen für zwei innerstädtische Brachen in den Städten Düsseldorf (Großstadt) und Kall (Kleinstadt) anhand beispielhafter Konzepte für den Städtebau, den Freiraum und die integrierten Nutzungen. Die Auswahl der beiden Fallstudienräume begründet sich in ihrer Repräsentativität für den hochverdichteten Baublock mit einer heterogenen Nutzungsstruktur und -mischung. Potenzielle Ressourcenströme sind vorhanden, jedoch nicht gekoppelt.

Das Glasmacherviertel (Düsseldorf, Großstadt) ist ein geplantes, großflächiges Stadtquartier auf einer Gewerbekonversionsfläche. Damit steht die Fallstudie repräsentativ für die Neubauquartiere, die aktuell in diversen deutschen Großstädten als Stadtergänzungen und -erweiterungen entstehen, um unter anderem der Wohnraumkrise zu begegnen. Das Fallstudiengebiet in Kall (Kleinstadt) wurde charakteristisch für die dichte gewachsene Stadt und ländliche Ortskerne gewählt. Als heterogenes Bestandsquartier repräsentiert es komplexe Bau- und Eigentumsstrukturen. Auf die Auswahl der Fallstudienräume wird im folgenden Kapitel weiter eingegangen.

2.4.2. Die ausgewählten Fallstudienräume

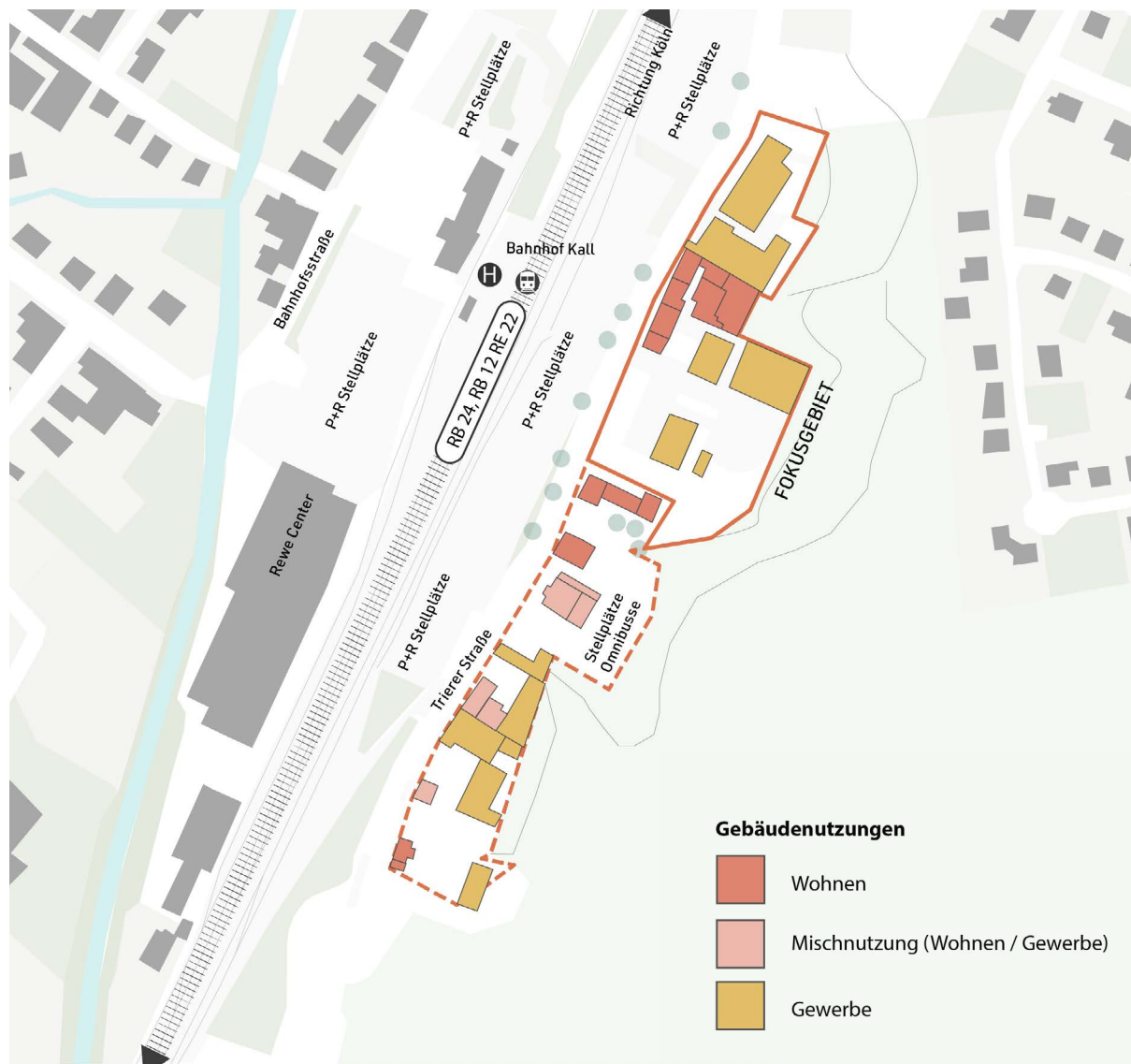
Fallstudienraum 1: Kall (Kreis Euskirchen)

Das Plangebiet „Kall“ liegt in der Gemeinde Kall im Kreis Euskirchen (NRW). Abgegrenzt wird es im Westen durch die Bahnlinie Kall – Köln mit dem Haltepunkt „Kall“ sowie der Trierer Straße. Im Norden endet das Plangebiet aufgrund der Topographie in einer Brachfläche. Östlich wird das Plangebiet ebenfalls durch einen steilen Hang abgegrenzt. Im Süden geht das Gebiet in ein Waldstück über. Westlich des Bahnhofs verläuft der Fluss Urft, welcher zuletzt im Sommer 2021 bei einem Hochwasser zu starken Überschwemmungen geführt hat. Das höher gelegene Plangebiet war nur wenig betroffen; einzelne Gebäude konnten mit Sandsäcken gesichert werden. Bei Starkregenereignissen, die Auswirkungen auf den Wasserstand der Urft haben, würde das Plangebiet voraussichtlich nicht überflutet werden. Für das Plangebiet liegt ein Bebauungsplan aus dem Jahr 1979 vor, welcher das Gebiet als Mischgebiet (MI) kennzeichnet und Teil des Bebauungsplans „Kall Ortsmitte“ ist. Das Gebiet weist heterogene städtebauliche (Nutzungs-) Strukturen auf. So besteht das Gebiet unter anderem aus Gewerbehallen, Einzelhandel, Mehr- und Einfamilienhaus-Wohnen, Garagen sowie Handwerks- und Gewerbebetrieben. Bestehende Unternehmen sind ein Fahrradgeschäft und ein Garten- und Landschaftsbauunternehmen sowie die gemeinnützige Institution Kinder- und Jugendhilfe. Das Plangebiet weist neben Fragmenten einer offenen Blockrandstruktur im Hofbereich Hallenstrukturen mit überwiegend versiegelten Flächen auf. Ein Teil der Flächen und Gebäude im Plangebiet liegen brach. Das Plangebiet hat keinen Fernwärmeanschluss und wird im Wärmesektor mit fossilen Energiequellen wie Gas und Heizöl versorgt. Auf den Gebäuden befinden sich keine PV-Anlagen oder Ähnliches.

Abbildung 2: Luftbild der Fallstudie Kall (Foto: Uwe Grützner)



Abbildung 3: Kall - Analysekarte der Bestandssituation (ohne Maßstab)



ohne Maßstab

Fallstudienraum 2: Glasmacherviertel (Düsseldorf)

Das Plangebiet „Glasmacherviertel“ befindet sich im Stadtbezirk 7 im Osten Düsseldorfs. Abgegrenzt wird es im Westen durch die Straße „Nach den Mauresköthen“, der Heyestraße im Osten und der Bahnlinie Düsseldorf – Wuppertal/Mettmann mit dem S-Bahnhaltepunkt Düsseldorf-Gerresheim im Süden. Durch das westliche Plangebiet verläuft zurzeit die noch verrohrte nördliche Düssel. Im Untersuchungszeitraum war das Glasmacherviertel eine Brachfläche und Bauerwartungsland. Einzig als Denkmäler an die Glashütten bleiben die Elektrozentrale, das Kesselhaus, das Heyebad und der Glasturm bestehen. Ebenfalls unter Denkmalschutz steht das angrenzende Bahnhofsgebäude. Aktuell wird eine Fläche im Osten des Plangebiets als P&R-Fläche an die Stadt vermietet. Für das Plangebiet östlich der Düssel besteht ein Bauleitplanverfahren. Der dazugehörige Flächennutzungsplan befindet sich in der Genehmigung. Aktuell (Stand Februar 2024) ist der Bebauungsplan (Nr. 07/007 Glasmacherviertel) in zwei Planungsabschnitte unterteilt. Im Südwesten und Südosten des Plangebietes liegen noch ungeklärte Grundstücksverfügbarkeiten vor, weswegen das Gebiet in zwei Planungsabschnitte geteilt wurde. Für das nördliche Plangebiet soll zeitnah Planungsrecht geschaffen werden. Im westlich gelegenen Planungsgebiet der Düssel-Aue sind keine formellen Planungen vorhanden. Obwohl durch das Gebiet die Düssel fließt, ist das Plangebiet nicht von Hochwasser betroffen (Stadt Düsseldorf 2024). Die vorhandene Senke im Plangebiet würde bei Starkregen zu Überflutungen führen, soll aber entsprechend modelliert werden (Stadt Düsseldorf 2024). Dachbegrünungen sowie ein Regenrückhaltebecken im geplanten Park, welcher in einer Frischluftschneise liegt, dienen der Hitzeminderung sowie der Ableitung/Aufnahme von Regenwasser. Für das Plangebiet ist ein Fernwärmeanschluss geplant, darüber hinaus werden aktuell die Möglichkeiten eines Wärmenetzes 4.0 geprüft. Die dafür benötigte Kraftzentrale soll im denkmalgeschützten Kesselhaus der ehemaligen Glashütte untergebracht werden. Die neu zu errichtenden Gebäude sollen ein DGNB-Zertifikat erhalten, um die besonders hohen Nachhaltigkeitsansprüche des Neubaus zu belegen.

Abbildung 4: Luftbild der Fallstudie Kall (Foto: Uwe Grützner)



Abbildung 5: Glasmacherviertel - Analysekarte der Bestandssituation (ohne Maßstab)



2.5. Die Arbeitspakete

Das Gesamtvorhaben gliedert sich in sechs Arbeitspakete (AP) zu je einem inhaltlichen Schwerpunkt. Der Lead der Arbeitspakete wurde je von einer der Forschungspartnerinstitutionen mit dem entsprechenden fachlichen Schwerpunkt übernommen.

Die Arbeitspakete gliedern sich wie folgt:

AP 1: Management des Vorhabens (Lead ILS)

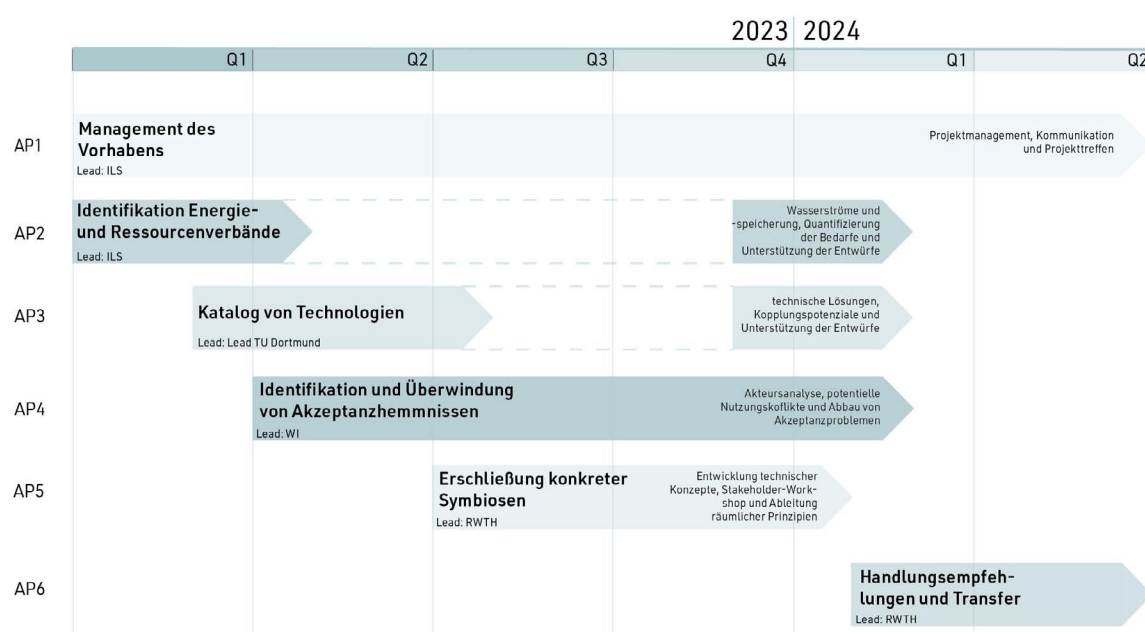
Das AP1 sicherte eine zielgerichtete Durchführung des Vorhabens durch die Einbindung aller Projektpartner und der Kommunikation mit den externen Projektbeteiligten sowie die organisatorische und administrative Begleitung des Projekts.

AP 2: Identifikation relevanter Energie- und Ressourcenverbräuche sowie Wasserströme (Lead ILS)

Leitfrage: Welche Bedarfe an der Ressource Wasser und die in ihm enthaltene Energie haben Wohnnutzungen und Handwerk und welche Emissionen entstehen?

Zunächst wurden in AP2 die Betriebsarten der Nutzungen festgelegt, die für die Studie relevant sind (Wohnen und Gewerbe). Die gewerblichen Nutzungen, insbesondere die des Handwerks, wurden hinsichtlich ihrer Emissionen bei der Etablierung in Mischgebieten (gem. BauNVO und zur Projektzeit aktueller Rechtsprechungen) rechtlich geprüft. In einer strukturierten Literaturrecherche im Abgleich mit Recherchen zu Beispielen aus der Praxis wurden die anfallenden Energie- und Ressourcenverbräuche in ihren verschiedenen Nutzungsarten ermittelt. In gleicher Form wurden die emittierten Emissionen durch die verschiedenen Nutzungen identifiziert, um Nutzungspotenziale aufzuzeigen. Analog dazu wurden auch die relevanten Wasserströme (Frisch- und Abwasser) hinsichtlich unterschiedlicher Nutzungsarten und potenzielle Orte im Gebäude und Baublock zur Wasserspeicherung herausgearbeitet. Die Ergebnisse der Energie- und Stoffstromanalyse wurden zur Ermittlung und Berechnung der quantitativen Grundlage für die Entwicklung technischer Konzepte im späteren AP 5 (als Vergleichsgrundlage des Status quo) aufbereitet.

Abbildung 6: Projektverlauf und Arbeitspakete



Die sich daraus ergebenden ressourcenbezogenen und räumlichen Maßgaben wurden auf die Testplanungen in Düsseldorf-Gerresheim und der Gemeinde Kall angewandt. Im Sinne des Research-by-Design-Ansatzes (Roggema 2017: 8) entstanden in rekursiver Weiterentwicklung der zwei städtebaulichen Entwürfe für beide Räume spezifische Konzepte zu Nutzungen und zum Umgang mit Energie- und Stoffströmen.

Die Ergebnisse des AP2 werden in Handlungsempfehlungen verallgemeinert und abstrahiert für das AP6 zusammengefasst dargestellt.

AP 3: Katalog der Technologien zur Optimierung von Wasserkreisläufen für Energie- und Ressourceneffizienz (Lead TU Dortmund)

Leitfrage: Welche Kopplungsmöglichkeiten ergeben sich aus diesen Emissionen und Bedarfen?

Das AP 3 verfolgte das Ziel, eine übersichtliche Sammlung aktueller relevanter Technologien und weiterer Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz sowie zur Identifikation möglicher Schnittstellen für und zwischen den Nutzungsarten Wohnen und Gewerbe zu erstellen. Die Auswahl der für die Studie relevanten Technologien und Maßnahmen erfolgte über eine Analyse von erfolgreichen und nicht erfolgreichen Praxisbeispielen der Effizienzsteigerung und des Ressourcenaustauschs auf der Baublockebene. Die Bewertung erfolgte über die vorher erstellten Kriterien, mit dem Fokus auf Technologien, die Wasser als Ressource oder Energieträger effizient nutzen. Daraus extrahierend wurden technische Lösungen und Maßnahmen zur gemeinschaftlichen und effizienten Energieversorgung und Ressourcennutzung im Wasserkreislauf gesammelt und anhand von Steckbriefen mit dem Fokus auf In- und Output-Ströme aufbereitet. Um Schnittstellen und Kopplungspotenziale zwischen den gelisteten Technologien zu identifizieren, wurden die ausgewählten Beispiele hinsichtlich ihrer baulichen Integration und möglicher Hemmnisse (baulich, rechtlich, ökonomisch) vertieft betrachtet. Die Ergebnisse aus dem Technologienkatalog wurden vorbereitend zur Erstellung der technischen Konzepte in AP5 wieder auf die Gebiete der Testplanungen in Neubau und Bestand angewandt und (raumbezogen) evaluiert.

Durch einen Workshop im September 2023 wurden die Ergebnisse der Recherchen mit den Nutzungskonzepten sowie den Erkenntnissen zur Ressource Wasser im Baublock aus AP2 und AP3 mit Akteurinnen und Akteuren aus der Praxis abgeglichen, ergänzt und evaluiert.

Die Ergebnisse des AP3 werden in Handlungsempfehlungen verallgemeinert und abstrahiert für das AP6 zusammengefasst.

AP 4: Identifikation und Überwindung von Akzeptanzhemmnissen in der Nutzungsmischung (Lead WI)

Leitfrage: Welche akteursbezogenen Rahmenbedingungen sind zur Umsetzung von o. g. Arten des Ressourcenaustausches notwendig?

Im AP4 sollten die für die zuvor erstellten Nutzungs- und Technologiekonzepte relevanten Akteurinnen und Akteure, deren Anforderungen und Interessen sowie potenzielle Nutzungskonflikte identifiziert werden. Dazu wurden die relevanten Akteurinnen und Akteure der in AP3 identifizierten Nutzungs- und Technologiekombinationen ermittelt und in Form von Interviews mit Vertretenden dieser Gruppen aus der Praxis eingebunden. Dabei wurden die akteursspezifischen Erwartungen und Nutzungsbedarfe erfasst und dargestellt, um später den entsprechenden Mehrwert aus den identifizierten Nutzungs- und Technologiekombinationen aufzeigen zu können. Die Ergebnisse dieser Sammlung aus den Interviews wurden mit dem Ziel des Abbaus von Akzeptanzproblemen neuer Technologiesysteme gegenübergestellt und in Form von Handlungsempfehlungen zur Bewältigung von Akzeptanzproblemen ausgewertet. Durch die Anwendung auf die zwei Gebiete der Testplanungen wurden die ortsspezifischen Herausforderungen deutlich und im reflexiven Entwurf geglättet.

Die Ergebnisse des AP4 werden in Handlungsempfehlungen verallgemeinert und abstrahiert für das AP6 zusammengefasst.

AP 5: Erschließung konkreter Symbiosen des Energie- und Ressourcenaustausches in der Mischnutzung (Lead RWTH)

Leitfrage: Welche städtebaulichen Rahmenbedingungen urbaner Dichte begünstigen die Umsetzung von o. g. Arten des Ressourcenaustausches?

Im AP5 wurden die Kopplungspotenziale von Nutzungs- und Technologiekonzepten in den städtebaulichen Entwürfen konkretisiert. Die in AP3 identifizierten Technologien wurden zu neuartigen Energie- und Ressourcenaustauschsystemen gekoppelt. Die Quantifizierung der Kopplungspotenziale erfolgte über die Berechnung der (Ab-)Wasser-, Energie- und Ressourcenströme der zwei Testplanungen im Abgleich mit den Energie- und Ressourcenströmen im Status quo aus AP2. Die städtebaulichen und technischen Gesamtkonzepte wurden anhand ihres räumlichen Kontexts und der vorliegenden Bebauungspläne in Düsseldorf und Kall planungsrechtlich eingeordnet und geprüft. Für beide Gebiete wurden daraus planungsrechtliche Empfehlungen zur Umsetzbarkeit der angestrebten Nutzungs- und Technologiekonzepte getroffen. Die zwei Konzepte aus Technologiesystem und Städtebau in einem gesamtsystemischen Ansatz wurden in einem zweiten Workshop im März 2024 erneut mit Partnerinnen und Partnern (aus der Gebäudeenergieberatung und Wärmeplanung) aus der Praxis evaluiert, um die Einschätzung der technischen und städtebaulichen Umsetzbarkeit im Baublock einzuholen.

Die Ergebnisse des AP5 werden in Handlungsempfehlungen verallgemeinert und abstrahiert für das AP6 zusammengefasst.

AP 6: Handlungsempfehlungen und Transfer (Lead RWTH)

Die Handlungsempfehlungen der AP2 bis 5 wurden in einem Ergebniskatalog in AP6 zusammengefasst und aufbereitet. Das Ziel des Ergebniskatalogs ist es, die Projektergebnisse integriert darzustellen und den potenziellen Weg der Konzepte in Richtung Praxis aufzuzeigen. Hierbei werden die einzelnen Handlungsempfehlungen zu den Themenfeldern Nutzungsmischung, innovative Technologiesysteme mit Fokus der Ressource Wasser und Hemmnissen- und Akzeptanzforschung integriert betrachtet und an ihren Schnittstellen diskutiert. So werden auch die wechselwirkenden Hemmnisse und Herausforderungen zwischen den Handlungsempfehlungen deutlich.

3. Kopplungspotenziale: Die Ressourcen der Nutzungsmischung als Chance

3.1. Das Leitbild alsutzungsgemischte Stadt

Ziel für das Projekt ist die Verortung unterschiedlicher Nutzungen innerhalb eines Baublocks, die ressourcen-effiziente Wechselwirkungen ermöglichen. Im urbanen System werden die verschiedenen Nutzungen nach Gewerbe, Wohnen und Gemeinbedarf unterschieden. Letzterer beinhaltet eine Vielzahl von Verwaltungs-, Gesundheits- und sozialen Nutzungen. Für einen Ressourcenaustausch zwischen Gewerbe und Wohnen kommt aus baurechtlichen, bauordnungsrechtlichen sowie technisch- funktionalen Gründen allerdings nur eine eingeschränkte Zahl von urbanen Nutzungen in Betracht. Diese Rahmenbedingungen werden bei der folgenden Auswahl von Nutzungen mit Kopplungspotenzial in dicht bebauten städtischen Blöcken betrachtet.

Um für verschiedene Nutzungen innerhalb eines Blocks Standorte anbieten zu können, ist zunächst eine genaue Analyse der örtlichen Gegebenheiten am zu beplanenden Ort notwendig. Hierzu gehören neben Infrastrukturen wie die verkehrliche Erschließung und Orientierung der verschiedenen Seiten des Baublocks auch die Belastungen durch Emissionen von benachbarten Funktionen oder Verkehr und bestehende Einrichtungen und Gebäude. Die Standortbedarfe von verschiedenen Nutzungen sind dabei so zu strukturieren, dass in jeder Lage die physische Struktur des Baublocks mehrere Nutzungen erfüllen kann, um eine dauerhafte Nutzungsflexibilität zu sichern. Dies kann entweder anhand der Entwicklung mehrerer Szenarien erfolgen oder durch die Festlegung eines kleinsten gemeinsamen Nenners an Gestalt und Form der baulichen Strukturen. Beide Zugänge zeigen dabei Grenzen: Je spezifischer die Anforderungen und die baulichen Umsetzungen, desto weniger wandlungsfähig sind die Gebäude und desto spezifischer sind auch die baurechtlichen Anforderungen. Dies gilt neben stark emittierenden Gewerben auch für besondere betriebliche Sicherheits- und Ablaufbedarfe. Nicht um jeden Preis muss daher jede Art von Gewerbe mit Wohnen und anderen Nutzungen koexistieren. Dennoch lassen sich Kombinationen mit günstigen Kopplungseigenschaften finden. Diese liegen im besonderen Interesse des Projekts.

3.1.1. Grundlagen der urbanen Nutzungsmischung

Ressourcen für Produktion und alltäglichen Bedarf werden zunehmend teurer. Ihre Gewinnung und ihr Einsatz sind zudem mit negativen Folgen für die Umwelt und Natur verbunden. Für ihre Bereitstellung werden darüber hinaus noch zu einem großen Anteil fossile Energieträger benötigt, die während der Energieumwandlung Schadstoffe freisetzen. Diese haben gravierende Veränderungen von Natur und Klima zur Folge. Es gilt daher, einerseits den Verbrauch fossiler Energieträger in einem erheblichen Maße durch Effizienzmaßnahmen zu reduzieren und andererseits den Einsatz von Naturressourcen effizienter zu gestalten. Die Städte sind weltweit aufgrund der Konzentration von Menschen und ihrer Lebensinfrastrukturen die größten Ressourcen- und Energieverbraucher. Laut Bettencourt (2013) sinkt allerdings der Bedarf an Infrastrukturen und somit auch Ressourcen per capita mit der wachsenden Größe der Stadt bzw. Agglomeration. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Patente im Verhältnis zu ihrer Größe überproportional an. Es liegt also in Städten ein Wertschöpfungs- und Ressourceneffizienzpotenzial, das bei Effizienzmaßnahmen zu einer weiteren Reduzierung des Ressourcenverbrauchs beitragen kann.

Die agglomerativen Vorteile städtischer Siedlungsstrukturen liegen dabei unter anderem in ihrer Dichte und Diversität von Nutzungen (Roskamm 2012). Trotz Globalisierung, Digitalisierung und Virtualisierung der Ressourcenflüsse und Informationen bleibt räumliche Nähe weiterhin entscheidend für die Agglomerationsvorteile, was unter anderem die Konzentration von Einwohner- und Arbeitsplätzen in sog. Schwarmstädten beweisen (Heider et al. 2024).

Innerhalb der städtischen Strukturen tragen einzelne Nutzungsräume, Nachbarschaften bzw. Quartiere als Ressourcensenken und -quellen sowie zum Austausch dieser Ströme bei. Je kleinteiliger die funktionale Mischung, desto intensiver ist der lokale Ressourcenaustausch. Eine Vielfalt von Funktionen bieten Vorteile für soziale und ökonomische Entwicklungen. Der Bezug zum Quartier wird durch das Wohnen und Arbeiten gestärkt, die Vereinbarkeit von Beruf und Familie erleichtert und lokale Ökonomien gefördert (Roskamm 2011; Deutsches Institut für Urbanistik und Bergische Universität Wuppertal 2015; Brandt/Gärtner/Meyer 2016). Der Erhalt und der Schutz von vielfältigen urbanen Funktionen wie Wohnen, Einzelhandel, Vertrieb, Produktion und Gemeinbedarf in einer kleinteiligen Mischung muss also eines der Ziele der Stadtentwicklung sein.

Trotz dieser Notwendigkeiten kann eine Verdrängung vieler Funktionen aus dem urbanen Raum beobachtet werden. Während des hohen Urbanisierungsdrucks der 2010er Jahre wurden in den großen Städten Entmischungstendenzen nachgewiesen (Polívka 2020). Im Lokalen wurden Produktionsbetriebe, insbesondere Handwerk, langfristig aus Innenstadtrandbereichen verdrängt (Söfker-Rieniets und Schmidt 2022). Aufgrund von Vermeidung gegenseitiger funktionsbedingter Störungen durch Emissionen werden in der Stadtplanung und Architektur generell schutznormenkonforme Maßnahmen der Funktionstrennung umgesetzt. Diese haben eine Entflechtung von Funktionen zur Folge, insbesondere zwischen der privilegierten Wohnnutzung und Gewerbe bzw. Produktion. Zusammen mit Urbanisierungsdynamiken und kapitalgetriebener Bevorteilung finanzstärkerer Nutzungen verstärkt sich vor allem während der Urbanisierungsphasen das Ungleichgewicht in der raumbezogenen Nutzungsentwicklung städtischen Raums und führt zu lokaler Entmischung.

Diese Tendenzen haben einen Einfluss auf die Ressourcenflüsse. Zwar liegen bislang keine Gesamtstudien zur Verteilung von Agglomerationsvorteilen zwischen regionaler, gesamtstädtischer und Quartiersebene vor. Allerdings zeigen Studien zur Nutzungsverteilung, dass Funktionstrennung trotz Skalenvorteilen z.T. erheblich zur Steigerung von Transportwegen und somit Verkehrsaufkommen und entsprechendem Verbrauch von Ressourcen führen (Hanson 2001).

Mit dem Blick auf die Ressourcen- und Energieverbräuche spielt die Nutzungsmischung und Dichte hinsichtlich der Schaffung von bezahlbarem Wohnraum und Arbeitsflächen unter der Prämisse des sparsamen Umgangs mit Flächen und den damit verbundenen Nachverdichtungen eine entscheidende Rolle. Hierfür sind Strategien gefragt, mit denen die Vorteile der Nachbarschaft verschiedener Funktionen hervorgehoben und gefördert werden können (WGBU 2016). Diese liegen vor allem in der Nachbarschaft von Energie- und Stoffquellen sowie -senken und ihren Synergien. Ziel ist es dabei, den Austausch von Energie- und Stoffressourcen dezentraler und vor allem flexibler zu gestalten. Der Grund liegt einerseits in den ungehobenen Potenzialen gegenseitiger Ressourcennutzung; Abwärme etwa kann für unmittelbar benachbarte Nutzungen als Energiequelle genutzt werden und somit den Energiebezug aus dem Globalnetz reduzieren. Gleichzeitig lässt sich die Resilienz lokaler Netze durch ihre Anbindung an die Gesamtnetze steigern, denn eventuelle Schwankungen können so ausgeglichen werden. Dies zeigt, dass dezentrale, lokale Netze allein nicht die Resilienz der großen Systemnetze besitzen. Diese wiederum funktionieren effizient nur unter kontinuierlicher Einspeisung und unter Trennung einzelner Medien und Energieflüsse. Daher zeigt eine Kombination lokaler und übergeordneter Ressourcen- und Netzstrukturen die höchste Effizienz bei niedrigsten externen Ressourceninputs und -outputs. Modi der ebenenbezogenen Infrastrukturkopplung und entsprechender Energieflüsse sind derzeit noch nicht abschließend ausgehandelt und hängen perspektivisch im entscheidenden Maße einerseits von den technischen Möglichkeiten der einzelnen Systeme, andererseits von ihrer konzeptionellen Programmierung hinsichtlich der Energieflüsse und genereller Ansprüche an Nachhaltigkeit, Resilienz und Effizienz, ab. Besondere Stellschrauben stellen dabei die Rahmenbedingungen der Gewinnung und Nutzung bzw. Austausch von lokalen Ressourcen sowie die Flexibilität der übergeordneten Netze und die Nachhaltigkeit ihrer Ressourcen- bzw. Energiezufuhr dar. Das generelle Ziel ist jedoch bereits klar: Der Wechsel zu nachhaltigem Energie- und Ressourcenverbrauch, welcher vor allem zwei Schlüsselvoraussetzungen als Grundlage hat - den vollständigen Wechsel auf klimaneutrale Energiequellen und die Reduktion negativer Folgen für die Natur durch die Gewinnung von Energien und Rohstoffen sowie die bedeutende Effizienzsteigerung beim Energie- und Ressourcenverbrauch, und somit die Senkung von Energie- und Rohstoffverbrauch (UBA 2022).

Für die lokale Ebene der Stadt bedeutet dies, die kleinteilige Nutzungsmischung und urbane Dichte zusammen mit Ressourcenaustausch und -effizienz zu denken. Bislang birgt die Nähe verschiedener Nutzungen neben funktionalen Vorteilen durch Nutzungsmischung insbesondere den Austausch und leichten Zugriff auf Dienstleistungen in Bezug auf Energieressourcen, jedoch gibt es kaum systemische Verbindungen. Die Ver- und Entsorgung sind lokal vollständig entkoppelt. Was eine Konvenienz und bisher auch Stabilität und Sicherheit geboten hat, zeigt sich aufgrund der o.g. Rahmenbedingungen als zunehmend teuer, ineffektiv und nicht nachhaltig bzw. resilient. Daher rücken die Kopplung und Austausch lokaler Ressourcen bzw. Energie in den Vordergrund des Interesses. Die Hoffnung ist auch, dass sich neben der Ressourceneffizienz und monetären Einsparungen aus diesen Synergien auch eine größere Akzeptanz und Vermarktbarkeit ergeben und die funktionale und bauliche Dichte sich langfristig stärker etablieren kann.

3.1.2. Planungsrechtliche Ausgangssituation der Nutzungsmischung

Zur Umsetzung von Konzepten der Nutzungsmischung in der Praxis bedarf es der Anwendung planerischer Instrumente. Die Zuordnung und Sicherung von Flächen zur Umsetzung der städtebaulichen Entwicklungskonzeption der Gemeinde beginnt bereits im Flächennutzungsplan. Auf der nachfolgenden Ebene verbindlicher Bauleitplanung erfolgen dann die rechtsverbindlichen Festsetzungen für die Zulassung einzelner angestrebter Vorhaben. Die Planungen können projektoffen oder -bezogen sein und zur Sicherung der Planungsziele mit einem städtebaulichen Vertrag flankiert werden, in dem Finanzierungsfragen bzw. weitere Verpflichtungen unter anderem zur Unterhaltung, Nutzung und zum Betrieb geregelt werden können. Die Einsatzmöglichkeiten sind darüber hinaus hinsichtlich des Besonderen Städtebaurechts und der damit verbundenen Mittel der Städtebauförderung zu betrachten (siehe zu den planungsrechtlichen Modalitäten der Umsetzung, Kapitel 6.4.)

Die zentrale Bedeutung des Planungsrechts für die Umsetzung der Planungskonzepte verdeutlicht die Frage nach der zulässigen Zusammensetzung bzw. Koexistenz und Nähe. Die Nutzungskonzepte zum Energie- und Ressourcenaustausch sollen als Bestandteile gemischter Quartiere Unterbringungsmöglichkeiten für produzierendes Gewerbe und handwerkliche Nutzungen beinhalten. Diesem entspricht eine Überplanung der benötigten Flächen als Mischgebiet nach § 6 BauNVO oder als urbanes Gebiet nach § 6a BauNVO. In Abs. 1 und 2 der §§ 6 und 6a BauNVO wird die Art der zulässigen Nutzungen in typisierender Weise bestimmt. So sind im Mischgebiet und im urbanen Gebiet nur solche Gewerbebetriebe zulässig, die das Wohnen nicht wesentlich stören. In Mischgebieten sind nach § 6 Abs. 2 BauNVO als gewerbliche Nutzungen Geschäfts- und Bürogebäude, Einzelhandelsbetriebe, Schank- und Speisewirtschaften, Betriebe des Beherbergungsgewerbes, sonstige Gewerbebetriebe, Gartenbaubetriebe, Tankstellen und Vergnügungsstätten im Sinne des § 4a Absatz 3 Nummer 2 BauNVO in den Teilen des Gebiets, die überwiegend durch gewerbliche Nutzungen geprägt sind, zulässig. Nach § 6a Abs. 2 BauNVO gehören zum zulässigen Gewerbe Geschäfts- und Bürogebäude, Einzelhandelsbetriebe, Schank- und Speisewirtschaften, Betriebe des Beherbergungsgewerbes und sonstige Gewerbebetriebe. Die handwerklichen Nutzungen fallen dabei unter „sonstige Gewerbebetriebe“, die in Mischgebieten und urbanen Gebieten auch nicht auf die Versorgungsfunktion für das Gebiet beschränkt sind (vgl. Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, Baugesetzbuch Werkstand: 153. EL Januar 2024, § 6 BauNVO, Rn. 27).

Mitunter kann auch eine Mischnutzung innerhalb des Betriebes vorliegen, indem zugleich Herstellung, Verkauf sowie Schank- und Speisewirtschaft in der Nutzungseinheit ausgeübt werden (vgl. z.B. OVG Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 29.10.2018 – 10 A 964/16, BeckRS 2018, 28567). Aufgrund der Typisierung der Nutzungen in den Baugebieten der Baunutzungsverordnung ist davon auszugehen, dass die aufgeführten Nutzungen ihrem Typ nach der Zweckbestimmung des Baugebiets entsprechen (BVerwG, Beschluss vom 27. Juni 2018 – 4 B 10/17, BeckRS 2018, 16669, Rn. 7). Handwerkliche Nutzungen sind damit in Mischgebieten mit der Einschränkung zulässig, dass es sich um einen das Wohnen nicht wesentlich störenden Nutzungstyp handelt. Handwerkliche Nutzungstypen, die das Wohnen mehr als „nicht wesentlich“ stören, sind demzufolge in Mischgebieten und urbanen Gebieten unzulässig.

Im Rahmen der typisierenden Betrachtungsweise der zulässigen Nutzungen ist bei der Beurteilung der Zulässigkeit eines betrieblichen Vorhabens zwar schwerpunktmäßig auf das jeweilige Vorhaben abzustellen. Allerdings bleiben Einzelheiten der konkreten Betriebsgestaltung außer Acht (Berkemann 2021: 377). Dadurch ist der konkrete Nutzungstyp unabhängig von seiner tatsächlichen potenziellen Störwirkung als unzulässig einzustufen, wenn Betriebe dieses Typs bei funktionsgerechter Nutzung üblicherweise für die Umgebung in diesem Sinne unzumutbare Störungen hervorrufen können. Es kommt nicht auf das Maß der konkret hervorgerufenen oder in Aussicht genommenen Störungen an (BVerwG, Beschluss vom 27. Juni 2018 – 4 B 10/17, ZfBR 2018, 685 [686], Rn. 8). Die Typenlehre im Bauplanungsrecht ist immissionsschutzrechtlich geprägt und geht davon aus, dass bestimmte Gewerbetypen je nach Baugebietsart grundsätzlich nicht verträglich mit der Zweckbestimmung des Baugebiets sind (vgl. Berkemann ZfBR 2021: 374 [377]). Eine abweichende Beurteilung ist nur in atypischen Fallgestaltungen möglich. Eine solche liegt vor, wenn der jeweilige Betrieb nach seiner Art und Betriebsweise von dem Erscheinungsbild seines Betriebstypus abweicht und von daher die sonst üblichen Störungen von vornherein nicht befürchten lässt, wodurch seine sonst nicht gegebene Gebietsverträglichkeit dauerhaft und zuverlässig sichergestellt ist (vgl. BVerwG, Beschluss vom 27. Juni 2018 – 4 B 10/17, ZfBR 2018, 685 [687], Rn. 10).

Beispielsweise kann eine Bäckerei klassischerweise verschiedene Nutzungstypen innerhalb einer Nutzungseinheit umfassen. So kann das Zubereiten von Backwaren als Handwerk bzw. sonstiges Gewerbe zu beurteilen sein. (OVG Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 29.10.2018 – 10 A 964/16, BeckRS 2018, 28567, Rn. 41) Der unmittelbare Verkauf von Backwaren an die Endverbrauchernden ist Einzelhandel (BVerwG, Urteil vom 26. März 2009 – 4 C 21/07 –, BVerwG 133, 310-320, ZfBR 2009: 463 [464]). Die gastronomische Bewirtung von Gästen im Ladenlokal ist als Schank- und Speisewirtschaft zu beurteilen (OVG Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 29.10.2018 – 10 A 964/16, BeckRS 2018, 28567, Rn. 45). Vorausgesetzt, dass keine wesentlichen Störungen hervorgerufen werden, sind alle der drei Nutzungsarten in Mischgebieten und urbanen Gebieten allgemein zulässig. Eine Bäckerei ohne überwiegenden Auslieferungsbetrieb ist trotz des nächtlichen Backbetriebes sogar in allgemeinen Wohngebieten nach § 4 BauNVO realisierbar (vgl. Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg, Beschluss vom 19. Oktober 1999 – 5 S 1824/99, NVwZ-RR 2000: 413[414]). Bei einer Beschränkung auf den täglichen Bedarf und die Gebietsversorgung kommt für Bäckereien sogar eine ausnahmsweise Zulässigkeit in reinen Wohngebieten nach § 3 BauNVO in Frage (vgl. Scheidler in WiVerw 2016: 75). Die Zulassung einer Bäckerei in Mischgebieten und urbanen Gebieten wird somit in der Regel unproblematisch sein.

Auch eine auf den reinen Verkauf von Fleischwaren ausgerichtete Metzgerei wird im Regelfall in Mischgebieten und urbanen Gebieten als Einzelhandelsbetrieb allgemein zulässig sein. Bei einer Beschränkung auf die Gebietsversorgung sind kleine Metzgereien sogar in reinen Wohngebieten ausnahmsweise zulassungsfähig (vgl. Oberverwaltungsgericht Berlin-Brandenburg, Beschluss vom 14. März 2012 – OVG 10 N 34.10, BeckRS 2012, 48745). In allgemeinen Wohngebieten sind Metzgereien ohne Schlachtbetrieb regelmäßig allgemein zulässig (vgl. Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, Baugesetzbuch Werkstand: 153. EL Januar 2024, § 4 BauNVO, Rn. 74). Eine Metzgerei mit angeschlossener Schlachtung kann nach ihrem Störgrad in Mischgebieten zulässig sein, wenn die Schlachtung auf einen „handwerklichen Umfang“ beschränkt ist (Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 22. Mai 2000 – 10a D 197/98.NE, BeckRS 2000, 17395, Rn. 85-87). Eine Fleischfabrik mit ca. 400 Beschäftigten sowie zum Teil sogar nächtlichem Lieferverkehr ist in Mischgebieten aufgrund des Störpotentials unzulässig (vgl. dazu Oberverwaltungsgericht des Saarlandes, Urteil vom 31. Oktober 2000 – 2 N 4/99, BeckRS 2000, 17502, Leitsatz).

Frisierbetriebe sind üblicherweise auf die Nahversorgung ausgerichtet (vgl. Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, Baugesetzbuch Werkstand: 153. EL Januar 2024, § 4 BauNVO, Rn. 74) und bereits in allgemeinen Wohngebieten als nicht störende Handwerksbetriebe allgemein zulässig (vgl. Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 11. Juli 2017 – 2 A 470/15, BeckRS 2017, 125273, Rn. 51). Ihrer Unterbringung in Mischgebieten und urbanen Gebieten steht regelmäßig nichts entgegen.

Auch die Textilreinigung ist in der Regel nicht störend und durch die Ausrichtung auf die Gebietsversorgung bereits im allgemeinen Wohngebiet typischerweise zulässig (vgl. Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen, Urteil vom 11. Juli 2017 – 2 A 470/15, BeckRS 2017, 125273, Rn. 51). Im Einzelfall können es städtebauliche Gründe rechtfertigen, bestimmte Formen der chemischen Reinigung in Abhängigkeit vom angewendeten Verfahren auf der Grundlage des § 1 Abs. 9 BauNVO in Mischgebieten auszuschließen (vgl. Oberverwaltungsgericht des Saarlandes, Urteil vom 27. August 1996 – 2 N 2/95 –, juris, 1. Leitsatz).

Tischlereien sind als holzverarbeitende Betriebe mit Maschineneinsatz der Typisierungslehre nach in gemischt genutzten Baugebieten unzulässig. In einem vor dem Bundesverwaltungsgericht verhandelten Fall wurde nicht der Annahme gefolgt, dass Tischlereien zu einer Branche gehören, deren Betriebe eine große Bandbreite unterschiedlicher Typen aufweisen, deren übliche Betriebsformen hinsichtlich des Störgrades derart variieren, dass bei der Vereinbarkeit des Betriebs mit einem Mischgebiet die typisierende Betrachtung ausscheidet und stattdessen nur die konkreten Verhältnisse des Tischlereibetriebes im Rahmen einer Einzelfallprüfung zu Grunde zu legen sind (vgl. dazu BVerwG, Beschluss vom 27. Juni 2018 – 4 B 10/17, ZfBR 2018: 685). Auch wenn eine Unterscheidung der Betriebe in eine Bau-, Möbel- oder Modelltischlerei je nach Arbeitsschwerpunkt des Tischlereihandwerks erfolgt, wird aufgrund des mit der Holzverarbeitung typischerweise bedingten Störpotenzials keine nennenswerte Bandbreite an Störgraden angenommen (vgl. Oberverwaltungsgericht für das Land Schleswig-Holstein, Urteil vom 6. Dezember 2016 – 1 LB 6/14, BeckRS 2016, 125482, Rn. 66; nachfolgend nicht in Frage gestellt durch BVerwG, Beschluss vom 27. Juni 2018 – 4 B 10/17, ZfBR 2018, 685 [687], Rn. 13).

Die Zulässigkeit von Kraftfahrzeugwerkstätten lässt sich hingegen aufgrund ihrer Bandbreite an angebotenen Arbeiten gerade nicht pauschal im Sinne der Typisierungslehre beantworten und hängt von den konkreten Verhältnissen im Einzelfall ab. In manchen Kraftfahrzeugwerkstätten werden ausschließlich nicht störende Arbeiten, wie zum Beispiel Elektroreparaturen, Reifenreparaturen, Zündkorrekturen, Achsvermessungen oder Wartungsarbeiten, und in anderen Werkstätten auch geräuschintensive und daher stark störende Arbeiten, wie zum Beispiel Karosseriereparaturarbeiten, ausgeführt. Die Betriebe können durch Auflagen im Rahmen der Baugenehmigung beschränkt werden (vgl. BVerwG, Beschluss vom 11. April 1975 – IV B 37.75, BeckRS 1975, 31270617, Rn. 4). Wartungs- und kleinere Reparaturarbeiten gehören zu den typischerweise nicht wesentlich störenden gewerblichen Nutzungen (vgl. BVerwG, Urteil vom 7. Februar 1986 – 4 C 49/82, NVwZ 1986, 642). Für die Beurteilung des Störpotenzials in der Einzelfallbetrachtung können auch die Öffnungs- und Arbeitszeiten sowie die konkrete Betriebsausführung von Bedeutung sein. Eine Betriebsausübung lediglich von Montag bis Freitag tagsüber und ausschließlich in geschlossenen Räumen mindert das Störpotenzial lärminintensiver Tätigkeiten (vgl. OVG Lüneburg, Urteil vom 9. Oktober 2019 – 1 LB 147/17, BeckRS 2019, 34838, Rn. 27).

Die Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen von Nutzungsmischung bzw. von Bedingungen der Verträglichkeit unterschiedlicher Nutzungen stellt eine wesentliche Steuerungswirkung auf die Nutzungsvielfalt- und Kombinationsmöglichkeiten dar. Vor allem die Einbindung des produzierenden Gewerbes ist auf solches ohne das Wohnen störende Emissionen eingeschränkt, sofern diese Nutzungen im Baublock nicht räumlich oder baulich voneinander getrennt werden. Dies gilt übrigens auch für die umliegenden Einflüsse etwa aus dem Verkehr (vgl. z.B. den laufenden Prozess zu Magistralen 2040+ in Hamburg). Generell sollen einzelne Konzepte der Nutzungsmischung, welche auf der Nähe einzelner Nutzungen beruhen, entweder innerhalb des Baublocks eine horizontale oder/und vertikale Trennung erfahren, oder zwischen den einzelnen Baublöcken. Im Weiteren wird konzeptionell vor allem auf die Möglichkeiten der Nutzungsmischung innerhalb eines Blocks im Einzelnen eingegangen. Die Frage, inwieweit die Nutzungsmischung blockübergreifend zu gestalten ist, wird zunächst nach hinten gestellt, denn dieses Vorgehen ist in der Praxis bereits gängig (s. etwa Bahnstadt Heidelberg); hingegen stellen mischgenutzte Neubaublöcke mit Wohnen und handwerkliches bzw. produzierendes Gewerbe eher eine Ausnahme dar (s. zum Beispiel Bebauungsplan Altona-Nord 28).

3.1.2.1. Grundlagen des Energiefachrechts

Um die Anforderungen nach §§ 29 bis 31 WPG sowie nach § 71 in Verbindung mit § 71b GEG 2024 zu erfüllen, muss die gelieferte Wärme in weiten Teilen aus erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme stammen. Gemäß § 29 Abs. 1 WPG müssen Wärmenetze ab dem 1. Januar 2030 zu einem Anteil von mindestens 30 Prozent und ab dem 1. Januar 2040 zu einem Anteil von mindestens 80 Prozent aus erneuerbaren Energien, unvermeidbarer Abwärme oder einer Kombination hieraus gespeist werden. Die Transformation hin zu vollständig klimaneutralen Wärmenetzen dann nach § 31 WPG ist bis zum Ablauf des 31. Dezember 2044 abzuschließen. Im Rahmen der Wärmeplanung wird ein Gebiet nach der baublockbezogenen Untersuchung bei vorliegender Eignung für ein voraussichtliches Wärmeversorgungsgebiet nach § 18 WPG als Wärmenetzgebiet, als Wasserstoffnetzgebiet oder als Gebiet für die dezentrale Wärmeversorgung nach § 3 Abs. 1 Nr. 8 bis 13 WPG festgelegt (Bundestagsdrucksache 20/8654, S. 102). Erfolgt eine Ausweisung als Gebiet zum Neu- oder Ausbau von Wärmenetzen nach § 26 WPG und nach § 27 Abs. 1 WPG, zieht dies die „65-Prozent-EE-Pflicht“ sowie die damit verbundenen Rechtsfolgen nach den Maßgaben des § 71 Abs. 8 S. 3 und § 71k Abs. 1 Nr. 1 des GEG 2024 nach sich (Henschel/Antoni 2023: 227). Die Einrichtung einer Hausübergabestation zum Anschluss an ein neues oder bestehendes Wärmenetz nach Maßgabe des § 71b GEG 2024 stellt eine Option für die Erfüllung der neuen Anforderungen des GEG dar, wenn das Wärmenetz die nach dem Wärmeplanungsgesetz geltenden rechtlichen Anforderungen erfüllt (Spieler/Muffler 2023). Ferner sind Maßgaben zur Energieeffizienz und -erzeugung bei der Bestandssanierung zu berücksichtigen, insbesondere der Erneuerung von Fassaden, Fenstern und Türen sowie Dächern. Diese sind z.T. auch in entsprechenden Landesgesetzen geregelt.

3.1.2.2. Begriffsbestimmungen in Bezug auf Wärme- und Kältenetze

Gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 1 GEG handelt es sich bei der „Abwärme“ um die Wärme oder Kälte, die aus technischen Prozessen und aus baulichen Anlagen entstammenden Abluft- und Abwasserströmen entnommen wird. Die „unvermeidbare Abwärme“ ist nach § 3 Abs. 1 Nr. 30a GEG 2024 der Anteil der Wärme, der als Nebenprodukt in einer Industrie- oder Gewerbeanlage oder im tertiären Sektor aufgrund thermodynamischer Gesetzmäßigkeiten anfällt, nicht durch Anwendung des Standes der Technik vermieden werden kann, in einem Produktionsprozess nicht nutzbar ist und ohne den Zugang zu einem Wärmenetz ungenutzt in Luft oder Wasser abgeleitet werden würde. § 3 Abs. 1 Nr. 15 Hs. 2 WPG regelt ergänzend, dass Abwärme als unvermeidbar gilt, soweit sie aus wirtschaftlichen, sicherheitstechnischen oder sonstigen Gründen im Produktionsprozess nicht nutzbar ist und nicht mit vertretbarem Aufwand verringert werden kann. Die „unvermeidbare Abwärme“ im Sinne des Gebäudeenergiegesetzes und des Wärmeplanungsgesetzes umfasst neben der aus § 2 Nr. 9 KWKG 2023 bekannten „industriellen Abwärme“ auch die Abwärme aus dem tertiären Sektor (Tejkl/Sauter 2023: 406).

Es gibt keine klare und allgemein anerkannte Definition zur Abgrenzung von Nah- und Fernwärme (vgl. Winkler/Zeccola/Tejkl 2022: 339). In der rechtlichen Behandlung unterscheiden sich Nah- und Fernwärme nicht (BGH, Urt. v. 21. 12. 2011 – VIII ZR 262/09 (KG), NJW-RR 2012, 249, Rn. 21.; vgl. dazu Jacobshagen/Kaspers/Maiworm 2022: 525). Bei kleineren Netzen wird mittlerweile von einem „Gebäudenetz“ gesprochen. Dies ist nach § 3 Abs. 1 Nr. 9a GEG 2024 dann der Fall, wenn ein Netz zur ausschließlichen Versorgung mit Wärme und Kälte von mindestens zwei und bis zu 16 Gebäuden und bis zu 100 Wohneinheiten angelegt ist. Ein Baublock umfasst nach § 3 Abs. 1 Nr. 1 WPG ein Gebäude oder mehrere Gebäude oder Liegenschaften, das oder die von mehreren oder sämtlichen Seiten von Straßen, Schienen oder sonstigen natürlichen oder baulichen Grenzen umschlossen und für die Zwecke der Wärmeplanung als zusammengehörig zu betrachten ist oder sind. Der Gesetzesbegründung nach steht die Entscheidung darüber, was zum Zweck der Wärmeplanung als zusammengehörig zu betrachten ist, im pflichtgemäßen Ermessen der planungsverantwortlichen Stelle (Bundestagsdrucksache 20/8654, S. 79). Die Bebauungsplangebiete „Glasmacherviertel“ und „Kall Ortsmitte“ können nach pflichtgemäßem Ermessen folglich als Baublöcke behandelt werden. Dies ist von Bedeutung, weil die Betrachtung innerhalb des „beplanten Gebietes“, also des räumlichen Bereichs der Wärmeplanerstellung gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 2 WPG, als eine baublockbezogene Untersuchung und Wärmeplanung nach den Maßgaben in Abschnitt 4 WPG erfolgt.

Im Quartier wird Abwärme als Nah- oder Fernwärme bzw. Nah- oder Fernkälte im Sinne des § 3 Abs. 1 Nr. 19 und 20 GEG verteilt. Dabei handelt es sich um Wärme bzw. Kälte, die mittels eines Wärmeträgers durch ein Wärmenetz verteilt wird. Weiter einschränkend ist zu erwähnen, dass es sich dabei nach § 2 Abs.2 und 3 FFVAV16 um eine gewerbliche Lieferung von Kälte bzw. Wärme aus einer nicht im Eigentum der Gebäudeeigentümerin bzw. -eigentümers stehenden Kälteerzeugungsanlage bzw. Wärmeerzeugungsanlage handelt (Jacobshagen/Kaspers/Maiworm 2022: 525). Bisher waren Wärmenetze deutlich weniger reguliert als Strom- und Gasnetze (Tejkl/Sauter 2023: 403). Jetzt aber wird in § 3 Abs. 1 Nr. 19 WPG ein Wärmenetz als eine Einrichtung zur leitungsgebundenen Versorgung mit Wärme, die eine horizontale Ausdehnung über die Grundstücksgrenze des Standorts der Anlage oder Anlagen, die die Wärme einspeisen, hinaus hat und kein Gebäudenetz im Sinne des § 3 Absatz 1 Nummer 9a GEG 2024 ist, definiert. Auch kalte Wärmenetze mit Niedrigtemperaturen sind Wärmenetze im Sinne des Wärmeplanungsgesetzes (Bundestagsdrucksache 20/8654: 83). Damit enthält das neue Energiefachrecht einen klaren Rahmen für Wärme- und Kältenetze, überlässt aber gleichzeitig einen weiten Gestaltungsspielraum für deren Umsetzung.

3.1.3. Spezielle Anforderungen der Abwasserwärmerückgewinnung

Für die Nutzung der Abwasserwärme sind mehrere Fallkonstellationen möglich. Zum einen kann Abwasserwärme unmittelbar am Entstehungsort, also auf dem Grundstück, an welchem das Abwasser anfällt, genutzt werden. Andererseits kann Abwasserwärme vor der Einleitung in die Kläranlage aus dem Abwasserkanal oder unmittelbar aus der Kläranlage oder aber aus dem Kanal nach der Klärung gewonnen werden (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen 2013: 6).

Für das Abwasser besteht auf der Grundlage des § 56 WHG nach den Landeswassergesetzen eine Abwasserüberlassungspflicht (Queitsch 2006: 329). So sind die Nutzungsberechtigten des Grundstücks, auf dem das Abwasser anfällt nach § 46 LWG NRW dazu verpflichtet, das Abwasser der zur Abwasserbeseitigung verpflichteten Gemeinde bzw. dem damit beauftragten Entsorger zu überlassen. Davon gibt es Ausnahmen. Dies gilt unter anderem nach § 49 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 LWG NRW für verschmutztes Abwasser, das zur Gewinnung von Wärme abgekühlt wurde. Auch verschmutztes Abwasser kann zur unmittelbaren Wärmerückgewinnung genutzt werden. Das Eigentum am Abwasser geht erst mit der Einleitung in den Abwasserkanal auf die Gemeinde bzw. den Entsorger über. Solange das Abwasser auf dem eigenen Grundstück noch nicht in den Abwasserkanal eingeleitet worden ist, befindet es sich noch im Privateigentum (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2022: 10).

Anders ist die Situation, wenn Abwasser aus dem Abwasserkanal entnommen werden soll. Zur Rückgewinnung von Wärme aus Abwasser wird das Wärmenetz über einen Wärmetauscher mit dem Abwasserkanal verbunden (Difu 2016: 73). Abwasser selbst ist nach den Maßgaben des § 903 BGB nicht eigentumsfähig, aber wird im Abwasserkanal oder im Klärwerk zum Eigentum der Kanaleigentümer bzw. Klärwerkseigentümer. Auch der für die Abwasserleitung in Anspruch genommene Grundstücksboden befindet sich im Eigentum. Um ein Verfügungsrecht zur Nutzung des Abwassers zu erhalten, ist die Einholung von Gestattungen bei den Eigentümerinnen und Eigentümern erforderlich. Je nach konkreter Umsetzung der kommunalen Abwasserbeseitigungspflicht müssen Verträge entweder ausschließlich mit der Gemeinde oder mit der Gemeinde und dem Abwasserentsorger sowie ggf. privaten Eigentumsparteien der Grundstücke getroffen werden. Darin werden, sofern die Abwassergebührensatzung der Gemeinde dazu nichts regelt, auch die Nutzungsentgelte für die vereinbarte Leistung der Abwassernutzung und der Grundstücksbenutzung vereinbart (Umweltbundesamt 2023: 5ff.).

3.2. Hemmnisse und Herausforderungen des Ressourcenaustauschs im Rahmen der Nutzungsmischung

Der erste Online-Workshop des Projekts im September 2023 hatte das Ziel, im Gespräch mit Vertretenden aus der Praxis die bekannten Herausforderungen für Nutzungsmischung und die Implementierung innovativer Technologiesysteme einzuholen. Hinsichtlich der Nutzungsmischung wurde die folgende Leitfrage diskutiert: „Welche Herausforderungen und Synergien der Nutzungsmischung von Gewerbe und Wohnen in Neubau-/Bestandsblöcken können Sie aus Ihrer Erfahrung benennen?“ Als räumliche Grundlage für das Gespräch dienten die konzeptuellen Leitbilder der angestrebten Nutzungsmischung in den Fallstudienräumen Glasmacherviertel (Neubau) und Kall (Bestand).

Die Teilnehmenden, die unter anderem aus der Vertretung des Handwerks, Verband der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft Rheinland Westfalen, aus der Gemeinde Kall sowie der Forschung zur produktiven Stadt stammen, sprachen sich zunächst für eine Stärkung der urbanen Mischnutzung aus. Sie stimmten überein, dass die urbane Mischnutzung einen essenziellen Baustein zukunftsfähiger und resilienter Stadtplanungskonzepte darstellte. Dabei wären unterschiedliche Strategien für den Neubau und Bestand zu entwickeln, basierend auf den spezifischen lokalen Herausforderungen. Auch benötigten Mischnutzung und innovative technologische Systeme neue städtebauliche Typologien in einem entsprechenden planungsrechtlichen Rahmen. Es wurde betont, dass das Handwerk Interesse an einem Standort in urbanen Lagen statt peripherer Gewerbegebiete hätte, da die Erreichbarkeit und Kundschaftsnähe für die Betriebe einen essenziellen Standortfaktor darstellten. Auch wären familiengeführte Betriebe traditionell häufig in direkter räumlicher Verbindung von Wohn- und Arbeitsplatz, weshalb zudem ein persönliches Interesse der Gewerbetreibenden am Standort in der Stadt bestünde. Die Aussagen stimmten mit den Ergebnissen der Studie von Söfker-Rieniets und Schmidt (2022) überein, in der die Lagen der Handwerksbetriebe innerhalb der Stadt Düsseldorf untersucht wurden, und eine Konzentration der Betriebe auf nutzungsgemischte zentrale Bereiche der Stadt zeigten.

In Bezug auf die Herausforderungen und Hemmnisse von Nutzungsmischung wurde die Situation des Bodenmarkts mit heterogenen und kleinteiligen Eigentumsstrukturen als Hemmnis für Mischnutzung und Kooperationen genannt. Auch beeinflusste die aktuelle Boden- und Immobilienmarktentwicklung die Tendenz zur Herstellung von profitabler Wohnnutzung statt gewerblicher Nutzung. Die aktuelle Flächenpolitik und städtebaulichen Rahmenbedingungen machten die Neuansiedlung und Ausweitung von bestehenden Betrieben durch das begrenzte Flächenangebot in urbanen Lagen zu einer Herausforderung. Die verbliebenen handwerklichen Betriebe fänden sich häufig in urbanen Lagen mit gründerzeitlichen Blockrandstrukturen. Jedoch gäbe der Großteil der urbanen Bausubstanz des Bestands nach 1945 zusammen mit den strenger gewordenen Emissionsvorschriften raumfunktional nicht die Möglichkeit zur Mischnutzung. Die seitdem zum Wohnen monofunktional ausgelegten Grundrisse, in wohnbezogenen Siedlungsprojekten auch in Erdgeschoss, ließen sich zudem selten gewerblich umnutzen. Als weitere Hemmnisse und Herausforderungen für die Mischnutzung wurde die Verkehrsanbindung betont. Die Betriebe wären aufgrund des Lieferverkehrs auf eine kapazitätsmäßige Anbindung angewiesen und benötigten zum Teil eine gute Erreichbarkeit für bzw. von Kundschaft. Diese ließe sich am einfachsten über die räumliche Nähe herstellen. Gleichzeitig wäre der Lärm des Lieferverkehrs ein Konfliktpunkt mit Anwohnenden. Aus diesem Konflikt heraus wurde die Verlagerung des Handwerks an den Stadtrand begründet. Allerdings trügen auch die Gentrifizierung gewerblicher Nutzungen in gewachsenen innerstädtischen Quartieren, die Nachverdichtung von städtischen Wohnblöcken mit Wohnen sowie die fehlenden Planungen gewerblicher Nutzung bei Neubauvorhaben der Nachverdichtung zur Verdrängung.

Die Aussagen decken sich mit Erkenntnissen aus Studien zu urbaner Dichte und Nachverdichtung: Das Umweltbundesamt (UBA 2019) weist in diesem Zusammenhang auf die rechtliche Privilegierung des Wohnens, die aufgrund des Schutzes vor Störungen wie Lärm, Luftverschmutzung oder Verschattung zu berücksichtigen ist. Ergebnisse aus deutschen Großstädten von Heider et al. (2024) machen zudem einen politischen Vorrang der Wohnfunktion aus, welche sich in den Flächen- bzw. Nutzungsausweisungen widerspiegelt, ebenso wie die Bevorzugung von Investitionen in das Wohnen durch Kapitalgeber aufgrund hoher Nachfrage und günstigen

Vermarktungs- bzw. Veräußerungsmöglichkeiten. Laut Marschall (2022) kann dies sowohl zur Verdrängung von Gewerbe aus bestehenden Quartieren führen als auch einen Vorrang des Wohnens gegenüber anderen Nutzungen bei der Entwicklung von Neubauflächen bedingen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass räumliche Dichte nicht generell zu einer höheren funktionalen Dichte führt (Polívka et al. 2020).

Für die Nutzungsmischung im Neubau wird bei Neuplanungen daher eine frühzeitige Integration der Interessen aus dem Handwerk empfohlen. Gleichzeitig ist eine gewerbliche Nutzung durch die entsprechenden baurechtlichen Regulationen wie zum Beispiel Mindestgeschosshöhen oder -zahlen sowie bauliche Abschirmung von Lärmbelastung privilegierter Nutzungen zu stärken. Ein aktuelles Hemmnis bleiben allerdings die Preissteigerungen durch die Ressourcenknappheit und Konjunkturunsicherheit. Diese bremsen die Bauaktivität der Bauwirtschaft bedeutend aus, obwohl die Nachfrage nach Wohn- und Gewerberäumen insbesondere in integrierten Lagen weiterhin aufrechterhalten bleibt.

Bezüglich der Synergien zwischen Wohnen und Gewerbe und Pull-Faktoren für das Handwerk zeigen sich urbane Standortfaktoren gar als zunehmend bedeutend. Handwerksbetriebe sind demnach bemüht, attraktive Arbeitsplätze im urbanen Raum zu schaffen, um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken bzw. den Nachwuchsmangel zu senken. Zudem diversifiziert ein vielfältiges Nutzungs- und Arbeitsplatzangebot im Quartier die Bewohnerinnen und Bewohner. Als ein zukünftiges Potenzial für das Handwerk wird dabei auch die Nachnutzung von leerstehenden Einzelhandelsflächen durch Handwerksbetriebe als eine sinnvolle, die Stadt belebende Nachnutzungsstrategie dargestellt.

Um diese Synergien erzeugen zu können, braucht es laut den Teilnehmenden neue Formen und Lösungen im Städtebau und Architektur. Besonders flexible Grundrisse und entsprechende Deckenhöhen mit ebenerdigen bzw. barrierefreien Zugängen und flexiblen Raumaufteilungen in den Erdgeschossen erleichtern die langfristige Mischnutzung eines Gebäudes. Sie sind auch bei Nutzungswechseln förderlich und schließen dabei die Wohn(nach)nutzung nicht generell aus. Dazu zählen auch neue bautechnischen Systematiken wie zum Beispiel vertikales Gewerbe. Auf stadtplanerischer Ebene werden Konzepte für die Prozessgestaltung und Umsetzungsstrategien in der vorbereitenden Bauleitplanung und raumfunktionaler Zielsetzungswandel in der Stadtplanung gefordert.

Tabelle 2: Übersicht der Ausgangssituation der Nutzungen und der angestrebten städtebaulichen Leitziele in den Fallstudienräumen

	Glasmacherviertel	Kall
Räumliche Ausgangssituation	- Urbanes Wohnquartier - potenziell viel Laufkundschaft durch urbane Lage - geringe Flächenverfügbarkeit - spezifische Standortanforderungen	- Handwerks- und Produktionsstandort - wenig bis keine Laufkundschaft - sehr gute Flächenverfügbarkeit - auch störendes Gewerbe im Einzelfall möglich - gute Erreichbarkeit und Anbindung durch Bahnhof - P+R gegenüberliegend
Ausgangssituation der bestehenden Nutzungen	- laut Masterplan: urbanes Wohnquartier	- Autohandlung - Fliesenhandel - Omnibusunternehmen - GaLaBau/Holz und Stein - Fahrradgeschäft - Tapetengeschäft - Wohnen
Städtebauliches Leitbild	- Urbanes Wohnquartier - Nutzungsmischung durch Handwerk - hohe Dichte	- Stärkung von Handwerks- und Produktionsstandort - Nachverdichtung mit Wohnen und Gewerbe

Tabelle 3: Tabellarische Übersicht der begründeten Auswahl der betrachteten Handwerke

Ausgewählte Handwerke	Einschätzung der Potenziale von Ressourcen und In- und Outputströmen	Einschätzung der bau-rechtlichen Integrationsfähigkeit (nach MI / MU BauNVO)	Städtebauliche Einschätzung	
			Glasmacherviertel	Kall
Bäckerei	- hoher Energiebedarf zur Wärmeerzeugung - Potenzial durch Abwärme - Kühlung der Zutaten notwendig - Kühlung oder Wärmezufuhr der Vorprodukte	zulässig	ausreichend Laufkundschaft und potenzielle Käuferschaft vorhanden	zu wenig Laufkundschaft und zu wenig Anwohnende, weitere Bäckerei in unmittelbarer Nähe des Bahnhofs
Tischlerei	- hoher Wasserbedarf - tlw. Einsatz von Kühlwasser - Abwärme von Maschinen	lärmintensiv, als holzverarbeitender Betrieb i. d. R. unzulässig wegen d. hohen Störpotenzials; kann aber im Einzelfall noch zulässig sein	aufgrund Lärms und Nähe zu Wohnen ungeeignet, auch durch den hohen Platzbedarf schwer realisierbar	notwendiger Raum durch Platzbedarf vorhanden, Lärm wäre mit dem bestehenden Gewerbe vereinbar
Metzgerei	- Kühlung der Endprodukte notwendig - hoher Wasserbedarf	ohne eigene Schlachtung unproblematisch und zulässig	wird aus Sicht der Schaffung eines nachhaltigen Quartiers ausgeschlossen	
Frisiersalon	- hoher Wasserbedarf - hoher Energiebedarf zur Wärmeerzeugung für Waschwasser und Heizung	zulässig	ausreichend Laufkundschaft und potenzielle Kundschaft vorhanden	zu wenig Laufkundschaft und zu wenig Bedarf durch Anwohnende
Wäscherei	- Wasserbedarf und Wärmeoutput - hoher Energiebedarf zur Wärmeerzeugung für Waschwasser und Heizung - hoher Energieverbrauch	in der Regel zulässig; das Reinigungsverfahren kann ausschlaggebend sein	ausreichend Laufkundschaft und Nutzende durch Wohnungen und Büros in der Nähe	zu wenig Laufkundschaft, allerdings als Industriewäscherei denkbar
Mälzetrieb	- erhöhter Wasserbedarf - hoher Energieverbrauch	in der Regel zulässig	denkbar in Kombination mit Gastronomie und Charakter einer urbanen Manufaktur	möglich, auch da ausreichend Fläche für den Lieferverkehr vorhanden

3.3. Die Ressourcen der Nutzungsmischung

3.3.1. Betrachtete Nutzungen

Da zur Nutzungsart Wohnen durchschnittliche Werte zu Ressourcenverbräuchen in der einschlägigen Literatur vorliegen (UBA 2022; UBA 2024), ist hier keine weitere Differenzierung notwendig. Die Nutzungsart Gewerbe verlangt hingegen für die weitere Betrachtung der Kopplungspotenziale eine Unterteilung in Handel, Handwerk und sonstiges Gewerbe.

Dem Handel werden alle Gewerbe zugeordnet, die laut Klassifikation der Wirtschaftszweige als Großhandel (WZ 46) oder Einzelhandel (WZ 47) gelistet sind (Statisches Bundesamt 2008: 28 ff.). Die dem Handwerk zugehörigen Betriebe werden durch die Handwerksordnung (HwO) vorgegeben und umfassen sowohl die zulassungspflichtigen und zulassungsfreien Handwerke als auch die handwerksähnlichen Gewerbe (HwO Anlage A und B). Alle Gewerbe, die nicht unter die Kategorien Handel oder Handwerk fallen, werden als sonstige Gewerbe kategorisiert.

Die 145 vorhandenen Handwerke (HwO) unterscheiden sich untereinander stark und weisen somit abweichende Ressourcenbedarfe, -outputs bzw. Emissionen auf. Für das Forschungsprojekt ist eine differenzierte Betrachtung der unterschiedlichen Handwerke entscheidend, um die Verträglichkeit untereinander sowie mit dem Wohnen feststellen, mögliche Kopplungspotenziale herausarbeiten und technische Konzepte entsprechend auslegen zu können.

Die Erkenntnisse sollen möglichst allgemein anwendbar sein, daher stellt sich zunächst die Frage nach der Anzahl und Verbreitung der Handwerksbetriebe in Deutschland. Mithilfe der Handwerkszählung (Statistisches Bundesamt 2021: 5 ff., 95) kann das Hauptaugenmerk auf Handwerke gelegt werden, die häufiger vorkommen

Abbildung 7: Exemplarischer Steckbrief ausgewählter Handwerksarten (Wärmerückgewinnung aus dem Kanalnetz)

Wärmerückgewinnung aus dem Kanalnetz

Kurzbeschreibung

Die Abwärme des Abwassers kann mit Hilfe eines Wärmetauschers für die Nutzung von Wärme- und Kälteenergie zurückgewonnen werden. Im Winter hat das Abwasser eine mittlere Temperatur von 10 bis 15 °C und im Sommer von 17 bis 20 °C (Berliner Wasserbetriebe: 4). Das Abwasser wird in der Regel um 1 °C abgekühlt, sodass der Betrieb der Kläranlage nicht eingeschränkt wird (Buri/Kobel 2004: 2). Das Abwasser wird über einen Wärmetauscher geleitet und die gewonnene Energie kann in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist werden. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, sollten die Gebäude nicht weiter als 150 m vom Abwasserkanal entfernt sein (Berliner Wasserbetriebe: 5).

Aufbau

Anwendungsebene

☐ Gebäude ☒ Block ☒ Quartier

Kopplungsmöglichkeiten

- Nah- und Fernwärmenetz
- Grauwasser- und Schwarzwasserbehandlung

Nutzungsdauer

mindestens 30 Jahre

Raumbedarf

keine Daten vorhanden

Innovationsgrad

☐ Stand der Technik

☒ einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung

☐ einzelne Forschungsprojekte

Water-Energie-Nexus

☐ großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung

☐ zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung

☒ (fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Technische Daten

- Das Kanalrohr muss einen Minstdurchmesser von DN 600 und einen mittleren Trockenwetterabfluss von mindestens 15 l pro Sekunde aufweisen (Buri/Kobel 2004: 2; Berliner Wasserbetriebe o.J.: 5).
- Für einen wirtschaftlichen Betrieb sollte der Wärmebedarf der Gebäude bzw. Gebäudegruppen mindestens 100 kW Heizleistung (entspricht etwa 20 Wohneinheiten) betragen (DBU 2009: 8).
- Mit Abwasserwärmepumpen kann eine Netztemperatur von bis zu 60 °C erreicht werden. Werden höhere Temperaturen benötigt, kann die Abwasserwärmepumpe mit einem Heizkessel kombiniert werden (DBU 2009: 5).

Hemmnisse

- Das Einverständnis des Kläranlagenbetreibers für die Abwärmerückgewinnung muss vorliegen. Durch die Abkühlung des Abwassers wird der Betrieb der Abwasserreinigungsanlage beeinflusst (DBU 2009: 31).
- Der Bauträger muss die sämtlichen Kosten für Änderungen an den Abwasserkanälen übernehmen. Es gilt zudem der Grundsatz, dass die Funktionsfähigkeit von Abwasserkanal und der Abwasserreinigung nicht beeinträchtigt werden darf (DBU 2009: 31).
- Das Verhältnis zwischen einem Bauherrn und dem Betreiber der Kanalisation (beziehungsweise der Kläranlage) wird in der Regel in einem Vertrag geregelt, der in vielen Fällen als Dienstbarkeit im Grundbuch eingetragen wird (DBU 2009: 31).

Vorteile

- Abwasser fällt ganzjährig und mit gleichbleibenden Temperaturen an.
- Abwasserwärmepumpen arbeiten effizient: Kombiniert mit einem Spitzenlastgaskessel benötigt sie 11 % weniger Primärenergie als eine Gas-Brennwertheizung und verglichen mit einer Ölheizung 44 % weniger. Wenn die Abwasserwärmepumpe mit einem Blockheizkraftwerk kombiniert wird, ist der Vorteil noch höher (DBU 2009: 21).
- Im Sommer kann das Abwasser auch zum Kühlen genutzt werden.
- Jahresarbeitszahlen bis über 4 können erreicht werden (DBU 2009: 21).

Nachteile

- Lohnt sich wirtschaftlich oft nicht in Einfamilienhausgebieten, da hier die Abstände zwischen den Gebäuden zu hoch sind (DBU 2009: 8; Buri/Kobel 2004: 2).
- Für industrielle Prozesse, die hohe Temperaturen benötigen, ist die Wärmerückgewinnung aus Abwasser nicht geeignet (DBU 2009: 8).

Praxisbeispiele

- NeckarPark Stuttgart - Nahwärme aus Abwasserrückgewinnung

Icons: The Nour Project

Quellen:
Berliner Wasserbetriebe, o. J.: Abwasser-energie. Ein Leitfaden. Zugriff: <https://www.bwb.de/de/ueber/abwasser/abwasserenergie.pdf> [abgerufen am 07.08.2023].
Buri, K., Kobel, B., 2004. Leitfaden Wärmenutzung aus Abwasser. Baur/Zürich. Zugriff: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/user_upload/abwasser/abwasserenergie.pdf [abgerufen am 07.08.2023].
Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2009. Heizen und Kühlen mit Abwasser. Energieeffiziente Nutzung von Abwasser. Zugriff: https://www.waerme-pumpen.de/fileadmin/user_upload/waerme-pumpen/10_Publikationen/Heizen_Kuehlen_mit_Abwasser.pdf [abgerufen am 07.08.2023].

(z.B. Dachdecker, Bäckerei) als auf solche, die nur vereinzelt zu finden sind (z.B. Bogenmacher, Wachszieher). Weiterhin kommt, aufgrund der Aufgabenstellung im Projekt, den Handwerken, die ihre Produktion vor Ort verrichten, eine höhere Bedeutung zu (z.B. Bäckerei, Frisiersalon) als solchen, bei denen der Produktionsort veränderlich ist (z.B. Dachdecker, Straßenbauer).

Um eine Übertragbarkeit zu gewährleisten, wurden Handwerke betrachtet, welche durch mehr als 1.000 Unternehmen in Deutschland vertreten sind. Weiter wurden ausschließlich Handwerksbetriebe untersucht, welche durch eine Produktion ihrer Waren oder Ausführung der Dienstleistung vor Ort charakterisiert werden. Da in diesem Projekt die potenziellen Synergieeffekte einer Kopplung der Energie- und Wasserkreisläufe zwischen Wohnen, Handel und Gewerbe ermittelt werden sollen, muss der Gewerbebetrieb in direkter Nähe zum Wohnen möglich sein. Demzufolge wurden Gewerbe, die eine unzulässige Beeinträchtigung des Wohnens durch beispielsweise Lärm darstellen, nicht weiter berücksichtigt. Um eine größere Auswahl an möglichen Betrieben im Sinne der Nutzungsflexibilität zu schaffen, wurden außerdem Betriebe der Kategorie sonstige Gewerbe betrachtet.

Da sich die Energie-, Wasser- und Ressourcenverbräuche je Handwerk unterscheiden, wurden im Folgenden die vorselektierten Handwerke und sonstigen Gewerbe hinsichtlich ihrer In- und Outputströme (Energie, Wärme, Wasser) untersucht. Betrachtet wurde, welche Wasser- und Energie- Inputs und Outputs die Handwerke und sonstigen Gewerbe aufweisen. Relevant waren zunächst Handwerke und sonstigen Gewerbe, welche hohe In- und Outputströme aufwiesen. Die In- und Outputströme wurden im nächsten Schritt auf ihre Art, Kontinuität und Relevanz für Kopplungssysteme bewertet. Auf dieser Grundlage erfolgte vor dem Hintergrund der Ausgangssituationen in den Fallstudienräumen hinsichtlich ihrer infrastrukturellen Möglichkeiten und städtebaulicher Anforderungen eine Auswahl von sechs Handwerken und sonstigen Gewerben, die im weiteren Projektverlauf exemplarisch detaillierter analysiert werden. Hierzu zählen:

1. Bäckerei
2. Tischlerei
3. Metzgerei
4. Frisiersalon
5. Wäscherei
6. Mälzerbetrieb

Beispielhaft für den Auswahlprozess und die Abwägung in der Auswahl dient die Listung der Kfz-Betriebe. Aufgrund ihrer baurechtlichen Verträglichkeit mit dem Wohnen, Häufigkeit und räumlichen Ansprüchen, welche mit dem Wohnungsbau generell kompatibel sind, sind nicht störende Arten der Kfz-Betriebe als solche mit hohem Potenzial für die angestrebte Mischnutzung gelistet worden. Bei weiterer Betrachtung wurde jedoch festgestellt, dass sich aus dem Kfz-Betrieb keine nutzungswerten Ressourcen-, Energie- und Wasserströme für eine gekoppelte Nutzung ergeben. Die genauen Rechercheergebnisse waren ursprünglich in dem Nutzungssteckbrief Kfz (Anhang Anlage 2) dargestellt. Daraufhin wurde der Kfz-Betrieb durch das Handwerk der Brauer und Mälzer für den weiteren Projektverlauf ersetzt. Das Brauerei- und Mälzerhandwerk erfährt seit einigen Jahren ein Wachstum, insbesondere in dem Bereich der Mikrobrauereien (Statistisches Bundesamt 2019: 26). Außerdem ist mit diesem Handwerk ein hoher Wassereinsatz verbunden, was einen engeren Bezug zum wasserbasierten Ressourcenaustausch begründet. Im Falle des Tischlereihandwerks führte zunächst die bauordnungsrechtliche Unvereinbarkeit mit Wohnen zu einem Ausschluss aus der engeren Betrachtung. Allerdings zeigte sich in weiterer Betrachtung der Betriebsart, dass moderne Betriebe unter bestimmten betrieblichen und baulichen Voraussetzungen verträgliche Emissionswerte generell nicht überschreiten müssen. Das hohe

ressourcenbezogene Kopplungspotenzial des Tischlerbetriebs führte zur Entscheidung, diese Handwerksart mit in die weitere Betrachtung aufzunehmen, und die besonderen betrieblichen Voraussetzungen im Interesse der Steigerung von Kopplungspotenzialen zu akzeptieren. Der Auswahlprozess wies somit auf Diskrepanz zwischen den bauordnungsrechtlichen Anforderungen und der Ressourcenkopplungspotenziale hin, und somit auf einen Zielkonflikt, den es in der baulich-räumlichen bzw. betrieblichen Ausgestaltung der Nutzungsmischung aufzulösen gilt.

Die genauen Energieinputs der sechs Handwerksarten wurden im Projektverlauf mit Hilfe von Gesprächen mit Fachleuten (unter anderem Handwerkskammer, Tischler-Innung NRW und der Saar-Lox-Umweltzentrum GmbH) ermittelt und validiert. Die Gespräche fanden persönlich über Zoom statt. Außerdem wurden Informationen zu Energieverbräuchen seitens des Textilreiniger-Verbands NRW übermittelt. Es wurden auch weitere Handwerksunternehmen und Handwerksinnungen der relevanten Handwerke angefragt, bei denen eine Rückmeldung allerdings ausblieb, sodass die benötigten Informationen aus der Fachliteratur ergänzt wurden.

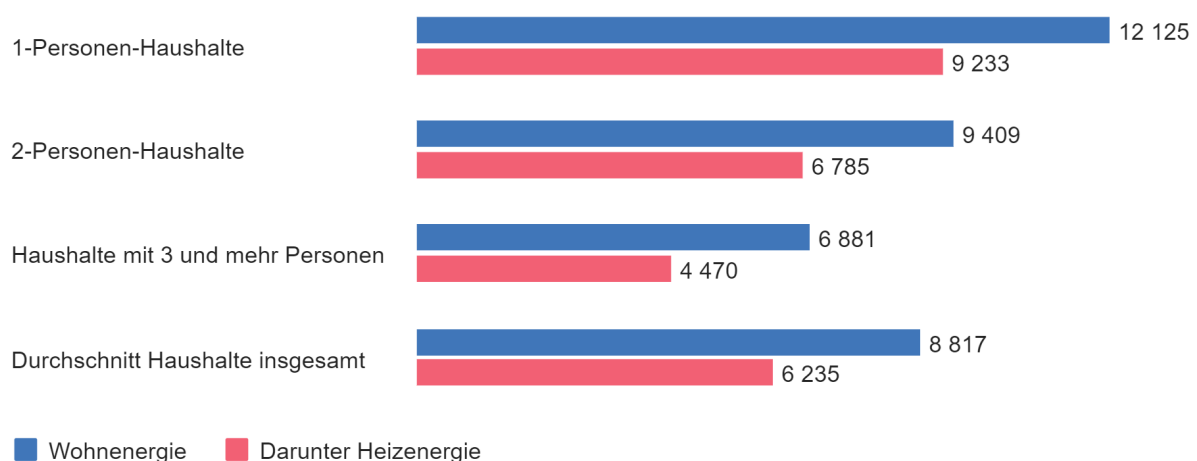
3.3.2. Ressourcenin- und outputs der unterschiedlichen Nutzungsarten

Energie

Für die oben eingegangenen Nutzungen sowie das Wohnen wurden die unterschiedlichen In- und Outputströme (Energie, Wasser, Wärme) der Nutzungen ermittelt. In der Nutzungsart Wohnen setzt sich der Energieverbrauch aus den Verbrauchssektoren Wärme/Kälte (Raumwärme & Brauchwasser) und dem Stromverbrauch der privaten Haushalte zusammen. Bundesweit wurden 2020 insgesamt 129.324 Gigawattstunden (GWh) Strom durch die rund 41,7 Mio. privaten Haushalte verbraucht (Statistisches Bundesamt 2023a). Der durchschnittliche Jahresverbrauch von Wohnenergie liegt bei ca. 8.800 Kilowattstunden pro Person (Statistisches Bundesamt 2022). Die Bestandteile der Wohnenergie im Jahr 2019, bei dem derzeitigen gemittelten energetischen Standard der Gebäude, setzen sich zusammen aus 71 % für Raumwärme, knapp 15 % Warmwasser; sonstige Elektrogeräte (Kühlschrank, Fernseher) nehmen einen Anteil von 8 % ein, die Prozesswärme zum Kochen, Spülen und Waschen beträgt 5 % und die Beleuchtung trägt mit 1 % zum Gesamtverbrauch bei (Statistisches Bundesamt 2022). Wie auch zusätzlich in Abbildung 8 deutlich wird, entfällt über alle Haushaltsgrößen hinweg der höchste Anteil der Wohnenergie auf die Heizenergie. Dadurch wird die hohe Relevanz des Themas belegt und die Potenziale in der Minderung des Heizenergieinputs und -outputs deutlich. Eine Form

Abbildung 8: Pro-Kopf-Energieverbrauch für Wohnen und Heizen im Jahr 2019 (Statistisches Bundesamt 2022)

in Kilowattstunden/Jahr nach Haushaltsgrößen



der ungenutzten Energie ist die Abwärme, die in Form von warmem Wasser oder heißer Luft zur Verfügung steht. Die nutzbare Abwärme tritt in vielen Bereichen auf, wie beispielsweise bei Heizvorgängen jeglicher Art, Wasch- und Trocknungsvorgängen oder bei der Kälteerzeugung und Lüftung (WKO 2023).

Der Energieverbrauch im Handel unterscheidet sich nach der jeweiligen Handelsform und wird in Kilowattstunden pro Quadratmeter Verkaufsfläche ($\text{kWh}/\text{m}^2 \text{Vkf}$) gemessen. Im Food-Handel liegt der durchschnittliche Stromverbrauch bei $318 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{Vkf}$ pro Jahr, wobei der Stromverbrauch von Discountern bei $291 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{Vkf}$ pro Jahr und von Supermärkten bei $340 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{Vkf}$ pro Jahr liegt (Chini 2019). Dabei entfällt der Stromverbrauch zu 4 % auf die Kältetechnik, 21 % auf die Beleuchtung, 13 % auf die Klimatisierung und Lüftung der Gebäude und 20 % auf sonstige Verbräuche (Klitzsch und Lanzerath 2022). Der Energieverbrauch im Non-food-Handel beträgt durchschnittlich $102 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{Vkf}$, wobei sich verschiedene Handelstypen unterscheiden. Dabei entfällt der Stromverbrauch zu 46 % auf die Beleuchtung, 36 % auf die Klimatisierung und Lüftung und 18 % auf sonstige Verbräuche (Klitzsch und Lanzerath 2022). Außerdem ist zu betrachten, dass Abwärme im Handelssektor, die in Server oder Rechenzentren umgesetzt wird, auftreten kann (WKO 2023). Die Energie- und Ressourcenverbräuche des Handels sind im Nutzungssteckbrief „Handel“ in Anhang Anlage 2 dargestellt.

Bezogen auf das Handwerk und die sonstigen Gewerke ist der Energieverbrauch individuell zu unterscheiden. Energie wird von Handwerken und sonstigen Gewerken für verschiedene Anwendungen benötigt. Als Beispiele dienen das Betreiben von Maschinen, die Erzeugung von Druckluft, die Beleuchtung, die Lüftung, Wärme- oder Kälteerzeugung sowie der Transport. Dies unterscheidet sich jedoch je nach Gewerk deutlich, da die Arbeits- und Erzeugungsvorgänge verschieden sind. Gleichzeitig gibt es auch Unterschiede innerhalb der spezifischen Handwerke und sonstiger Gewerke. Dementsprechend können keine allgemeinen Durchschnittswerte genannt werden. Die relevanten individuellen Energieverbräuche zu den ausgewählten Handwerksbetrieben sind in den Nutzungssteckbriefen (Anhang Anlage 2) dargestellt.

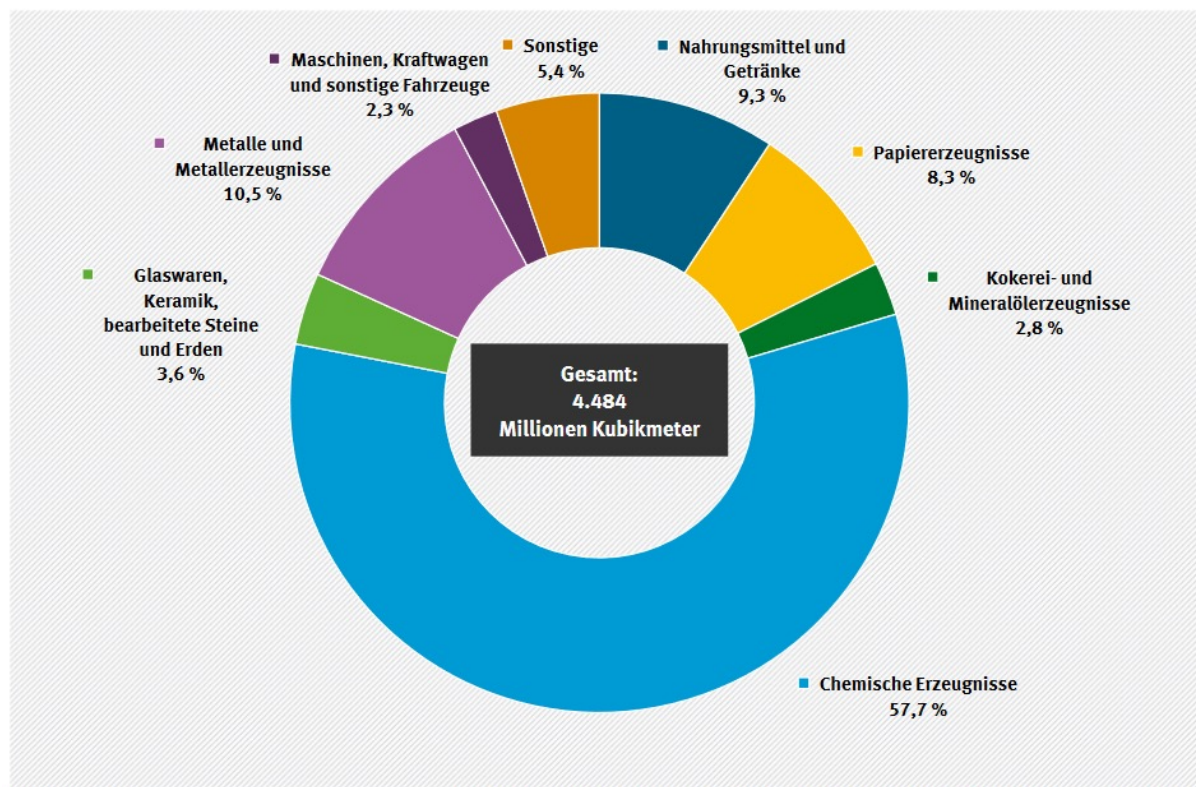
Wasser

Der direkte Wasserverbrauch in der Nutzungsform Wohnen wird pro Einwohner gemessen. Der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch von Trinkwasser wurde in Deutschland im Jahr 2022 mit 125 Litern bzw. $0,125 \text{ m}^3$ Trinkwasser angegeben (BDEW 2023). In der Nutzungsart Wohnen wird Frischwasser innerhalb der Küche zum Kochen und für den Abwasch, im sanitären Bereich vor allem zum Duschen und für die Toilettenspülung und weiterhin für die Reinigung von Kleidungsstücken und Räumen sowie für die Gartenbewässerung verwendet (Haas-Arndt 2017: 13). Die Energie- und Ressourcenverbräuche des Wohnens sind im Nutzungssteckbrief „Wohnen“ im Anhang Anlage 2 dargestellt.

Für den Wasserverbrauch im Handel ließen sich keine belastbaren Durchschnittsangaben in der Literatur finden. Trinkwasser wird zur Reinigung, zum Kühlen der Produkte, der Nutzung der Sanitäreinrichtungen und in der Küche der Mitarbeitenden verwendet. Für die Filiale eines Discounters wird angenommen, dass der Wasserverbrauch eines 4-Personenhaushalts nicht überschritten wird (ALDI Nord 2022: 25). Im Nonfood-Handel wird ein geringerer Wasserverbrauch als im Food-Handel vermutet, da kein Wasser zum Kühlen von Produkten benötigt wird. Die Energie- und Ressourcenverbräuche des Handels sind im Nutzungssteckbrief „Handel“ im Anhang Anlage 2 dargestellt.

Bezogen auf das Handwerk und sonstige Gewerke ist der Wasserverbrauch individuell zu unterscheiden. Der Wassereinsatz im verarbeitenden Gewerbe ist beispielsweise aus der Abbildung 9 abzuleiten. Dabei ist zu beachten, dass die Handwerke und sonstigen Gewerke, die in einer Kategorie zusammengefasst sind, dennoch einen unterschiedlich hohen Wasserverbrauch aufweisen können. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die vorliegenden statistischen Daten bislang keine Rückschlüsse auf die jeweilige Zahl der Betriebe oder die Produktionsmengen je Gewerbeart zulassen. Die jeweiligen Wasserströme der Handwerke und sonstigen Gewerke müssen deshalb separat recherchiert werden.

Abbildung 9: Wassereinsatz im verarbeitenden Gewerbe im Jahr 2016 (Statistisches Bundesamt, 2023b)

Wassereinsatz im verarbeitenden Gewerbe 2016*

* Wassereinsatz im Inland

Quelle: Statistisches Bundesamt, Umweltnutzung und Wirtschaft - Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Teil 4 - Rohstoffe-Wasser-Abfall, Ausgabe 2018, Tab. 6.2; Wiesbaden 2019

Genauere Spezifikationen der Wasserströme, die nicht jedes Gewerbe innerhalb der Kategorie betreffen, wurden im Projektverlauf individuell betrachtet. Dafür wurden Fachkräfte der unterschiedlichen Gewerbe und Handwerke befragt. Die Erkenntnisse zu den Wasser-In- und -Outputs ausgewählter Handwerksbetriebe sind ebenfalls in den Nutzungssteckbriefen im Anhang (Anlage 2) aufgeführt.

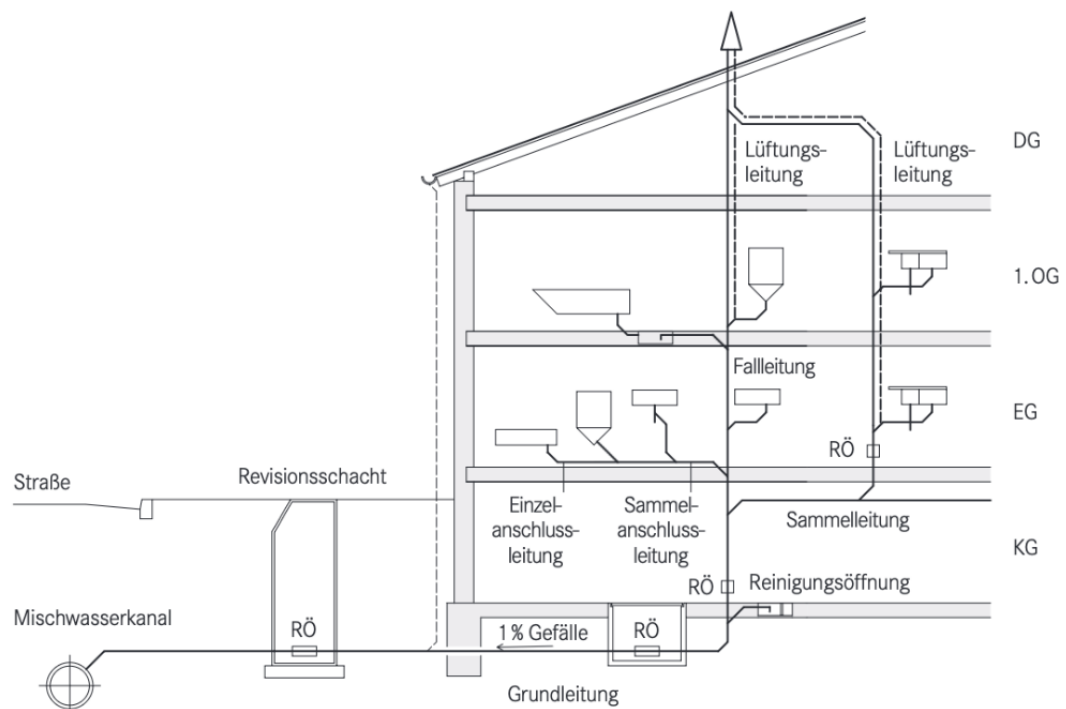
Abwasser

Im Folgenden wird das Abwasser betrachtet, welches „durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften“ (§ 54 WHG) verändert wurde. Es „ist so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird.“ (§ 55 WHG). Das Frisch- und Abwasser wird über Leitungssysteme zum und vom jeweiligen Bestimmungsort (ab-)transportiert. Je nach Beschaffenheit wird das Frischwasser nach Gebäudeeinführung vor der Benutzung behandelt, um den Kalk- und Magnesiumgehalt und somit die Wasserhärte zu reduzieren. Auch das Abwasser kann teilweise einer Behandlung in einer Wiederaufbereitungsanlage innerhalb des Gebäudes unterzogen werden, um wiederholt, zumeist vor Ort, genutzt werden zu können. Außerdem kann Wasser als Transportmedium bei der Wärme(-rück)gewinnung genutzt werden (Haas-Arndt 2017: 34).

Das resultierende Abwasser unterteilt sich in verschiedene Schmutzwasserkategorien, darunter Grau- und Schwarzwasser (Haas-Arndt 2017: 52 ff.).

Grauwasser ist fäkalienfreies und gering verunreinigtes Abwasser (DIN EN 12056-1). Dieses fällt beispielsweise beim Duschen oder Händewaschen an. Regenwasser, welches vom Gebäude abfließt, wird ebenfalls als Grauwasser bezeichnet. Obwohl es i.d.R. eine deutlich bessere Qualität als häusliches Grauwasser aufweist, kann das Regen- bzw. Oberflächenwasser dennoch durch Verunreinigungen der Luft oder Oberflächenwasserleitungen

Abbildung 10: Abwassernetz im Gebäude (Haas-Arndt, 2017, S. 55)



bzw. Lagerung stark verschmutzt sein, und ist somit vom Frischwasser stets zu unterscheiden. Allerdings lässt es sich zumeist für verschiedenen Zwecke einsetzen, für die das häusliche Grauwasser i.d.R. nicht geeignet ist. Hierzu zählt die Pflanzenbewässerung, aber auch der Einsatz als Nutzwasser in Toilettenspülsystemen oder bei Waschvorgängen. Allerdings bleiben die entsprechenden marktüblichen Geräte bislang generell auf die Frischwasserqualität ausgelegt.

Als Schwarzwasser wird häusliches Abwasser bezeichnet, welches durch Fäkalien verschmutzt ist (DIN EN 16323). Wie in Abbildung 10 dargestellt, wird das Abwasser in Gebäuden mit Hilfe eines Leitungsnetzes in die Kanalisation geführt. Die erfolgt meist über Fallleitungen und Leitungen mit Gefälle, sodass kein zusätzlicher Energieaufwand für den Wassertransport entsteht.

Das häusliche Grauwasser und Schwarzwasser weisen zumeist eine höhere Temperatur als ihre Umgebung auf, die ihnen durch Energierückgewinnung entzogen werden kann. In den meisten Gebäuden wird das Grau- und Schwarzwasser gemeinsam in den Abwasserleitungen in die Kanalisation und dann zur Reinigung in der Kläranlage transportiert. Getrennte Systeme für Grau- und Schwarzwasser sind technisch und finanziell aufwändiger, insbesondere bei eventueller Nachinstallation im Bestand, und werden aufgrund der jeweils niedrigeren Durchflussmenge, höherer Dichte des unverdünnten Schwarzwassers und zeitlicher Unregelmäßigkeiten der Leitungsauslastung und schließlich vor allem durch die wesentlich größere Gesamtlänge der Installationen aufgrund der Betriebstrennung als pflegeintensiver betrachtet als klassische Mischleitungen. Mit Plattenwärmetauschern lässt sich bei höheren Durchflüssen die Energie direkt aus dem Mischabwasser entziehen. Andererseits ist die Trennung des Grau- und Schwarzwassers bzw. seine Vorreinigung bei niedrigeren Durchflüssen, wie sie etwa in einzelnen Gebäuden vorkommen, mit optimaler Abwasserwärmerückgewinnung verbunden. Auch Nährstoff- bzw. Energieausbeute durch weitere Nachbearbeitung und Verwertung etwa in Biogasanlagen ist einfacher. Automatisierte Trennsysteme bieten inzwischen die Möglichkeit, diese auch ohne die Installation getrennter Schwarz- und Grauwasserstränge zu trennen.

Für die Kühlung hingegen eignet sich außer passiver Systeme wie Feuchtkiesdächer oder faunabasierter Kühlleistungen (Gründächer, Fassaden- und Freiraumbegrünung bzw. -verschattung) oft das Frischwasser; tech-

nologiebedingt spricht die höhere Reinheit und vergleichsweise niedriger Mengenverbrauch aktiver Systeme dafür.

Im Handel, Handwerk und sonstigem Gewerbe fällt ebenso Grau- und Schwarzwasser an, da auch hier sanitäre Anlagen entsprechend der häuslichen Gegebenheiten für die Mitarbeitenden eingerichtet sind. Wie bei der Betrachtung der Wasserinputs sind auch die Wasseroutputs für die verschiedenen Nutzungskategorien einzeln zu evaluieren. Vereinfacht wird davon ausgegangen, dass der Wasserinput dem Wasseroutput entspricht. Dies entspricht auch dem üblichen Vorgehen bei der Erhebung von Abwassergebühren.

Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass die Energie-, Wasser- und Ressourcenverbräuche unterschiedlicher Nutzungsarten immer von den konkreten örtlichen Gegebenheiten und Anforderungen abhängig sind. Sie unterscheiden sich deutlich zwischen den Nutzungsarten. Insofern sollten zur spezifischen Anlagenauslegung die konkreten Standortbedingungen beachtet werden. Gleichwohl haben alle Nutzungsarten gemein, dass sie Wasser und Energie – in Form von Strom und Wärme – in unterschiedlicher Menge benötigen. Generell ist zu bedenken, dass kleinteiligere Systeme mit haus- oder hausgruppenbezogenen Lösungen abhängiger sind von der Kombination einzelner Nutzungen, um optimale Energiegewinnung und Ressourcenaustausch zu ermöglichen, und somit weniger flexibel bzw. resilient beim Funktionswandel sind. Dies spricht dafür, die Energieaustauschsysteme in einem größeren Verbund, etwa auf Baublock- bzw. Quartiersebene, zu denken. Dadurch lassen sich Kopplungspotenziale zwischen den Nutzungen einerseits stabiler gestalten. Andererseits erhöht sich dabei die Systemkomplexität. Daher werden im Rahmen dieses Projekts diesbezüglich die Potenziale der Baublockebene als der kleinst-effizienten Einheit mit Potenzialen für flexible urbane Nutzungsmischung untersucht.

Um möglichst realistische und gleichzeitig verallgemeinerbare Einschätzungen zu erreichen, wurden mögliche Nutzungen (Wohnen, Handwerk, Handel, sonst. Gewerbe) und die zugehörigen Energie- und Wasserbedarfe sowie Outputs zusammengetragen (siehe Steckbriefe im Anhang Anlage 2). Auf Basis dieser idealtypischen, auf der Literatur und Erfahrungen von Fachpersonen basierenden Kennwerte konnten im weiteren Projektverlauf für unterschiedliche Konstellationen der Nutzungsmischung idealtypische Synergiekonzepte erarbeitet werden, die Wasser und Energie im Gebäudekreislauf möglichst effizient (wieder-)verwenden.

Für die Fallstudien in den Kapiteln 6.2. und 6.3. werden die Wasser- und Energieströme exemplarisch detaillierter betrachtet. Weitere Ressourcenströme, die für alle der identifizierten Nutzungsarten benötigt werden und Potenziale zur Kreislaufführung auf Baublockebene bieten würden, sind beispielsweise Material- und Nährstoffströme.

3.4. Anwendung im Raum: Fokus Nutzungsmischung

Um der transformativen Wandlungsfähigkeit der Städte Rechnung zu tragen, muss gewährleistet werden, dass langfristig immer neue Mischungen entstehen können. Dafür ist die Flexibilität des Gebäudes oder der Gebäudeteile sowie der Freiflächen für möglichst viele verschiedene Nutzungen notwendig. Homogen nutzbare Flächen sollten vermieden werden. Dazu gehören neben spezifischen Wohngebäude- oder Gewerbegebäudestrukturen auch die Lage und Form von Freiräumen. Auch Freiflächen, die aufgrund ihrer Anordnung und Zugänglichkeit langfristig nur für Fußgänger nutzbar sind wie Fußgängerzonen, oder die nur eine geringe Leistungsfähigkeit zugunsten eines selbstregulierenden Ökosystems vorweisen, weil sie großflächig und aufwändig versiegelt sind, sind monofunktional nutzbare Flächen, die nur mit einem erhöhten Aufwand für andere Nutzung umwandelbar sind. Dabei spielt es keine Rolle, ob die monofunktionale Nutzung in bestimmten Zeiträumen am Tag, im Jahr oder sogar über eine mehrjährige Dauer vorgesehen ist. Es ist nur relevant, dass die Wandlungsfähigkeit vorhanden bzw. der Aufwand zur Wandlung gering bleibt.

Zusammen mit architektonischen Kriterien für die Organisation der Gebäudestruktur im Inneren müssen im Städtebau einige Prämissen berücksichtigt werden. Es stellen sich dabei gebäudebezogene Strukturtypfragen ebenso wie die der Oberflächengestaltung von Gebäuden und Freiräumen. Für die Ansprüche an die städtebaulichen Entwürfe in den beiden Fallbeispielen sollen im Folgenden kurz die Kriterien dargelegt werden.

Aus Umfragen unter Handwerksbetrieben haben sich für die Standortbedarfe von diesen Betrieben folgende relevante Ergebnisse ergeben: Die Handwerksbetriebe verschiedener Kategorien (z.B. Baustellenhandwerk, Werkstatt Handwerk, Zulieferer der Industrie oder Ladenhandwerk) wünschen vor allem Erweiterbarkeit in Form von baulicher und/oder räumlicher Flexibilität, Anlieferungs- und Parkplatzflächen und betriebskompatible Geschosshöhen im Erdgeschoss (HWK Hamburg 2021). Die Wohnqualität wird insbesondere durch städtebauliche Eigenschaften gewährleistet, die den privaten Raum schützen, gut nutzbare private oder gemeinschaftlich-private Außenräume anbieten und eine gute Belichtung und Abschirmung von Emissionen von außen ermöglichen. Räumliche Ansprüche der Gemeinbedarfseinrichtungen sind in der Regel sehr spezifisch, profitieren aber generell von ähnlichen Eigenschaften wie der Wohnungsbau und das Gewerbe. Der Städtebau kann diese Bedarfe durch die Setzung von Baukörpern, Orientierung verschiedener Nutzung zu unterschiedlichen Seiten hinsichtlich ihrer Räume gewährleisten, die Erschließung und Gestalt durch Material und Form von Frei- und Gebäudeoberflächen beeinflussen.

Die Entscheidung für einen Strukturtyp, einer Klassifizierung zur Unterscheidung verschiedener Anordnungen von Baukörpern in einem Baublock, bietet die Gelegenheit, sich in übergeordneter Weise mit einer geeigneten physischen Struktur zu befassen. Solitäre, Zeilen oder Cluster erzeugen meist einen fließenden Stadtraum, der erst durch sekundäre Bauten oder Abgrenzungen zониert werden kann. Die Vielfalt der Blockrandbebauung an Zugänglichkeit und Charakteristika von Gebäudeseiten begünstigt dagegen auch eine Vielfalt an Nutzun-

Abbildung 11: Handlungsbereiche der Nutzungsmischung und des Ressourcenaustauschs



gen. Dabei liegen Werkstattbetriebe des Handwerks im Bestand vorrangig in den Blockrandbebauungen des Innenstadtrands und Hallen in Gewerbegebieten (Söfker-Rieniets und Schmidt 2022).

Komplex wird die Geschossstruktur eines Gebäudes, wenn es möglichst wandlungsfähig sein soll. Dabei sind folgende Überlegungen hilfreich: Während Wohnnutzungen in Obergeschossen meist problemlos unterzubringen sind, auch bei spezifischen vorgefundenen physischen Strukturen im Bestand, ist eine qualitätsvolle Wohnnutzung im Erdgeschoss von wesentlichen Parametern abhängig. Ob sie im Erdgeschoss möglich ist, hängt maßgeblich davon ab, wie groß der Abstand zur öffentlichen Fläche ist, vertikal oder horizontal. Ob eine halböffentliche Gewerbenutzung im Erdgeschoss möglich ist, hängt davon ab, ob sie gut zugänglich und ggf. auch gut sichtbar ist. Für hohe Flexibilität sollen Änderungen ohne großen baulichen Aufwand vollzogen werden können. Massive Gebäudeteile umzubauen ist ggf. aufwändiger als Hausvorbereiche umzugestalten, Sekundärbauten aufzustellen oder abzubauen. Ist bei einer gewerblichen Nutzung ein Vor- oder Hinterbereich einer Erdgeschossfläche nützlich, kann dies im Falle einer Umnutzung zur Wohnfläche als Puffer und Sichtschutz genutzt werden. In den kleinen Blockrandparzellen können hinterhofseitig Strukturen ergänzt oder weggenommen werden, ebenso in Hallenstrukturen. Letztere sind für die Kombination mit Nutzungen des Gemeinbedarfs oder des Wohnens oft nur mit Einschränkungen kombinierbar. Daher wird in der Neubebauung eine Blockrandstruktur gewählt, die durch ihre raumhaltige Schicht entlang der Straße die Freiraumbereiche eindeutig hinsichtlich der Zugänglichkeit zonierte und die Orientierung der Gebäudeseiten verschieden charakterisiert; zum Beispiel ruhig und privat innen, lebendig und sichtbar außen. Durch einen gänzlichen Verzicht auf die hinterhofseitigen Strukturelemente für Handwerk oder andere Nutzungen würden jedoch deutliche Einschränkungen für die Flexibilität der Erdgeschossnutzungen entstehen. Um daraus resultierende Konflikte zu vermeiden, wurden daher Möglichkeiten von hofseitig flexibler Zonierung gesucht. Dazu gehören multifunktionale Bereiche am Übergang zum Gebäude, die im Zusammenhang mit den Erdgeschossnutzungen baulich geschlossen oder offen gehalten werden können. Abstand zur darüber liegenden Wohnnutzung kann unter anderem durch Sockelbebauung mit darauf situierten privaten oder privat-gemeinschaftlichen Nutzungen erzeugt werden. Die Erdgeschosse werden als Stelzenkonstruktion mit vertikaler, schallisolierender konstruktiver Trennung der Gebäudeteile ausgebildet. Dies lässt viele Nutzungen zu, da Einbauten und Installationen veränderbar sind, etwa durch Trockenbauwände oder Fenstertüren.

Der Anspruch auf Flexibilität gilt ebenfalls für die Freiräume: Während viele versiegelte Flächen für diverse anthropozentrische Nutzungen geeignet sind (Parkplatz als Fahrradübungsplatz für Kinder, Kitaterrasse als gewerbliche Lagerfläche oder vice versa), sind entsiegelte Flächen außer Rasenflächen der direkten anthropozentrischen urbanen Nutzbarkeit entnommen. Sie leisten dafür unterschiedliche Beiträge zur Lebensqualität, weil sie lokalklimatisch positiven Einfluss auf Temperatur und Feuchte nehmen, Grünräume darstellen oder zum natürlichen Wasserkreislauf beitragen. Auch bieten sie bei geeigneter Gestaltung eine räumlich unmittelbar vorhandene Alternative zu rein urbanen Funktionen. Im Entwurf wurden daher Gestaltungsmöglichkeiten gesucht, die im besten Fall solche Funktionen vereinen (z.B. baumverschatteter Außensitzplatz mit Funktionen der Versickerung, Ökotopbildung, Kühlung usw.). Die Herausforderung liegt dabei in der naturnahen Gestaltung eines ausreichenden Flächenanteils dichter urbaner Räume, um die genannten Funktionen gewährleisten zu können. Dies gilt vor allem dann, wenn Resilienzreserven mit bedacht werden sollen, etwa beim Oberflächenwassermanagement. In vielen Fällen, und so auch in den beiden Fallstudiengebieten, werden solche nur dank technischer Lösungen erreicht.

4. Wasser als geteilte Ressource: Urbane Wasserkreisläufe und Technologiesysteme

4.1. Urbane Wasserkreisläufe in der klimaadaptiven Stadt

Mit dem Klimawandel stehen die Stadt sowie die urbanen Wasserkreisläufe vor neuen Aufgaben. Hitzewellen, Starkregenereignisse und Trockenperioden beeinflussen nicht nur die (ökologische) Funktionsfähigkeit der Städte, sondern auch die Lebensqualität, Nutzungsmöglichkeiten und Gesundheit ihrer Bewohnenden (BMUV 2023: 7). In all diesen Herausforderungen ist die Ressource Wasser kritischer Bestandteil eines komplexen Kreislaufsystems, besonders im Zusammenhang mit der Hitzeentwicklung der Städte.

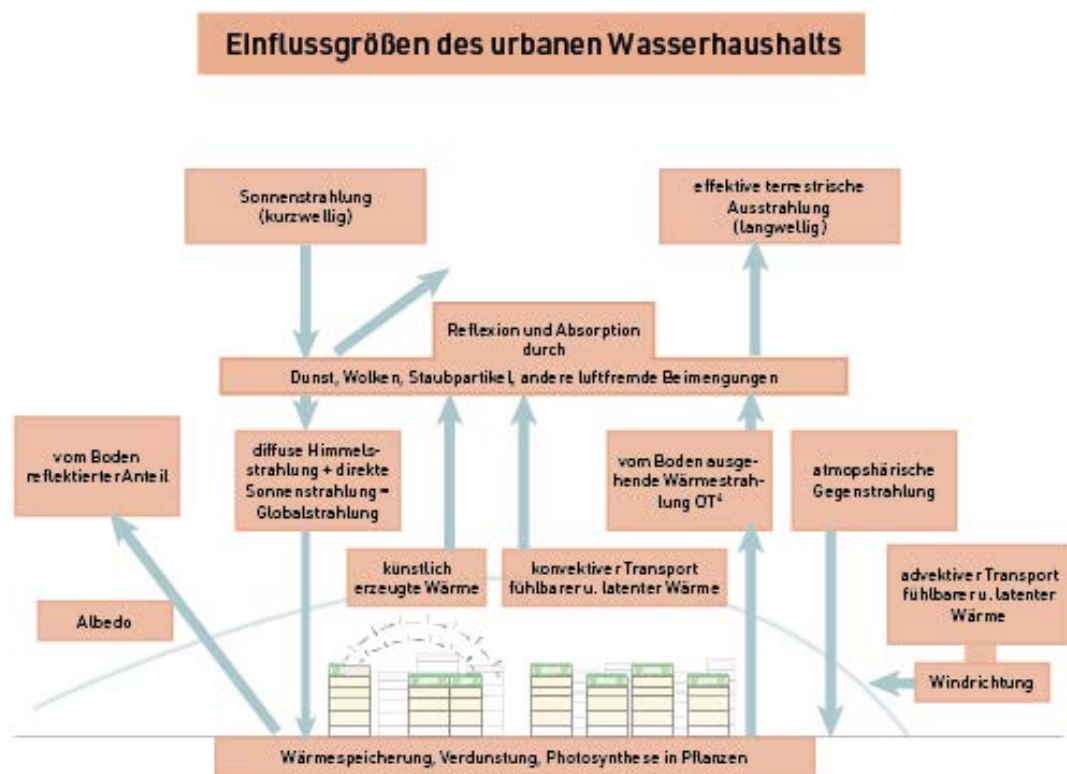
Urbane Wasserkreisläufe sind Teil des urbanen Wasserhaushalts. Da sich diese Lösungsstrategien aber auch in größere urbane Systeme einfügen, wurde dabei die aktuelle und zukünftige Situation im Umgang mit der Ressource Wasser in urbanen Kontext betrachtet. Messgrößen sind der anfallende Niederschlag und dessen Aufteilung als Oberflächenabfluss, Evapotranspiration und den Rückfluss zur Grundwasserbildung (Stokman et al. 2016: 14). In urbanen hochverdichteten und versiegelten Systemen mit klassischen Wasserkreisläufen summiert sich das Niederschlagswasser zum größten Anteil als Oberflächenabfluss. Dieser wird in die Kanalisation abgeleitet, aufbereitet und in stadtnahe Gewässern eingeleitet. Das Niederschlagswasser kann so keinen lokalen Mehrwert als Nutzwasser oder Sickerwasser in das Grundwasser erbringen.

Starkregenereignisse stellen eine zunehmende Herausforderung für urbane Räume dar, die in den letzten Jahren verstärkt an Intensität und Häufigkeit gewonnen haben (UBA 2020: 18). Die Veränderungen im Niederschlagsverhalten beeinflussen die urbanen Systeme erheblich. Die unzureichende Anpassung der städtischen Planung und Entwässerungssysteme an Starkregenereignisse führt zu Überflutungen und erhöhten Risiken für die städtische Bevölkerung. Die Erosion von Böden und die Zunahme versiegelter Flächen verschärfen die Problematik zusätzlich. Da die Wassermenge eines Starkregenereignisses meist die Sickerkapazitäten der urbanen Freiflächen übersteigt, werden große Mengen über die Kanalisation abgeleitet. Die in dem Moment vorhandene Ressource Wasser kann weder versickern und dem Grundwasser zugeführt werden, noch wird sie gespeichert. Dies ist ein ineffizienter Umgang mit der Ressource. Parallel zu Starkregenereignissen nehmen auch die Trockenperioden zu (UBA 2020: 35).

Als innovativer und nachhaltiger Umgang mit der Ressource Wasser in der Stadt hat sich die wassersensible Stadtentwicklung als Strategie etabliert. Kern der wassersensiblen Stadtentwicklung ist das lokale Nutzen und Speichern von Niederschlagswasser sowie die direkte Versickerung bzw. Evapotranspiration vor Ort. Die Ableitung als Oberflächenwasser in die Kanalisation soll als letzter Weg erfolgen. Die wassersensible Stadtentwicklung dient zur Regulation des alltäglichen urbanen Wasserhaushalts, aber auch dem Umgang mit akutem Starkregen und der Wasserspeicherung für Trockenperioden. Das Konzept der wassersensiblen Stadtentwicklung umfasst drei wesentliche Handlungsfelder: die nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft, die Stadtplanung und die Freiraumgestaltung (Hoyer et al. 2011: 14). Sie ergänzt den Begriff der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung um die strategische Ebene der Stadtplanung (Stokman et al. 2016: 16f.). Die einzelnen räumlichen Elemente der wassersensiblen Stadt werden unter dem Begriff der blauen Infrastruktur zusammengefasst.

Durch den Faktor der Evapotranspiration hat der urbane Wasserkreislauf auch Effekte auf die Hitzeentwicklung der Stadt. Der Effekt der urbanen Hitzeinseln (UHI) beschreibt den Unterschied in der Lufttemperatur zwischen der Stadt und dem ruralen Umland, der beinhaltet, dass die Jahresdurchschnittstemperatur in Städten höher liegt als im Umland. Dabei kann die innerstädtische Minimaltemperatur in der Nacht bis zu 10 °C über dem Umland liegen (DWD). Der Anstieg der mittleren jährlichen Lufttemperatur wird zukünftig zu wärmeren beziehungsweise heißeren Sommern mit einer größeren Anzahl an heißen Tagen und Tropennächten führen. Extre-

Abbildung 12: Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts



me Hitzeereignisse können dann häufiger, in ihrer Intensität stärker und auch länger anhaltend, auftreten. UHI treten auf, sobald die natürliche Oberfläche (Vegetation und Wasser) durch künstliche Baumaterialien ersetzt. Bei natürlichen Oberflächen wird die absorbierte Energie im Prozess der Verdunstung in Wasserdampf umgewandelt. Dieser Prozess wird auch latente Wärme genannt. Natürliche Oberflächen kühlen die Umgebungsluft ab, wenn sie der Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Im Gegensatz dazu enthalten künstliche Baumaterialien eine geringe Menge an Wasser, daher wird die absorbierte Energie als Wärme abgegeben (Golden 2004: 326 f.). Nicht nur die vom Menschen gebaute Stadt führt zu den urbanen Hitzeinseln, sondern auch das tägliche Handeln des Menschen (Abbildung 12). Anthropogene Wärme, die durch den Verkehr, aber auch dem Gewerbe und der Industrie emittiert wird, führt zu einer Verstärkung der UHI (Dissanayake/Kurugama/Ruwanthi 2020: 535). Ein weiterer Einflussfaktor auf die Lufttemperatur ist der Versiegelungsgrad. Pro 10 % Zuwachs des Versiegelungsgrades steigt die Temperatur im Vergleich zum unversiegelten Umland um ca. 0,2 °C (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012a: 27). Deutsche Großstädte erreichen einen Versiegelungsgrad von circa 50 %. In Innenstadtbereichen und auch in Gewerbegebieten kann er zum Teil jedoch auch bei 100 % liegen (Kuttler 2004: 194; Stadt Essen 2002: 84).

Besonders hochverdichtete und stark versiegelte urbane Räume wie die innerstädtischen Misch- oder Gewerbegebiete des Forschungsvorhabens zeigen bisher einen ineffizienten Umgang mit der Ressource Wasser auf, sind Hitzeinseln im Stadtgefüge und bleiben insgesamt wenig resilient bei Extremwetterereignissen. Um diesem entgegenzuwirken, sind stadtplanerische Strategien, die auf der Stärkung von urbanen Wasserkreisläufen basieren, für die Klimaanpassung entscheidend. Der aus dem Flächendruck im urbanen Raum ergebende Konflikt von Dichte vs. Freiraum (Kapitel 3.1.) fordert multifunktionale Lösungen, die den urbanen Raum durch Nutzungs- und Funktionsüberlagerungen optimal ausnutzen.

4.2. Der Energy-Water-Nexus

Der urbane Wasser-Energie-Nexus umfasst die komplexen Wechselwirkungen zwischen Wasser- und Energie-ressourcen in städtischen Gebieten und der dazugehörigen Infrastruktur mit der Bevölkerung, die darauf angewiesen ist, und den Institutionen, die sie verwalten. Unabhängig vom städtischen Raum wird auch vom Nexus zwischen Wasser, Energie und Land gesprochen, welcher essenziell für eine funktionierende Landwirtschaft ist (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung o. J.). Der Begriff Nexus drückt aus, dass eine Verbindung zwischen den Komponenten besteht und diese Ressourcen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden sollten (Fraunhofer IGB o. J.).

Besonders im urbanen Raum besteht ein hoher Druck auf die Ressourcen aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte (Steiner 2015: 3). Zur Energiegewinnung werden große Mengen Wasser benötigt. Im weltweiten Durchschnitt können etwa 8 % der Wasserentnahme dem Energiesektor zugerechnet werden, wohingegen er in industrialisierten Ländern deutlich höher, in Europa beispielsweise bei 45 %, liegt (Steiner 2015: 4). Gleichzeitig wird für die Bereitstellung und Erwärmung von Trinkwasser ein erheblicher Energieaufwand benötigt (Fraunhofer IGB o. J.; Friedrich 2020). Auch die zentrale Behandlung von Abwasser zählt mitunter zu den größten Stromverbrauchern städtischer Einrichtungen (Umweltbundesamt 2009: 1). Einsparungen oder Knappheit an einer Ressource bedeuten somit auch weitere Folgeeinsparungen der anderen Ressourcen (Steiner 2015: 5). In Deutschland wurde im Jahr 2023 mit der Novelle des Energieeffizienzgesetzes sowie der erstmaligen Verabschiedung einer Nationalen Wasserstrategie der Notwendigkeit zur Einsparung von Energie und Wasser auch politisch Rechnung getragen. In der wissenschaftlichen Debatte um den Wasser-Energie-Nexus wird dabei immer wieder betont, dass eine ganzheitliche Betrachtung und eine robuste Analyse der Potenziale aber auch der technischen, planerischen und politischen Voraussetzungen von Ressourcenrückgewinnung und Effizienzsteigerung notwendig sind, um nachhaltige und anpassungsfähige urbane Wasser- und Energiesysteme zu schaffen (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung o. J.). Aktuell werden Energie- und Wasserrichtlinien sowie Strategien kaum vernetzt miteinander betrachtet und diskutiert (Yillia 2016: 87). Großen Einfluss auf den Wasser-Energie-Nexus haben auch die klimatischen Bedingungen, die das Wasserdargebot sowie Sonneneinstrahlung und potenzielle Verdunstung beeinflussen (Steiner 2015: 28).

In schnell wachsenden Städten stoßen die herkömmlichen zentralisierten Entwässerungs- und Abwasserbehandlungssysteme an ihre Grenzen (Duque Villarreal 2023: 1 f.). Der Nexus-Ansatz sieht in steigenden Bevölkerungszahlen und zunehmender Urbanisierung nicht nur Herausforderungen, sondern auch Chancen für die Implementierung resilienterer, flexiblerer und dezentraler Infrastruktursysteme (Steiner 2015: 22). Im Projekt sollen daher zur Entlastung bestehender Entsorgungssysteme dezentrale Systeme vorgeschlagen werden, die Vorteile wie Wasser- und Energieeinsparung, Rückgewinnung von Wasser, Energie und Nährstoffen sowie Energiegewinnung aus Abwasser, Anpassung an individuelle Bedürfnisse und Beseitigung langer Leitungsnetze mit sich bringen. Dabei sollten Wechselwirkungen zwischen einzelnen Maßnahmen Berücksichtigung finden. Erweitert wird der Ansatz häufig um Fragen der Ernährungssicherheit im sogenannten FEW-Nexus – dem Food-Energy-Water-Nexus (Fraunhofer IGB o. J.). Dabei werden die Wasser- und Energiebedarfe der Nahrungsmittelproduktion nicht nur großmaßstäblich in ruralen Gebieten betrachtet, sondern zunehmend auch die urbane Produktion von Nahrungsmitteln mit in die Betrachtung integriert. Im Projekt werden die Potenziale dieses Nexus jedoch nicht mit untersucht.

4.3. Technologiesysteme mit dem Fokus Wasser

Die Recherche der Ressourcenströme in AP 2 diente als Ausgangspunkt für die Sammlung relevanter Technologien zur Nutzung der Kopplungspotenziale. Auf Basis einer Desktoprecherche wurde eine Sammlung verschiedener Technologien und Maßnahmen zur Einsparung und Rückgewinnung der Ressourcen Wasser und Energie im Gebäude und Baublock durchgeführt. Anschließend wurden geeignete Auswahlkriterien für die Fokussierung auf zehn Technologien festgelegt. Die gewählten Auswahlkriterien sind der Innovationsgrad, der

Water-Energy-Nexus sowie das Kopplungspotenzial in der Nutzungsmischung. Diese Auswahlkriterien wurden je nach Ausprägung in drei Bewertungsstufen (I – III) eingeteilt.

Die betrachteten Technologien werden zur Veranschaulichung im Folgenden vorgestellt.

Die erste betrachtete Technologie ist die Bioreaktorfassade (Kerner und Hindersin 2018). Bei der Bioreaktorfassade werden in vertikalen Glaslamellen Mikroalgen gezüchtet, die durch Photosynthese und Solarthermie Biomasse und Wärme produzieren. Die beiden Energieträger werden über ein Kreislaufsystem in die Technikzentrale des Gebäudes geleitet und über Wärmetauscher bzw. Algenabscheider entnommen. Die Glaselemente sind drehbar gelagert und können dem Sonnenstand nachgeführt werden. In den Photobioreaktoren wird Luft mit Überdruck in Paneele eingeleitet. Die durch die aufsteigenden Luftblasen hervorgerufenen Turbulenzen stimulieren die CO₂- und Lichtabsorption der Algen. Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, wurde diese Bioreaktorfassade als Technologie nicht weiter verfolgt, da die Technologie sehr neuartig ist und einen starken Pilotprojektcharakter hat. Dadurch würden weitere Entwicklungszeiten anfallen.

Tabelle 4: Bewertungsmatrix der Technologiesysteme

		Innovations- grad (I-III)	Water- Energy-Nexus (I-III)	Kopplungs- potenzial in Nutzungs- mischung (I-III)	Auswahl
Energie	Bioreaktorfassade (Kerner und Hindersin 2018)	III	III	I	
	Abwärmenutzung (Aydemir et al. 2019, Hirzel et al. 2013)	I	III	III	x
	Wasserstoffproduktion und Rückführung des Wassers (HPS 2020)	II	III	I	x
	Holzschnitzelheizungen aus Betriebsabfällen (Kloth o.J.)	I	II/III	III	x
Wasser	Kopplung v. Fassadenbegrünung mit Grau- wasser (Wißmann et al. 2019)	III	III	I	x
	Abwasserwärmenutzung (Fritz und Pehnt 2018)	II	III	II/III	x
	Grauwasseraufbereitung (Hörschemeyer 2023)	II	III	III	x
	Schwarzwasseraufbereitung zu Biogas (Hamburg Wasser o.J.; Houseful, o.J.)	III	III	III	x
	Urinseparation (Larsen 2020; Eawag 2007)	III	III	I	
	Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäu- dekühlung (KURAS 2017a)	II	III	I	x
	Lokale Sammlung und Nutzung von Regen- wasser (Hörschemeyer 2023)	I/II	III	I	x
	Nutzung von Lebensmittelresten aus Bäcke- reien in Brauereien (Ganzenmüller o.J.)	III	II	III	x

Die zweite betrachtete Technologie ist die Abwärmenutzung. Bei der Abwärmenutzung wird Abwärme oder Kälte aus verschiedenen Quellen für unterschiedliche Anwendungen nutzbar gemacht. Abwärmequellen können Prozessabluft, Kälteanlagen, Drucklufterzeugung oder raumlufthechnische Anlagen sein (dena 2015: 4). Die gewonnene Abwärme kann zur Erzeugung von Strom, Kälte, Raumwärme und Warmwasser sowie zur externen Nutzung (Nah- und Fernwärmenetz) genutzt werden (edb.: 5). Je nach Temperaturbereich sind die Nutzungsmöglichkeiten vielfältig. Beispielsweise kann Wärme mit Hilfe von Wärmetauschern genutzt oder eine Temperaturerhöhung mit Wärmepumpen realisiert werden. Kälte kann durch Kältemaschinen erzeugt werden. Darüber hinaus kann aus Abwärme auch Strom durch Dampfprozesse oder ORC-Anlagen erzeugt werden (ebd.).

Als dritte Technologie wurde die Wasserstoffproduktion und Rückführung des Wassers betrachtet. Über Photovoltaikmodule wird Strom erzeugt, der im Gebäude genutzt und bei Überschuss im hauseigenen Stromspeicher zwischengespeichert wird. Sobald die Kapazität des Stromspeichers erreicht ist, wird aus dem überschüssigen Strom mit Hilfe eines Elektrolyseurs Wasserstoff erzeugt und gespeichert. Der Wasserstoff wird dann bei Bedarf in einer Brennstoffzelle in Strom umgewandelt und so wieder für elektrische Anlagen nutzbar gemacht. Die dabei entstehende Abwärme kann zur Warmwasserbereitung und Raumheizung genutzt werden (HPS 2020).

Eine weitere Technologie ist die Holzschnitzelheizung aus Betriebsabfällen. Hackschnitzel oder Pellets werden aus Holzabfällen oder gefilterten Spänen aus Abluftanlagen hergestellt. Auch Stückholz kann verwendet werden. Die Holzabfälle werden über eine Förderschnecke oder ein Saugsystem aus dem Bunker in einen Heizkessel transportiert und dort verbrannt. Die Abwärme wird meist zur Erzeugung von Raumwärme genutzt. Hackschnitzelheizungen sind meist so ausgelegt, dass sie über einen längeren Zeitraum auf niedrigem Niveau heizen und diese Wärme dann in einem Wärmespeicher gespeichert wird (Hargassner 2023).

Die fünfte betrachtete Technologie ist die Kopplung von Fassadenbegrünung mit Grauwater. Fassadenbegrünungen können auf zwei Arten angelegt werden: systemgebunden oder erdgebunden. Beide erfordern eine kontinuierliche Bewässerung. In der Regel wird zur Bewässerung der Pflanzen entweder Trink- oder Regenwasser verwendet. Es gibt erste Forschungsprojekte, die das im Gebäude anfallende Grauwater für die Bewässerung der Pflanzen nutzen. Auf diese Weise können die PV-Module einerseits die Fassadenbegrünung vor extremen Witterungsbedingungen schützen. Andererseits kann die Begrünung auch zur Kühlung der PV-Module beitragen, was wiederum höhere Stromerträge ermöglicht (VertiKKA).

Die sechste Technologie ist die Abwasserwärmenutzung, bei der die ganzjährig konstante Wärme (zwischen 12 und 20°C) aus dem Abwasser durch die Installation eines Wärmetauschers im Kanalrohr nutzbar gemacht wird (Abbildung 13) (Berliner Wasserbetriebe o.J.: 4). In Kombination mit einer Wärmepumpe kann die zurückgewonnene Restwärme auf das benötigte Vorlauftemperaturniveau gebracht und in den Heizkreislauf zurückgeführt werden (Fritz und Pehnt 2018: 4). Die Wirtschaftlichkeit dieses Systems wächst mit der Menge des Energiebedarfs (pro Quartierslösung) und ist konventionellen Technologien gegenüber konkurrenzfähig (Fritz und Pehnt 2018: 17 f.). Die Abwasserwärmenutzung ist gut integrierbar und kann die Nutzungen von Handwerk und Wohnen koppeln, da dadurch dauerhaft warmes Abwasser bereitgestellt werden kann.

Die siebte betrachtete Technologie ist die Grauwasseraufbereitung. Bei der Grauwassernutzung wird das Wasser aus Dusche, Badewanne und Handwaschbecken in einer Grauwasseraufbereitungsanlage gesammelt (DIN EN 12056-1) (Abbildung 14). In einem zweistufigen Aufbereitungsverfahren wird das gesammelte Wasser zuerst biologisch gereinigt und im Anschluss mit einer Membranfiltration von den restlichen Schmutzpartikeln befreit (Hamburg Wasser o.J.). Das so aufbereitete Grauwasser kann anschließend als Brauchwasser (nicht Trinkwasser) verwendet werden (z.B. Toilettenspülung) (Hamburg Wasser o.J.; Libbe et al. 2017: 116). Dies führt zu der Einsparung von Brauchwasser und der Reduktion der Kosten für Betriebs- und Abwasser (Hörnschmeyer et al. 2023: 119). Bei der Implementierung dieser Technologie lassen sich Synergien zwischen den Nutzungen erschließen.

Abbildung 13: Funktionsschema Abwasserwärmenutzung

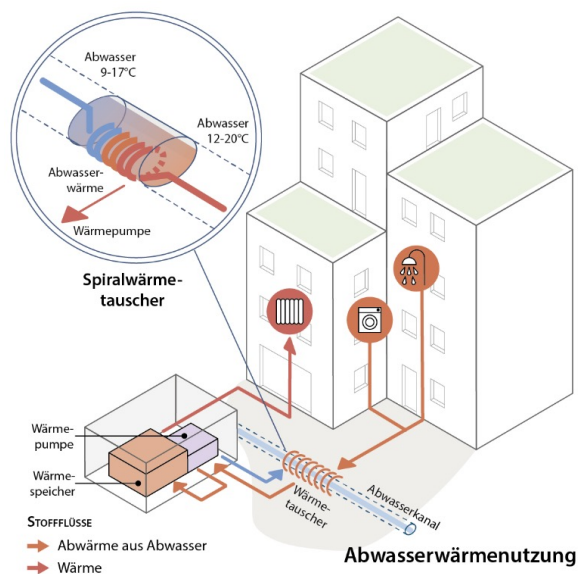
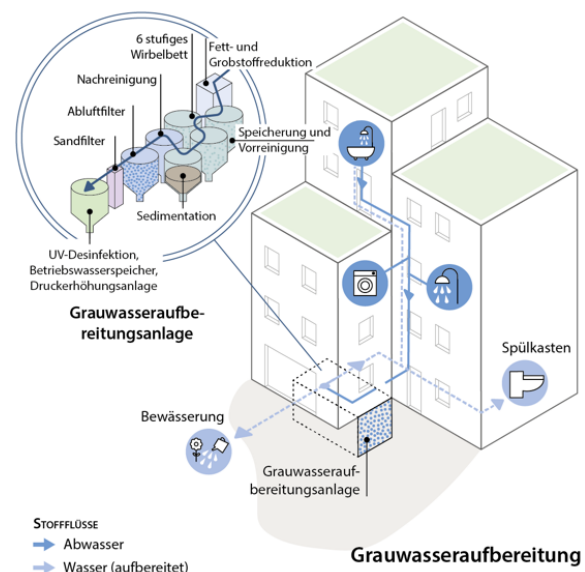


Abbildung 14: Funktionsschema Grauwasseraufbereitung



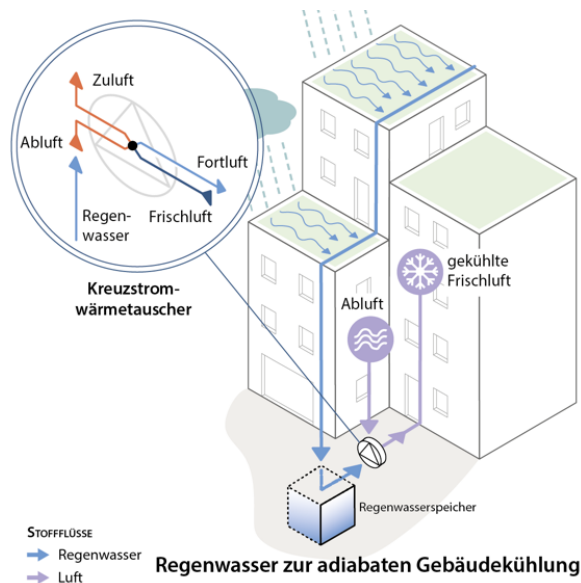
Eine weitere Technologie ist die Schwarzwasseraufbereitung zu Biogas. Für eine effiziente Nutzung des Abwassers im Unterdrucksystem ist es notwendig, die Abwasserströme getrennt zu erfassen und zu behandeln. Schwarzwasser, das aus häuslichem Abwasser ohne Grauwasser und mit fäkalen Feststoffen (SO 6107-7:1997) besteht, enthält ein hohes Nährstoff- und Energiepotenzial (Hamburg Wasser o.J.: 10). Es kann zusammen mit organischen Abfällen und Klärschlamm aus der Grauwasserbehandlung in einem CSTR (Continuously stirred tank reactor) und einem UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) behandelt werden (Davoudi et al. 2016: 29). Dabei wird das Schwarzwasser in Feststoffe und Flüssigkeiten getrennt und entsprechend aufbereitet. Das dabei entstehende Biogas kann mit Hilfe eines Blockheizkraftwerks zur Energieerzeugung im Quartier genutzt werden. Aus den Feststoffen der Gärreste entsteht Kompost, der landwirtschaftlich genutzt werden kann, während die flüssigen Stoffe zusammen mit dem Grauwasser als Brauchwasser genutzt werden können (ebd.).

Außerdem wurde die Urinseparation betrachtet. Bei der Toilettenbenutzung wird der langsam fließende Urin durch eine speziell geformte Lippe nach dem so genannten „Teekannen-Effekt“ abgeleitet, während das schnell fließende Spülwasser anschließend einfach über die Lippe abläuft. Auf diese Weise können fast 80% des Urins separiert werden. Dazu ist eine spezielle Toilette erforderlich. Aus dem Urin lässt sich Nitrat gewinnen, organische Mikroverunreinigungen wie Medikamente können mit Aktivkohle entfernt werden. Durch Recyclingprozesse kann Dünger hergestellt werden. (Larsen 2020; Eawag 2007). Diese Technologie wurde nicht weiter betrachtet, da sie in Bestandsgebäuden die Erneuerung aller Toiletten, zusätzlicher Leitungen und Aufbereitung zur Folge hätte. Außerdem gibt es in Deutschland eine gute Abwasserinfrastruktur, die eine zusätzliche Urinseparation nicht notwendig macht.

Die zehnte gewählte Technologie ist die Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäudekühlung (Abbildung 15). Dabei wird Niederschlagswasser vorzugsweise von Dachflächen gesammelt, aufbereitet und anschließend zur adiabaten Gebäudekühlung über Verdunstung genutzt, also als indirekte adiabate Befeuchtungskühlung. Sie folgt dem Prinzip der „Kälterückgewinnung“ (Kälteerzeugung über Verdunstungsprozesse), indem die Temperatur der zugeführten Frischluft über Wärmetauscher gesenkt wird (KURAS 2017a). Hierbei wird die aus dem Raum abgeführte und als Fortluft vorgesehene Luft befeuchtet und abgekühlt (KURAS 2017a). Diese Kühlung wird dann über ein Kreislaufverbundsystem oder über Plattenwärmetauscher aufgenommen und auf die wärmere Außenluft übertragen (KURAS 2017a). Da in der Klimatechnik aufgrund der Zustandsänderung die Luftfeuchte steigt, kann die Zuluft aus Komfortgründen nicht direkt befeuchtet werden. Dies erfolgt stattdessen im Abluftstrom (KURAS 2017a). Niederschlagswasser ist durch seine geringe Leitfähigkeit sehr gut geeignet (SenStadt 2010: 57). Die adiabate Gebäudekühlung ist ein klimafreundlicher, leicht integrierbarer Weg zur Kühlung von Gebäuden. Insbesondere unter Berücksichtigung der zunehmenden Hitzeextreme im Zuge des

Klimawandels, die im verdichteten urbanen Raum besonders stark ausgeprägt sind (urbane Hitzeinsel; vgl. Hackenbruch 2018: 1 ff.; Hackenbruch et al. 2017: 58 ff.), werden Kühlleistungen im Sommer eine zunehmende Relevanz erfahren. Lösungen, die hierbei den Energieeinsatz reduzieren, sollten als besonders erstrebenswert angesehen werden.

Abbildung 15: Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäudekühlung



Bei einer weiteren Technologie, der Nutzung von Lebensmittelresten aus Bäckereien in Brauereien, werden nicht mehr vermarktungsfähige Brotreste aus Bäckereien zum Bierbrauen verwendet (Hofer 2019). Die Brotreste werden meist noch am Produktionsstandort der Bäckerei zerkleinert, gekühlt und an die Brauerei geliefert (Süwag 2022). Im Brauprozess wird in der Regel Malz durch Brot ersetzt (Lehn et al.). Es gibt in Deutschland und weltweit einige Brauereien, die Kooperationen mit Bäckereien eingehen und Bier mit Brotresten brauen (Karmann 2021).

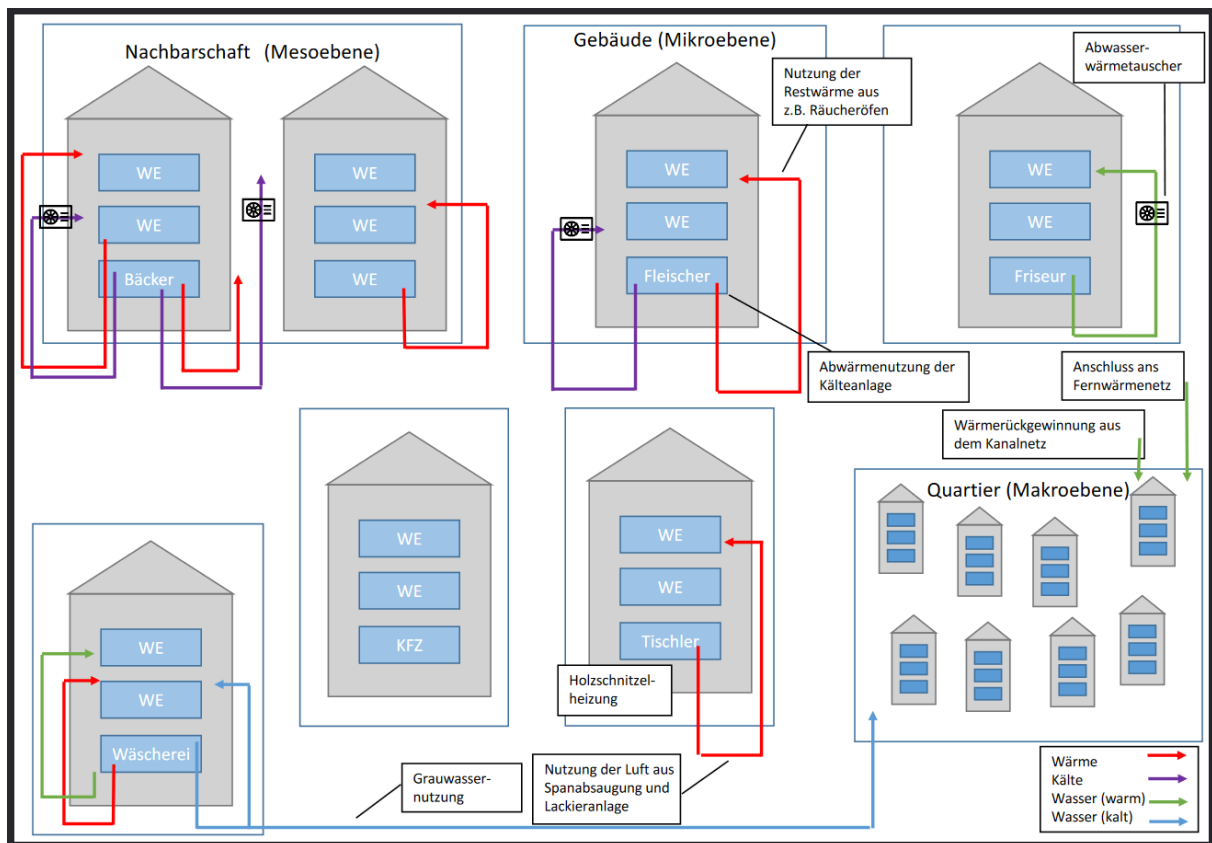
Die Auswahlkriterien für die Technologien zur genaueren Betrachtung wurden im Anschluss definiert.

4.4. Flexible Systeme: Funktionstypen in der Nutzungsmischung

Durch die Etablierung der in Kapitel 4.3. identifizierten Technologien lassen sich Kopplungspotenziale im Quartier realisieren. Die Kopplungspotenziale können auf der Makro-, Meso- sowie der Mikroebene gedacht werden. Schnittstellen entstehen da, wo Wasser oder Wärme durch Nutzungen entstehen und ein entsprechender Bedarf durch die Nutzungen im Quartier vorhanden ist (siehe Abbildung 16).

Eine Herausforderung bei der Erschließung der Synergiepotenziale ist, dass technische Systeme pfadabhängig sind, da sie einerseits auf gewisse Zuströme und Abnahmemengen ausgelegt werden müssen und andererseits mit Investitionskosten verbunden sind, die sich auf den Wert der Immobilien auswirken. Gleichzeitig unterliegen Nutzungen natürlichen Fluktuationen und deutlich kürzeren zeitlichen Abfolgen. Damit die Nutzung der Kopplungspotenziale auch gewährleistet werden kann, wenn einzelne Akteurinnen und Akteure bzw. Nutzende das Quartier oder den Baublock verlassen, wurden im Zuge des Projektes Funktionstypen entwickelt. Diese sind durch unterschiedliche idealtypische Konstellationen von Produzenten und/oder Konsumenten von Wasser, Strom und Wärme charakterisiert. Verschiedene Nutzungsarten in den Funktionstypen weisen spezifische Ressourcen- und Energieprofile auf, die beispielsweise im Handwerkssektor auf unterschiedliche Handwerksarten zutreffen. Anhand der ermittelten Profile wurden Potenziale zur Kopplung der Ressourcen- und Energieströme über technische Lösungen herausgearbeitet. Da die konkreten Nutzungen innerhalb der

Abbildung 16: Kopplung der Wasser- und Energieströme zwischen den Nutzungen



Funktionstypen austauschbar sind, erhalten die Funktionstypen eine gewisse Modularität und damit auch Flexibilität. Somit muss nicht das gleiche Gewerbe durchgehend im Block verbleiben oder erneut hineinziehen, sondern lediglich ein Gewerbe, welches dem gleichen Funktionstyp mit einem vergleichbaren Ressourcen- und Energieprofil entspricht. Dadurch ist das entwickelte Versorgungskonzept funktionsfähig auch gegenüber natürlichen Veränderungen in der Nutzung des Quartiers.

Um die Funktionstypen innerhalb eines Quartiers abzuleiten, wurden zunächst die Funktionen des Quartiers erneut betrachtet und in die Nutzungstypologien Wohnen (Mehrfamilienhäuser, Einfamilienhäuser), Versorgung (Lebensmitteleinzelhandel) und Handwerke und sonstigen Gewerke (unter anderem Bäckerei, Friseursalon) unterschieden. Funktionstyp 0 fokussiert sich auf die Nutzung von Raumwärme, Funktionstyp 1 auf die Nutzung von Prozesswärme, Funktionstyp 2 auf die Nutzung von Brauchwasser, Funktionstyp 3 auf die Nutzung von Prozesswärme und Brauchwasser. Ziel ist es, die Kombination bestehender und neuer Technologien in innovativen Konzepten zu beschreiben, um die zuvor identifizierten Kopplungspotenziale nutzbar zu machen. Das standardmäßige Profil ist der Funktionstyp 0. Die potenzielle Nutzung der Funktionstypen 1, 2 und 3 ist in der Abbildung 17, Abbildung 18 und Abbildung 19, schematisch zusammengefasst.

Mit dem Funktionstyp 0 wird die Raumwärme aus den Grundfunktionen Wohnen, Gewerbe und Einzelhandel nutzbar gemacht. Die damit gewonnene Wärme aus der Raumwärme kann anschließend für die Grundfunktionen des Quartiers genutzt werden. Beispielsweise kann die Raumwärme eines Tischlereiunternehmens mit Hilfe von Technologiesystemen für die Grundfunktion Wohnen, welche in direkter Nachbarschaft zur Tischlerei angesiedelt ist, nutzbar gemacht werden.

Abbildung 17 stellt den Funktionstyp 1 schematisch dar, bei der der Prozesswärmeoutput aus den Grundfunktionen Wohnen, Gewerbe und Einzelhandel nutzbar gemacht wird. Mit Hilfe von Technologiesystemen wird die Prozesswärme nutzbar gemacht und kann dann wieder zum Beispiel als Raumwärme verwendet werden.

Abbildung 17: Schematische Darstellung des Funktionstyps 1

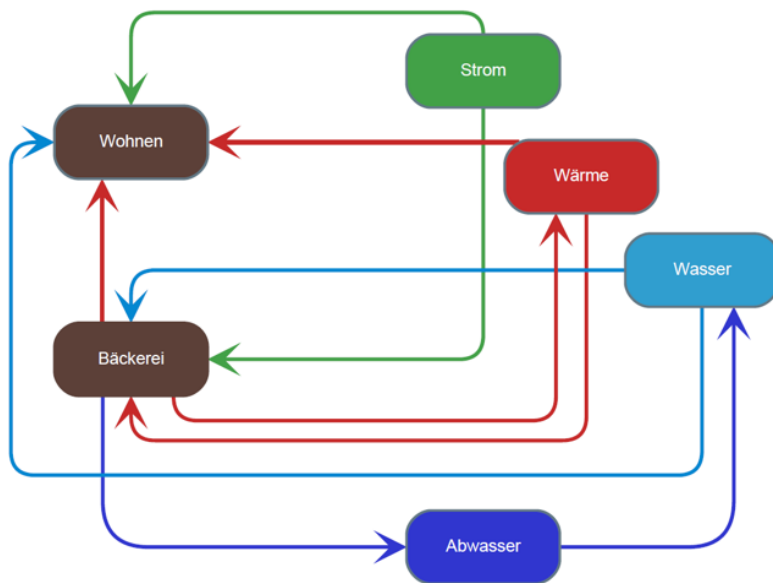


Abbildung 18: Schematische Darstellung des Funktionstyps 2

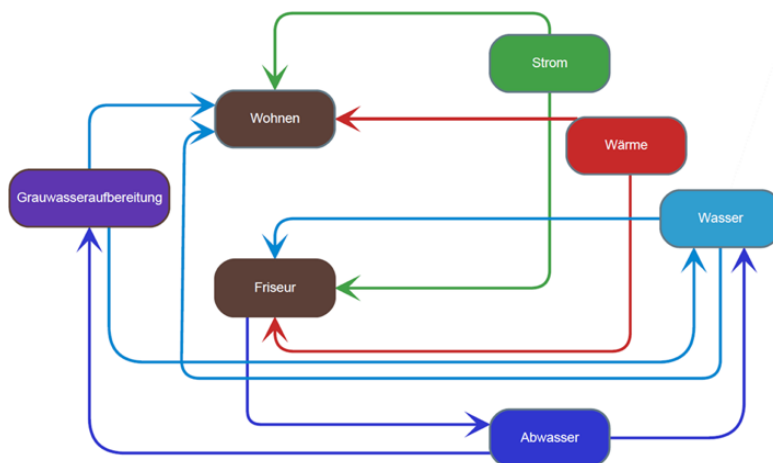
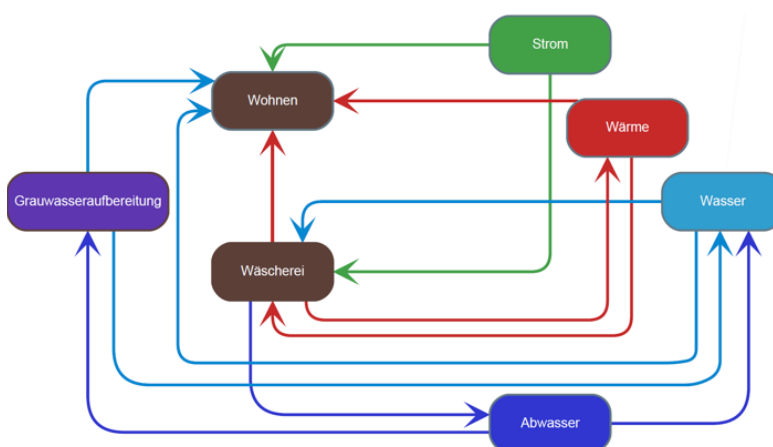


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Funktionstyps 3



Als Beispiel kann die Bäckerei dienen, die Abwärme in ihren Öfen produziert, die mit Hilfe von Technologiesystemen für das Wohnen oder auch für die Raumwärme des Lebensmitteleinzelhandels nutzbar gemacht werden kann. Gleichzeitig kann auch die Raumwärme aus den Grundfunktionen Wohnen, Gewerbe und Einzelhandel nutzbar gemacht werden.

Bei dem Funktionstyp 2, in Abbildung 18, werden der Wasseroutput aus den Grundfunktionen Wohnen, Gewerbe und Einzelhandel nutzbar gemacht. Das Wasser wird mit Hilfe von Technologiesystemen anschließend weiter genutzt werden. Mögliche Anwendungsgebiete sind die Nutzung als Betriebswasser oder zur Bewässerung. So kann beispielsweise das Abwasser, das im Betrieb eines Frisierhandwerks entsteht, durch ein Technologiesystem wie die Grauwasseraufbereitung für die Nutzung als Betriebswasser oder für die Bewässerung aufbereitet und wieder nutzbar gemacht werden.

Abbildung 19 stellt den Funktionstyp 3 dar, bei welchem der Prozesswärme- und Wasseroutput aus den Grundfunktionen Wohnen, Gewerbe und Einzelhandel nutzbar gemacht wird. Die Wärme und das Wasser können mit Hilfe von Technologiesystemen anschließend wieder den Grundfunktionen bereitgestellt werden.

Anschließend wurde untersucht, welche der zuvor recherchierten Technologien in den Funktionstypen jeweils eingesetzt werden können, um die Kopplungspotenziale zu erschließen. Beispielhaft werden, neben den anderen technologischen Ansätzen, die Nutzung von Abwärme und die Nutzung von anfallendem Grauwasser auf Quartiersebene erläutert. Bei der Abwärmenutzung (Funktionstyp 1) wird Prozesswärme aus den Gewerben und Handel sowie Raumwärme aus den Grundfunktionen Wohnen, Gewerbe und Einzelhandel nutzbar gemacht. Beispielsweise produziert die Bäckerei in ihren Öfen Abwärme, die mit Hilfe von Technologiesystemen, beispielsweise Luft-Wasser-Wärmepumpen, für das Wohnen oder auch für die Raumwärme des Lebensmitteleinzelhandels nutzbar gemacht werden kann. Zusätzlich fällt in den Gebäuden der Nutzungen Raumwärme an, welche nutzbar gemacht werden kann. In Funktionstyp 2 wird das anfallende Grauwasser in Grauwasseraufbereitungsanlagen aufbereitet und kann anschließend weiter genutzt werden. Mögliche Anwendungsbereiche sind die Nutzung als Betriebswasser oder zur Bewässerung. Beispielsweise kann das im Betrieb eines Frisiersalons anfallende Abwasser durch ein Technologiesystem wie die Grauwasseraufbereitung für die Nutzung als Betriebswasser oder zur Bewässerung aufbereitet und wieder nutzbar gemacht werden, somit bietet die Kopplung der Energie- und Ressourcenströme und die damit verbundene Effizienzsteigerung über die verschiedenen Nutzungstypen Potenziale für die Gestaltung eines nachhaltigeren Quartiers.

Nach der Definition der Funktionstypen wurden die jeweils in Frage kommenden Handwerke ermittelt. Dazu wurde die in AP2 erstellte In- und Outputstromtabelle verwendet. Die Handwerke, die bei den jeweiligen Funktionstypen empfehlenswert sind, sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Da die hier aufgelisteten Handwerke jeweils vergleichbare Ressourcen- und Energieprofile aufweisen, können sie als innerhalb der Funktionstypen untereinander austauschbar betrachtet werden. Somit ist davon auszugehen, dass die für die Funktionstypen identifizierten Technologiesysteme auch störungsfrei funktionieren, wenn die Betriebe wechseln. Da die Nutzung Wohnen ein allgemein vergleichbares Ressourcen- und Energieprofil aufweist und sich durch Fluktuation keine wesentlichen Veränderungen erwarten lassen, ist diese Nutzung in allen Funktionstypen gleichermaßen integriert. Bei der Nutzung im Handel wird diese Annahme ebenfalls getroffen. Wichtig dabei ist nur, dass zwischen Food und Non-Food Handeln unterschieden werden muss, da diese unterschiedliche Energie- und Wasserprofile haben, wie in Kapitel 3.3. erläutert. Ähnlich wie bei konventionellen Ver- und Entsorgungssystemen muss für alle Funktionstypen davon ausgegangen werden, dass bei längerfristigen Leerständen und daraus folgender Unterauslastung Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen an den Technologiesystemen durchzuführen sind, um die Funktionsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Dies trifft ebenfalls zu, wenn Nutzungsszenarien geplant werden, die einem anderen Funktionstyp entsprechen. In diesem Fall können Anpassungen des Technologiesystems erforderlich sein. Außerdem sind die Technologien im Sinne eines Baukastenprinzips austauschbar.

Tabelle 5: Übersicht Handwerke der jeweiligen Funktionstypen

Funktionstyp 0 Raumwärme	Funktionstyp 1 Prozesswärme	Funktionstyp 2 Brauchwasser	Funktionstyp 3 Prozesswärme und Brauchwasser
Maurer und Betonbauer, Straßenbauer, Gebäudereiniger, Zimmerer, Dachdecker, Tischler, Estrichleger, Parkettleger, Maler und Lackierer, Klempner, Raumausstatter, Ofen- und Luftheizungsbauer, Elektrotechniker, Feinwerkmechaniker, Mechatroniker f. Kältetechnik, Informationstechniker, Elektromaschinenbauer, Modellbauer, Print- und Medientechnologen, Siebdrucker, Fotografen, Maßschneider, Textilgestalter, Schuhmacher, Karosserie-/ Fahrzeugbauer, Zweiradmechaniker, Kraftfahrzeugtechniker, Augenoptiker, Hörakustiker, Orthopädienschuhmacher, Zahn-techniker	Metall- und Glockengießer, Bäcker, Konditoren Orthopädietechniker, Keramiker, Gold- und Silberschmiede, Metallbauer, Metallbildner, Metzger. Glaser*, Brauer und Mälzer*, Textilreiniger/Wäscherei*, Lebensmittelmanufaktur*	Friseur, Glaser*, Brauer und Mälzer*, Textilreiniger/Wäscherei*, Lebensmittelmanufaktur*	Glaser, Brauer und Mälzer, Textilreiniger/Wäscherei, Lebensmittelmanufaktur
*Die Handwerke aus dem Funktionstyp 3 können auch in Systemen mit dem Funktionstyp 1 und 2 verwendet werden. Bei Nutzungen von Handwerken des Funktionstyps 3 würden bei Anwendung in Systemen des Funktionstyps 2 die Möglichkeit der Wasserwiederverwendung ungenutzt bleiben. Bei Nutzungen von Handwerken des Funktionstyps 3 würden bei Anwendung in Systemen des Funktionstyps 1 das Prozesswärmepotenzial ungenutzt bleiben.			

Die entwickelten Funktionstypen und darin umzusetzenden Technologien wurden zur Verifizierung sowohl projektintern diskutiert sowie auch im Rahmen des Stakeholder-Workshops am 11. März 2024 Fachleuten vorgestellt und Feedback eingeholt. Weiterhin wurden die Ergebnisse dem Fachpublikum auf den BBSR-Projekttagen präsentiert und der Input aus den Rückfragen aufgenommen.

4.5. Die Anwendung im Raum mit dem Fokus der Wasserkreisläufe

4.5.1. Das Wärmesystem

Die ermittelten Funktionstypen der Nutzungsmischung dienen der Planung der Technologiesysteme. Die Nutzung der Funktionstypen ermöglicht die Planung der Quartiere, ohne Nutzungen genau festzulegen. Das ist für die künftige Nutzungsflexibilität bzw. -offenheit der Baublöcke von Bedeutung. Für die Planung der Testgebiete wurden jeweils zwei Funktionstypen festgelegt. Der Funktionstyp 0 (Raumwärme) und 3 (Prozesswärme und Brauchwasser) wurde in beiden Testgebieten angewandt, in Kall wurde zusätzlich der Funktionstyp 1 (Prozesswärme) und im Glasmacherviertel der Funktionstyp 2 (Brauchwasser) eingeplant.

Diese Festlegung ermöglicht die parallele Bearbeitung des städtebaulichen Entwurfs und des technischen Konzepts im Sinne der Research-by-Design-Methode. Sowohl auf der einen als auch auf der anderen Seite konnten die Konzepte konkretisiert werden, ohne dass abschließende Festlegungen der Nutzungsbestimmung benötigt wurden. Die Integration der Kennwerte städtebaulicher Nutzung in das technische Konzept, die es ermöglichten, die technischen Systeme detailliert auszugestalten, erfolgte erst zum Projektende.

Neben den recherchierten Technologien wurden auch Standardtechnologien wie der PVT-Kollektor genutzt. Bei einem PVT-Kollektor handelt es sich um eine Kombination von Photovoltaik- und Solarthermie-Modellen (integraTE o.J.: 2). Durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme auf der gleichen Fläche kann diese effizienter genutzt werden und die Energieproduktion vervielfacht werden (Gebäudeforum Klimaneutral, o.J.). Außerdem kann durch diese hybride Nutzung die Lebenserwartung der Kollektoren verlängert werden, da die Module durch das Wasser, welches auf der Rückseite fließt, gekühlt werden und es so zu weniger Überhitzung

kommt, wodurch die thermische Spannung reduziert wird (PVT Solar AG o.J.). Außerdem ist durch eine mögliche Kühlung der PV-Module, im Vergleich zu konventioneller PV, ein höherer Stromertrag möglich. Gleichzeitig dienen die PVT-Kollektoren als eine alternative Wärmequelle für Wärmepumpen (Timilsina 2023).

4.5.2. nPRO

Für die Berechnung der Energiewerte der Technologiekonzepte und die Visualisierung der Energieströme wurde das Online-Tool nPro der nPro Energy GmbH in der akademischen Version verwendet.

Das Tool nPro wurde entwickelt, um Ingenieure dabei zu unterstützen, Energiesysteme auf Ebene von Gebäuden und Quartieren schnell und einfach auszulegen und technisch sowie wirtschaftlich zu bewerten. Dabei konzentriert sich nPro auf die frühe Planungsphase und vereint Auslegungsmethoden und Optimierungsalgorithmen in einer Benutzeroberfläche. nPro fokussiert sich auf die Berechnung und Auslegung von Wärme- und Kältenetzen sowie kalten Nahwärmenetzen und die Verwendung innovativer Berechnungsverfahren aus dem Bereich der mathematischen Optimierung. Das Tool wurde von dem Wissenschaftler Dr. Marco Wirtz basierend auf seiner Expertise aufgebaut und hat den Anspruch, die Wissenschaft mit der Praxis zu verbinden, sodass wissenschaftliche Erkenntnisse und Berechnungstechniken in dem Tool integriert wurden (nPro o.J.).

Grundsätzlich gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Softwaretools zur (integrierten) Energiesystemplanung. Diese unterscheiden sich maßgeblich im Hinblick auf ihre Schwerpunkte bzw. darstellbare Systemelemente, die Zielgruppe sowie die Kosten der Software (Open Source vs. kostenpflichtige Software). Ebenso unterscheiden sich die Softwares in der Regelmäßigkeit der Updates (z.B. neue Technologien oder (Kosten-)kennwerte). Im Sinne der Alternativenprüfung zu nPro wurde eine nicht abschließende Liste von alternativen Softwaretools recherchiert und die jeweiligen Charakteristika in Tabelle 6 gegenübergestellt.

Die Zugänglichkeit (kostenlos und ohne die Installation im Browser verwendet) und die Fokussierung auf die verallgemeinerbare Auslegung von Wärme- und Kältenetzen sowie kalten Nahwärmenetzen macht nPro ideal für die Nutzung zur Bearbeitung der Fragestellungen im Forschungsprojekt POWER. Die oben aufgeführten Alternativen können in anderen Projektkontexten mit abweichenden Zielsetzungen oder Zielgruppen allerdings mitunter besser geeignet sein als nPro. Es sollte daher jeweils fallspezifisch entschieden werden, welche Software die jeweiligen Anforderungen bestmöglich und kosteneffizient erfüllen kann.

Nach dem Anlegen eines Projekts fordert das Tool dazu auf, alle in dem Quartier vorhandenen Gebäude einzufügen. Abgefragt werden die Nutzungsfläche, der Nutzungstyp und die Anzahl der Gebäude sowie die Spezifikation hinsichtlich Neubau oder Bestand. Basierend auf diesen Angaben gibt das Tool Standardwerte für die Energiebedarfe Wärme (Raum- und Trinkwasserwärme), Kälte (Klimatisierung und Prozesskälte) und Strom (Nutzerstrom) vor. Im Vorfeld wurden je Handwerk und sonstigen Gewerken Recherchen zu den zu erwartenden Energieverbräuchen durchgeführt. Diese Ergebnisse wurden anschließend mit den von nPro vorgegebenen Werten verglichen und bei Bedarf entsprechend angepasst, um die Realitätsnähe zu gewährleisten. Nach der Eingabe aller Gebäude und ihrer Nutzungen erstellt das Programm Übersichten zu dem Energiebedarf des Quartiers bzw. Blockbereichs. Im nächsten Schritt kann im Rahmen einer Modellierung das Energiesystem schematisch aufgebaut werden. Hier stehen verschiedene Energiequellen wie das Stromnetz, Wasserstoff, Biomasse, Gas, Geothermie und Wärmepumpen sowie Speicher (Wärme-, Pendel-, Kälte- sowie Batteriespeicher) zur Auswahl. Nach dem Zusammenstellen des gewünschten Energiesystems können die Technologien spezifisch dimensioniert werden. Anschließend lässt sich der Systembetrieb simulieren und das Programm berechnet unterschiedliche Kennwerte für die technisch-ökonomische Auslegung des Systems. Um vergleichend darstellen zu können, dass das simulierte innovative POWER-System effizienter und vor allem umweltfreundlicher ist, wurde das System mit den gleichen Eingangsgrößen noch einmal für ein erdgasbetriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) simuliert.

Tabelle 6: Vergleich unterschiedlicher Alternativsoftwares zu nPro zur Energiesystemmodellierung (Quelle: eigene Darstellung)

Name	Schwerpunkt / Besonderheit	Link	Anbieter / Vertriebsmodell	Kosten
Biomass decision support tool	Auslegung von Biomassenanlagen für Fernwärme	https://www.biogas.org.nz/resource/biomass-decision-support-tool	kommerziell	sehr gering - abhängig vom Subskriptionsmodell
COMPOSE	Wärmepumpen	https://usecompose.com/	akademisch	1.000€ je Modul
EnergyPLAN	Wärmepumpen und Nah-/Fernwärme wirtschaftlicher und technischer Fokus keine mathematischen Optimierungsmodelle	https://energyplan.eu/	akademisch	71,95€ - keine Angaben über die Häufigkeit
EnergyPRO	Wärmepumpen und Nah-/Fernwärme	https://www.emd-international.com/de/energypro/	kommerziell	1.000€ je Modul
H2RES	keine Wärmepumpen und Nah-/Fernwärme technischer Fokus keine mathematischen Optimierungsmodelle speziell für Energiesysteme mit Wasserstoffeinsatz entwickelt	https://h2res.org/	akademisch	keine Angaben
HOMER	keine Wärmepumpen und Nah-/Fernwärme wenige thermische Anlagen betrachtet Wärmeerzeugungs- und Verteilungstechnologien sehr vereinfacht	https://homerenergy.com/	kommerziell / akademisch	42-125\$ pro Monat
Hybrid2	keine Wärmepumpen und Nah-/Fernwärme	https://www.umass.edu/windenergy/research/topics/tools/software/hybrid2	akademisch	keine Angaben
iHOGA	keine Wärmepumpen und Nah-/Fernwärme	https://ihoga.unizar.es/en/	akademisch	keine Angaben
MARKAL	Wärmepumpen	https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/markal	akademisch	keine Angaben
Merit	Wärmepumpen keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sondern liefert nur technisch-energetische Hilfestellungen und Analysen	https://meritcontrols.com/	akademisch	einmalig 7.198,01€
MRI Energy	Energieüberwachungs- und Targeting-Paket	https://www.mrisoftware.com/products/energy-management-software/	Fokus auf Unternehmen	2.000\$ pro Jahr
Energis. Cloud	Energie- und Umwelteffizienz	https://energis.cloud/en/	Verwendung von Energiemanager im tertiären, industriellen und erneuerbaren Energiebereich	4€ pro Monat
TIMES	Wärmepumpen	https://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/modelle/times/	akademisch	keine Angaben

Der Ansatz der Energiesystemmodellierung über nPro stellt unter den Rahmenbedingungen des Projekts und mit dem Anspruch einer allgemeinen Übertragbarkeit eine pragmatische und zielführende Lösung dar. Aufgrund seiner einfach zugänglichen Benutzeroberfläche sowie der Flexibilität in der Zusammensetzung der zu simulierenden Energiesysteme eignet sich das Tool, um die entwickelten Energiekonzepte exemplarisch zu modellieren. Aufgrund dieser niedrigen Einstiegsschwelle kann von einer hohen Übertragbarkeit des Ansatzes ausgegangen werden. Dies wird auch durch die zahlreichen vorgegebenen idealtypischen Kennwerte unterstützt, die sich aber zur Spezifizierung auf konkrete Systeme überschreiben lassen. Kritisch anzumerken ist, dass die vorgegebenen Kennwerte zum Teil auf Erfahrungswerten von Dr. Wirtz beruhen und die Belastbarkeit somit begrenzt ist. Im Kontext von POWER sind diese Einschränkungen aber akzeptabel, da von Beginn an der Anspruch einer überschlüssigen Modellierung der entwickelten Konzepte bestand.

Für die Berechnungen im Rahmen des Projekts wurden die Bedingungen der zwei Fallstudienbereiche angenommen. Die konkreten Berechnungen für die beiden Fallstudien sind in den entsprechenden Unterkapiteln in Kapitel 6 dargestellt.

4.5.3. Wassersysteme

Für die Planung des Wassermanagements wurden die Wasserbedarfe der Nutzungen sowie die Regenwassermengen der Gebiete zusammengetragen beziehungsweise berechnet. Diese werden in den Kapitel 6.2.2.1. und 6.3.2.1. bezogen auf die Fallbeispiele genauer erläutert. Die Regenwassermengen wurde mit Hilfe der zu entwässernden Fläche und die vieljährigen Mittelwerte der Regenwasserspende der jeweiligen Gebiete ermittelt. Bei den zu entwässernden Dachflächen wurde außerdem ein Dachbeiwert einbezogen. Da bei beiden Gebieten im Neubau eine extensive Dachbegrünung geplant ist, wurde die Berechnung mit einem mittleren Abflussbeiwert von $\psi_m = 0,5$ durchgeführt (DIN 1986-100). Außerdem wurden die Flächenbedarfe der Mulden- und Flächenversickerungen nach den Erkenntnissen des KURAS Projektes berechnet (KURAS 2017b). Für die Flächenversickerung wurden Flächen geplant, die mindestens 50 % der zu entwässernden Fläche entsprechen. Bei der Muldenversickerung sollten die Muldenflächen etwa 20 % der zu entwässernden Fläche entsprechen. Für die Berechnungen der Regen- und Grauwassernutzungen wurden die Berechnungsgrundlagen der Intewa GmbH herangezogen (Intewa 2020). Der Grauwasserertrag wurde mit 53 l pro Person und Tag berechnet, die sich auf 40 l pro Person und Tag aus den Nutzungen Dusche, Badewanne und Handwaschbecken, sowie auf 13 l pro Person und Tag aus der Nutzung der Waschmaschine verteilen. Für die Wasserbedarfe, bei denen Grauwasser verwendet wurde, wurden 48 l pro Person und Tag angesetzt (Intewa 2020). Die Bedarfe ergaben sich aus 25 l WC, 13 l Waschmaschine, 5 l Putzen und 5 l Bewässerung pro Person und Tag (Intewa 2020). Um größere Bedarfe zu decken, kann Regenwasser verwendet werden. Für die Auslegung der Regenwasserzisternen wurde eine Sicherheitsreserve von 22 Tagen angenommen (Rewatec 2021). Daher wurden das Volumen des Regenwassers, welches von den Dachflächen abgeführt werden kann, mit dem Faktor 0,06 multipliziert, um die Zisternengröße zu ermitteln.

Für die Nutzung des Grauwassers und des Regenwassers ist zu beachten, dass zusätzliche Leitungen und Wasserspeicher in den Gebäuden eingeplant werden müssen. Wassernutzungen, die für die Grauwasseraufbereitung in Frage kommen, beispielsweise Handwaschbecken und Waschmaschinen, benötigen Leitungen, welche zur Grauwasserbereitung führen. Gleichzeitig benötigen die Anwendungen, welche Grauwasser nutzen, beispielsweise die Toilettenspülung, Leitungen, welche das Grauwasser zu der Anwendung transportieren. Außerdem ist eine Regenwasserleitung zum Wasserspeicher zu führen. Das Regenwasser wird vor der Einleitung in den Wasserspeicher gefiltert. Die Nichttrinkwasserleitungen und die Entnahmestellen des Nichttrinkwassers müssen nach DIN 2403 gekennzeichnet sein, damit es zu keiner Verwechslung mit Trinkwasser kommen kann (DVGW 2019). Außerdem müssen Leitungen für die Warmwasserrückgewinnung, insbesondere für die Abwasserwärmerückgewinnung sowie die Abwärmenutzung, bereitgestellt werden. Die konkreten Berechnungen der Wassersysteme für die beiden Fallstudien sind in den Unterkapiteln in Kapitel 6 ausgeführt.

Bei der Effektivität aller Systeme kommt zugleich eine lebenszyklenbasierte Betrachtung hinzu. Sie ergibt sich aus dem Einsatz von Ressourcen bei Herstellung und Betriebsaufwand einerseits und der Ersparnis von Ressourcen aufgrund ihres Betriebs und Nutzung andererseits. Beim Einsatz aufwändiger technischer Systeme etwa bei Wassermanagement oder Energiegewinnung steigen insbesondere die Errichtungskosten von gewöhnlich unter 20% um weitere 5-15%. Lebenszyklen können für gesamte Gebäude in allen Phasen des Lebenszyklus errechnet werden (Preuß 2003; Pelzeter 2006) oder für ihre funktionalen bzw. systemischen Bestandteile, und so auch für ihre technischen Anlagen. Während einerseits die funktionale Lebensdauer der Anlagen von Bedeutung ist, da die Wartung und Erhaltung im Betrieb Kosten verursacht, stellt andererseits auch die lebenszyklusbasierte Analyse der ökologischen Eigenschaften einen vertiefenden Einblick in die ökologische Gesamtbilanz der Systeme (BLU 2017) dar. Während für den Wärme- und Energiebereich in der Fachliteratur ausreichend Kenntnisse zur lebenszyklusbezogener Effizienz vorliegen, ist dies im Bereich der Wasserressource (vgl. LUH 2006; Eawag 2007) bislang weniger der Fall. Nach Weißenberger (2016) sind in Niedrigstenergiegebäuden installierte aktive technische Systeme mit höherer Ressourcenbeanspruchung und potenziellen Umweltauswirkungen verbunden, bleiben aber dennoch in der Lebenszyklusbilanz ökologisch sinnvoll. Für urbane Wasserkreisläufe mit Energiegewinnungssystemen liegen diese für einzelne Technologien ebenso vor, so etwa für die Energierückgewinnung aus dem Abwasser (Enervis 2020). Komplexere, gekoppelte Systeme werden in diesem Bereich bislang kaum betrachtet.

4.6. Handlungsempfehlungen für urbane Wasserkreisläufe und innovative Technologiesysteme mit dem Fokus Wasser

- Um Kopplungspotenziale in der Mischnutzung zu erschließen und damit Synergieeffekte zu heben, sollten über konventionelle Erschließungssysteme hinausgehende, innovative technische Lösungen aus dem Bereich des Water-Energy-Nexus in Betracht gezogen werden. Durch den Einsatz von Technologien, die eine höhere Ausbeute von Energiepotenzialen bestehender gebäudeinterner Kreisläufe ermöglichen, können bestehende Energieressourcen direkt erschlossen werden. Dazu gehören Systeme der Energie- und Ressourcentrennung und -verarbeitung.
- Um Flexibilität und Multiplizierbarkeit bei energetischer Ausbeuteresilienz (kontinuierlicher und stabiler Energieausbeute) der Systeme gewährleisten zu können, sollen daher flexible Funktionstypen etabliert werden, die unabhängig von den konkreten Nutzern im System funktionsfähig bleiben. Zwei Faktoren erhöhen die Ausbeuteeffizienz lokaler Energiepotenziale: zunächst ist es die Erweiterung der Systeme über einzelne Gebäude hinaus. Dies führt zu einer höheren Stabilität der Energieausbeute und somit Resilienz bei einzelnen Veränderungen im System. Darüber hinaus steigert die Vernetzung von unterschiedlichen Nutzungen mit ihren abweichenden Energiepotenzialen die Stabilität der Energieausbeute und Leistungsfähigkeit, was die Ausbeuteresilienz weiter stärkt. Die Systeme sind generell skalierbar; geschlossene lokale Energiesysteme allerdings, etwa um einen lokalen Wärmetauscher, bleiben auf räumliche Nähe angewiesen. Die bisherige gesetzlich festgelegte Größe der „Gebäudenetze“ nach § 3 Abs. 1 Nr. 9a GEG 2024 bei ausschließlicher Versorgung mit Wärme und Kälte von mindestens zwei und bis zu 16 Gebäuden und bis zu 100 Wohneinheiten erscheint hierbei als generell praktikabel.
- Um die langfristige Effizienz und Resilienz sicherzustellen, sollen die Gebäudenetze von Anfang an in die Planung des Blocks integriert werden. Die Funktionstypen sowie die räumliche Zuordnung der Nutzungsbereiche innerhalb des Baublocks sollen dabei festgelegt und das Netzsystem danach ausgerichtet werden. Gleichzeitig können so städtebauliche und technische Belange der Nutzungsbereiche wie etwa die Erschließung mit bedacht werden. Kombination von nicht verwandten, unterschiedlichen Nutzungen wie Gewerbe und Wohnen ergänzen sich gegenseitig und zeigen sich in dieser Hinsicht generell als besonders effektiv. Um Synergieeffekte im Sinne des Water-Energy-Nexus nutzen zu können, sollten Umweltenergien und Regenwasser mit Hilfe des Prinzips des Wärmetauschers und der Grauwasserverwertung konsequent und effizient integriert werden.

- Um flexibel auf sich ändernde Systemanforderungen reagieren zu können und eine kontinuierliche Anpassung zu ermöglichen, sollte das System nach Möglichkeit modular angelegt werden. Somit können Teilsysteme bei Bedarf einfacher angepasst, ausgetauscht oder modernisiert werden. Auch wenn dies mit höheren initialen Investitionskosten verbunden ist, ermöglicht es langfristig eine bedarfsgerechtere Dimensionierung und erhöht damit die gesamtbetriebswirtschaftliche Effizienz. Module können gebäude- oder/und systembezogen konzipiert werden (etwa bei Trennung von Grau und Schwarzwasser). Die Funktionstypen der Nutzungsmischung und der Technologiecatalog sind als Ausgangspunkt für eingehendere, ortsspezifische Planungen zu verstehen. Die konkreten Systeme sind immer entsprechend den lokalen Gegebenheiten zu gestalten und zu dimensionieren.
- Mittels Softwareanwendungen (hier z.B. Software nPro) können Planende bereits in ersten Planungsphasen Erschließungssysteme anhand der zu erwartenden Nutzungen auslegen und Energieströme modellieren. Aufgrund der einfachen Zugänglichkeit erlaubt dies bereits frühzeitig die Integration von erschließungstechnischen Fragestellungen und die Abwägung von Planungsalternativen, ohne dass eine dezidierte Planung durch Fachingenieurinnen oder -ingenieure notwendig ist. Zudem empfiehlt sich, ein System zur Erfolgskontrolle, zum Monitoring und zur Evaluierung zu etablieren, um sicherzustellen, dass die eingesetzten Technologien und Maßnahmen im Betrieb die erwarteten Ergebnisse liefern und kontinuierlich verbessert werden können.
- Die Implementierung von Systemen im Bestand kann bauliche und technische Einschränkungen in der Zusammensetzung und somit der Effektivität der Funktionstypen zur Folge haben.

5. Akzeptanz und Hemmnisse innovativer Technologiesysteme

Kapitel 4.2 hat die Bandbreite der zur Verfügung stehenden Technologien zur Optimierung der Wasserkreisläufe für Energie- und Ressourceneffizienz aufgezeigt. Trotz der oben dargestellten Umsetzbarkeit und Effizienzsteigerung werden diese Technologien jedoch bislang nicht bzw. noch nicht in großer Breite eingesetzt. Neben unterschiedlicher Marktreife einzelner Technologien, bisher eingeschränkten praktischen Erfahrungen und technologiespezifischen Herausforderungen bei gleichzeitig hohem Aufwand und Kosten spielen hierfür eine Vielzahl weiterer nicht-technologiespezifischer Herausforderungen eine Rolle, die die zunehmende Marktdiffusion hemmen. Für zwei Schlüsseltechnologien erfolgte daher eine Akzeptanz- und Hemmnisanalyse, um a) konkrete Hinweise für die Testentwürfe in Kall und Düsseldorf abzuleiten und b) strategische Ansatzpunkte zu identifizieren, damit sich die beiden Technologien schneller am Markt etablieren können. Nachfolgend werden die theoretische Rahmung, das methodische Vorgehen sowie die Ergebnisse aus Literatursauswertung und Interviews und Schlussfolgerungen dargestellt.

5.1. Theoretisch-konzeptionelle Grundlagen

Die Akzeptanzforschung unterscheidet zwischen den folgenden drei Betrachtungsebenen (Schäfer & Keppler 2013: 25ff):

- Akzeptanzsubjekt – Wessen Akzeptanz steht im Fokus? Es erfolgt eine Unterscheidung zwischen individueller und gesellschaftlicher Akzeptanz (Kollmann 1998: 38ff.).
- Akzeptanzobjekt – Was ist der Gegenstand der Untersuchung? Hierbei kann es sich um physische Objekte (z. B. Technologien), aber auch um Planungen, Konzept-/Strategiepapiere handeln (Hüsing et al. 2002: 24).
- Akzeptanzkontext – Innerhalb welcher gesellschaftlichen Rahmenbedingungen erfolgt Akzeptanzbildung? Beinhaltet alle Faktoren und Gegebenheiten, die nicht Akzeptanzsubjekt/-objekt sind und zur Akzeptanzgenese beitragen (Sauer et al. 2005: I- 2).

Die drei Betrachtungsebenen werden nachfolgend dargestellt.

5.1.1. Akteursanalyse

Kollmann (1998) unterscheidet hinsichtlich des Akzeptanzsubjektes zwischen einem individuellen und einem gesellschaftlichen Akzeptanzsubjekt (zum Beispiel gesellschaftliche Akzeptanz von Kernenergie). Im Rahmen des Projektes wird auf die individuelle Akzeptanz abgestellt. Das Subjekt beinhaltet damit Akteurinnen und Akteure, die in bestimmte Technologien investieren, diese nutzen und produzieren, sowie Intermediäre. Damit sich neue und innovative Technologien am Markt durchsetzen, müssen verschiedene Akteursgruppen einen Mehrwert darin erkennen. Personen, die Immobilieneigentum haben, sowie Investorinnen und Investoren stehen bei der Neuinstallation oder bei der Bestandsanierungen zumeist ein Portfolio an Technologieoptionen zur Verfügung. Sie müssen folglich auf Basis vorhandenen Wissens, Erfahrungen, Rahmenbedingungen etc. abwägen, welchen Mehrwert die jeweiligen Technologien bieten. Im Zusammenspiel mit Anlagenbetreibern/versorgenden Unternehmen (zum Beispiel von Wärme) erfolgt die Investition in das Equipment, was für die Gewährleistung einer entsprechenden Dienstleistung erforderlich ist. Herstellende bestimmter Technologien müssen Marktmechanismen antizipieren, um zu entscheiden, ob neue Technologien in deren Portfolio aufgenommen werden, d.h. ob neue Technologien ein attraktives Geschäftsfeld sind oder werden können. Handwerksbetriebe, Bildungstragende, Architekturschaffende und andere Intermediäre müssen abwägen, ob

Tabelle 7: Übersicht relevanter Akteursgruppen und deren Rollen bei der Akzeptanz und Marktdiffusion neuer Technologien und Produkte

Akteursgruppe	Sub-Akteurinnen/ Akteure	Funktionale Rollenbeschreibung
Herstellende (von Technologien)	abhängig von der Technologie	• Bereitstellung der Anlage und Komponenten / Ersatzteile • (Grob-)Auslegung / -Planung möglich • Wartung, Reparatur (bei Product as a Service, ggf. aber auch über Intermediäre) • Schulung / Seminare für das Handwerk • Investition in Produktionskapazitäten
Investierende / Eigentümerinnen/ Eigentümer	institutionelle Wohnungswirtschaft (private, kommunale Wohnungsunterneh- men, Wohnungsgenos- senschaften, Kirchen)	• Analysen zur Technologie, zur Skalierbarkeit und zur Integration in aktuelle Strukturen und Prozesse im Vergleich zu Alternativen • Planung, Wartung, Reparatur durch eigenes Personal möglich • Kommunikation mit Nutzenden (Initialgespräche, Beschwerden) • Investition
	private Kleinvermieten- de, Wohneigentümer- gemeinschaften	• Abwägung zur Technologie im Vergleich zu Alternativen • Investition • Organisation von Wartung, Reparatur • Kommunikation mit Nutzenden (Initialgespräche, Beschwerden)
	Eigentümerinnen / Eigentümer von Eigen- heimen	• Abwägung zur Technologie im Vergleich zu Alternativen • Investition • Organisation von Wartung, Reparatur
	Projektentwickelnde	• Analysen zur Technologie, zur Skalierbarkeit und zur Integration in aktuelle Strukturen und Prozesse im Vergleich zu Alternativen • Investition • Planung, Wartung, Reparatur durch eigenes Personal möglich • Kommunikation mit Nutzenden (Initialgespräche, Beschwerden)
	Anlagenbetreibende / Versorgende Unter- nehmen	• Gewährleistung des Anlagenbetriebs und des Dienstleistungsangebots • Investition in die Anlage
Nutzende	Bewohnende Mietende	• Nutzt die Technologie bzw. die Dienstleistung aktiv oder passiv
	Angestellte, Gewerbetreibende	• Nutzt die Technologie bzw. die Dienstleistung aktiv oder passiv
Intermediäre	Handwerk	• Entscheidung zur Aufnahme der Technologie als Geschäftsfeld (Fortführung etablierter oder Umsetzung neuer Systempartnerschaften mit Herstellenden) • Organisation von Schulungen von Mitarbeitenden • Kommunikation gegenüber der Kundschaft • Planung, Installation, Wartung, Reparatur (verfügt idealerweise über anschauliche Beispiele)
	Planung / Architektur	• Gesamtplanung für Gebäude und Anlagentechnik • Organisation der Installation durch das Handwerk • Bewertung (auch unter Umweltgesichtspunkten) von (technischen) Alternativen in Abstimmung mit Investierenden
	Bildungstragende	• Organisation von Schulungen für das Handwerk • Zertifizierung von Schulungsteilnehmenden
	Fördermittelgebende	• Identifikation der Technologie als relevant unter Umweltgesichtspunkten • Vergabe von Fördermitteln • Kommunikation mit Investierenden und ggf. auch Handwerk im Zuge des Vergabeprozesses
	Politik/Gesetzgebung	• Umsetzung von Gesetzen, Richtlinien und Verordnungen, die zur Marktdiffusion von Technologien beitragen sollen
	Forschung	• Erforschung von Materialien, Komponenten, Anlagen oder übergreifende Systeme hinsichtlich der Konstruktion, der Nutzung, der Umweltbilanz und Kreislauffähigkeit, ggf. auch mit Fokus auf spezifische Kontexte • Begleitung und Evaluation konkreter Bauprojekte

Tabelle 8: Übersicht relevanter Akteursgruppen und deren Rollen bei der Akzeptanz und Marktdiffusion neuer Technologien und Produkte (Fortsetzung)

Akteursgruppe	Sub-Akteurinnen/ Akteure	Funktionale Rollenbeschreibung
Intermediäre (Fortsetzung)	Energieberatung	• Bewertung von Technologie hinsichtlich ihrer (energetischen) Eignung für die Immobilie
	Hausverwaltungen	• Abwägung zur Technologie im Vergleich zu Alternativen • Beratung von Personen, die Immobilieneigentum haben, hinsichtlich Investitionen • Organisation von Wartung, Reparatur • Kommunikation mit Nutzenden (Initialgespräche, Beschwerden)
	Kommunalverwaltung	• Prüfung und Freigabe von Bauanträgen etc. • Forderung nach Gutachten etc. zur Prüfung der Eignung von Technologien • Erstellung von Rahmenplänen (zum Beispiel Bebauungspläne, kommunale Wärmepläne etc.), die für Technologienutzung relevant sind

die Technologien Teil ihres Geschäftsfelds werden und damit bestehende Handlungsroutinen angepasst werden. Schließlich funktionieren Technologien zumeist nur dann effizient, wenn die Nutzenden die Technologien richtig anwenden, das heißt ihre Verhaltensroutinen unter Umständen anpassen. Je nach Akteursgruppe stellen sich entsprechend spezifische Fragen bzw. Herausforderungen, aber auch Erwartungen, die die Akzeptanz für neue Technologien befördern bzw. hemmen können.

Die Tabellen 7 und 8 geben einen Überblick über die verschiedenen Akteursgruppen, die bei der Marktdiffusion neuartiger Technologien und Konzepte relevant sind. Die Übersicht stellt eine theoretisch hergeleitete Übersicht dar. Nicht alle Akteursgruppen sind für jede Technologieadaption relevant bzw. gleich relevant.

5.1.2. Entwicklung von Akzeptanz- und Hemmnisdimensionen

Die Akzeptanz- und Hemmnisanalyse dient dazu, gezielt Umsetzungs Herausforderungen zu identifizieren und auszuarbeiten, die schließlich von Maßnahmen adressiert werden können. Durch das akteurszentrierte und akteursgruppen-übergreifende Vorgehen können Hemmnisse aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden. Dabei fokussiert die Hemmnisanalyse auf das individuelle Entscheidungsverhalten verschiedener Akzeptanzsubjekte, für die in dem vorangegangenen Kapitel 4 definierten Technologieoptionen (Akzeptanzobjekt). Es sollen jedoch auch objekt- und kontextspezifische Einflussfaktoren auf die Individualentscheidung berücksichtigt werden.

Im Rahmen der Akzeptanz- und Hemmnisanalyse wurden in einem ersten Schritt sowohl Theoriemodelle zur Technologieadaption als auch die Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsprojekten analysiert, die sich mit der Diffusion von verschiedenen Nachhaltigkeitstechnologien (zum Beispiel Lüftung, energetische Sanierung, Energieeffizienz) befassten. Die Tabelle 9 gibt einen Überblick über die betrachteten Studien und Theoriemodelle.

Die Theoriemodelle TAM, TAM2 sowie UTAUT haben ihren Ursprung in der (sozial-) psychologischen Forschung. Sie erklären folglich die Technologieadaption stark aus der individuellen Perspektive. Der wahrgenommene individuelle Nutzen, die Einstellung zu einer Technologie oder auch der zu erwartender Mehrwert/Output der Technologie sind hier zentrale Erklärungsdeterminanten. Die IDT betont die Adaption als sozialen Prozess, bei dem das Individuum insgesamt fünf Phasen der Technologieadaption und schließlich Nutzung durchläuft. Die vier Modelle betonen alle die Technologieadaption als individuellen Prozess. Demgegenüber betrachtet die Multi-Level-Perspective (MLP) systemische Veränderungen. Demnach haben Nischeninnovationen insbesondere dann die Chance sich durchzusetzen, wenn übergeordnete Rahmenbedingungen (Landscape) wie zum Beispiel Klimawandel, Energiekrise, demographischer Wandel das bestehende Regime unter Druck setzen. Die Forschungsprojekte haben nicht den Anspruch, theoriebildend zu sein. Vielmehr untersuchen sie individuelle/

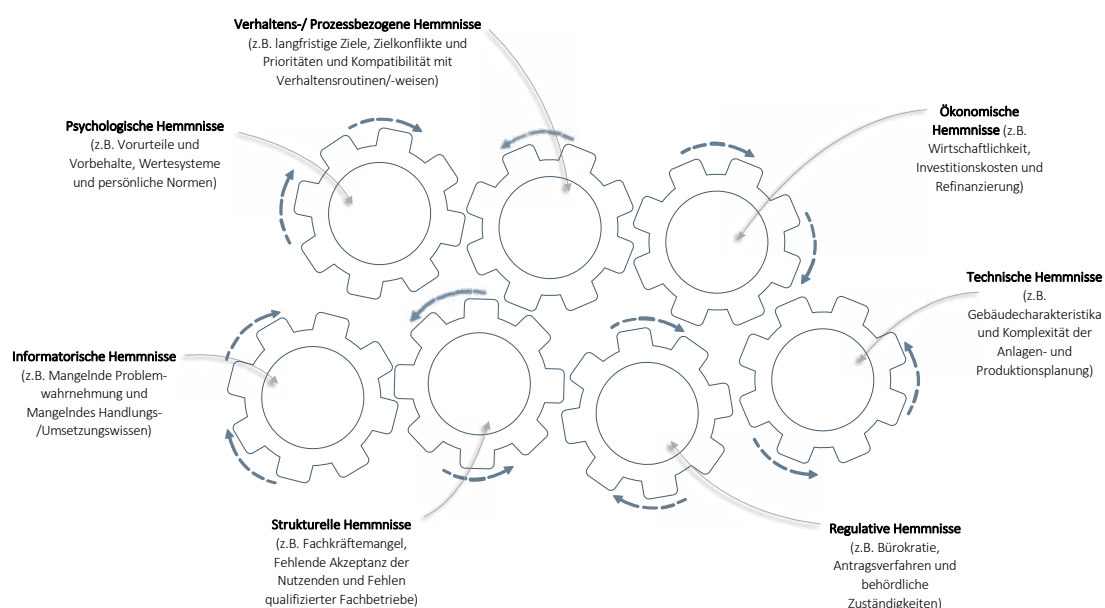
Tabelle 9: Literaturübersicht Akzeptanz- und Hemmnisanalyse

Theoriemodell	Forschungsstudien
TAM (Technology Acceptance Model) (Davis et al. 1989)	März, S. (2019). Warum sollte ich meine Mietimmobilie energetisch sanieren? : Analyse und Multi-Level-Governance quartiersbezogener und individueller Rahmenbedingungen zur Steigerung der energetischen Sanierungstätigkeit privater Kleinvermieter [Universität Duisburg-Essen].(März 2019)
TAM 2 /Technology Acceptance Model 2), (Venkatesh & Davis 2000)	Wörten et al. (2013): Metastudie Potenzial- und Hemmnisanalyse im Rahmen der strategischen Weiterentwicklung der Nationalen Klimaschutzinitiative Teil 2 – HEMMNISANALYSE. Berlin. Heidelberg (Wörten et al. 2013)
UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology), (Venkatesh et al. 2003)	Vondung, F., Adisorn, T., Carpentier, R., Kaschuba-Holtgrave, A., Moore, C., Moser, R., & Schüwer, D. (2018). Lüftungsinnovationen - vom Nischenphänomen zum Mainstream: Entwicklung eines Diffusionskonzepts für innovative Lüftungstechnologien auf Basis einer Hemmnisanalyse ; Abschlussbericht. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. (Vondung et al. 2018)
IDT (Innovation Diffusion Theory), (Rogers 2003)	Vondung, F., Adisorn, T., Schüwer, D., & Witte, K. (2019). Hemmnisanalyse zu Änderungen des Nutzerverhaltens und Optimierung der Organisationsprozesse zur Schaffung von Flexibilität in gewerblich und industriell genutzten Gebäuden. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. (Vondung et al. 2019)
MLP (Multi-Level-Perspective), (Geels et al. 2011)	Cagno, E., Trianni, A., Spallina, G., & Marchesani, F. (2017). Drivers for energy efficiency and their effect on barriers: Empirical evidence from Italian manufacturing enterprises. Energy Efficiency, 10(4), 855–869. (Cagno et al. 2017)

subjektspezifische, kontextuale sowie objektspezifische Einflussfaktoren auf spezifische Technologien. Sie sind daher weniger allgemeingültig, sondern technologiespezifisch.

Ausgehend von der Literaturanalyse wurden die folgenden Hemmnisdimensionen und -ausprägungen abgeleitet, die sowohl subjekt-, objekt- als auch kontextspezifische Faktoren der Akzeptanzgenese berücksichtigen (Abbildung 20). Die Hemmnisse sind dabei nicht isoliert zu betrachten, sondern bedingen sich bzw. treten in Wechselwirkung zueinander. Informationsdefizite (informatorische Hemmnisse) gehen beispielsweise häufig mit Vorurteilen gegen neue Technologien einher. Die fehlende Wirtschaftlichkeit einer Technologie (ökonomische Hemmnisse) kann sich aus der fehlenden Marktreife (TRL-Level) ergeben. Nicht selten werden jedoch

Abbildung 20: Übersicht der Hemmnisdimensionen



auch konkurrierende konventionelle Technologien durch Subventionen oder durch die fehlende Internalisierung negativer externer Effekte am Markt bessergestellt (strukturelle Hemmnisse). Ebenso können bürokratische Hürden (regulative Hemmnisse) die Nutzung der Technologie erschweren bzw. Nutzungskosten erhöhen.

5.1.3. Methodisches Vorgehen der empirischen Fallanalysen

Im Rahmen von Fallstudienanalysen sollten die theoretisch abgeleiteten Hemmnisse für zwei ausgewählte Schlüsseltechnologien validiert und inhaltlich ausgearbeitet werden. Basierend auf dem umfassenderen Technologienkatalog, der im vorangegangenen Kapitel und ausführlicher im Anhang (Anlage 3) dargestellt wird, ermöglicht die technologische Fokussierung eine größere Bandbreite an Akteursperspektiven in die Datenerhebung einzubeziehen und damit der Analyse eine inhaltliche Tiefe zu verleihen. Ausgehend von den Analyseschritten in Kapitel 5.1.1. wurden die beiden Technologien Abwasserwärmerückgewinnung aus dem Kanalleitungsnetz und dezentrale Regenwasserbewirtschaftung näher untersucht. Die Auswahl der beiden Schlüsseltechnologien erfolgte, da diese in den Entwurfsplanungen einen hohen Stellenwert einnehmen und im Vorfeld durch die Workshops mit Fachleuten als besonders relevant kommuniziert wurden. Die beiden Schlüsseltechnologien bedienen die Zugänge zu den Entwurfsplanungen, die im Rahmen des Projekts entwickelt wurden: Regenwasserbewirtschaftung bildet in diesem Zusammenhang eher einen Baustein eines städtebaulichen Konzepts, Abwasserwärme ist Teil eines technologischen Versorgungskonzepts.

Im Rahmen der Feldphase wurden auf der einen Seite Experteninterviews (Bogner et al. 2002), auf der anderen Seite problemzentrierte Interviews (Witzel 1985: 239f.) mit konkreten Projekten, in denen die Technologien Anwendung fanden, durchgeführt. Für alle Interviews wurden Ergebnisprotokolle erstellt, die die Grundlage für eine inhaltsanalytische Auswertung bildeten. Ziel der Interviews war es, theoretisch abgeleiteten Hemmnisdimensionen und (Akzeptanz-) Hemmnisse zu validieren sowie die identifizierten Hemmnisse hinsichtlich ihrer Relevanz zu priorisieren.

Für die Technologie Regenwasserabkopplung wurden insgesamt sechs Interviews mit Fachleuten geführt. Als Good-Practice-Beispiele wurden der Neubau der Spinelli-Baracks¹ in Mannheim sowie die Sanierung der Johanniskirchgärten² in Essen betrachtet. Für die Analyse zur Abwasserwärmerückgewinnung aus dem Kanalleitungsnetz fanden insgesamt sieben Interviews statt, welche sich in Teilen um Projektbeispiele aus Berlin³, Aachen⁴ und Lünen⁵ drehten, die aktuell beforscht werden, sich in der Entwicklung befinden und bereits in der Nutzung sind. Einige weitere Interviewte sind oder waren auch in die Planungen von ähnlichen Projekten involviert, wobei nicht immer eine Umsetzung erfolgt ist.

Bei der Auswahl der Interviewpartnerinnen und -partnern wurde darauf geachtet, dass die interviewten Personen neben ihrer Fachexpertise aufgrund ihrer Vita auch aus der Perspektive unterschiedlicher Akteursgruppen argumentieren können. So konnte sichergestellt werden, dass trotz der geringen Anzahl von Interviews insgesamt eine ausreichende Bandbreite an Perspektiven auf die ausgewählten Schlüsseltechnologien abgedeckt wird. Eine Übersicht der Akteursgruppen, die durch die Interviewten repräsentiert wurden, ist Tabelle 10 zu entnehmen. Die Interviews fanden im Zeitraum November 2023 bis Januar 2024 statt. Sie dauerten in der Regel etwa 60 Minuten. Den Interviewten wurde Anonymität zugesichert.

¹ <https://www.mannheim.de/de/stadt-gestalten/konversion/konversionsflaechen/spinelli-barracks-0>

² <https://www.klima-werk.de/klimaprojekte/johanniskirchgaerten-essen.html>

³ <https://berlinerstadtwerke.de/energieprojekte/quartier-buckower-felder/>

⁴ <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/projekte/abwasserwaermenutzungsanlage-wiesental>

⁵ <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi?op=enargus.eps2&q=EA2113&m=2&v=10&p=8&s=2&id=956138>

Tabelle 10: Übersicht der Interviewten

Interview	Repräsentations-/ Akteursgruppe
Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung	
Interview A	Forschung, Betreibende, Bildungstragende
Interview B	Forschung, Architektur/Planung
Interview C	Projektentwicklung, Fördermittelgebende, Bildungstragende, Stadtverwaltung
Interview D	Stadtverwaltung, Projektentwicklung, Architektur/Planung
Interview E	Architektur/Planung, Wohnungsunternehmen, Projektentwicklung
Interview F	Architektur/Planung, Forschung, Herstellende, Projektentwicklung
Abwärmenutzung im Kanalnetz	
Interview A	Intermediäre, Kanalnetzbetreibende
Interview B	Herstellende (von Abwasserwärmeanlagen)
Interview C	Intermediäre, Kanalplanung
Interview D	Forschung
Interview E	Intermediär, Abwasseranlagenbetreibende
Interview F	Investierende / Eigentümerinnen und Eigentümer bzw. Anlagenbetreibende
Interview G	Investierende / Eigentümerinnen und Eigentümer bzw. Anlagenbetreibende

5.2. Fallstudie: Abwasserwärmenutzung

Die Rückgewinnung und Nutzung von Wärme aus dem Abwasser wurden bereits eingehender in Kapitel 4.3. dargestellt. Im Folgenden werden die Hemmnisse für die Umsetzung dargestellt.

5.2.1. Informatorische Hemmnisse

Mangelndes (Erfahrungs-)Wissen

- Um Projekte zur Abwasserwärmenutzung zu initiieren, wurde in verschiedenen Interviews darauf verwiesen, dass relevante Akteurinnen und Akteure in Kommunen einschließlich Vertretenden von Stadtwerken und Investierende häufig über unzureichende technische und praktische Kenntnisse verfügen, wenn noch keine Anlagen umgesetzt wurden. Diese Herausforderung wurde bereits vor über zehn Jahren festgestellt (Müller et al. 2012: 98), ist weiterhin aktuell (Klinski et al. 2023: 4) und konnte im Zuge der durchgeführten Interviews bestätigt werden. Dabei stellt sich insbesondere das Informationsdefizit bei Bauherren als schwierig dar, da sie eine wichtige Rolle bei der Investitionsentscheidung hinsichtlich der Wärmeversorgung inne haben (Müller et al. 2012: 98). Verfügbare Alternativen (z. B. Fernwärme), zu denen mehr (Erfahrungs-)Wissen vorliegt, können so bei der Wärmeplanung für Objekte oder für Kommunen den Vorzug erhalten.
- Als Folge unzureichenden Wissens über Abwasserwärme werden die technischen Potenziale zur Abwasserwärmerückgewinnung zum Teil nicht gesehen bzw. selten systematisch erfasst und zur Verfügung gestellt. Für die Planung und Umsetzung müssen aber belastbare Daten vorliegen (Müller et al. 2012: 2). Zu den wichtigen Informationen zählen der Durchmesser des Kanals, der Trockenwetterabfluss, das Temperaturniveau und die Distanz zwischen Gebäude und Kanal. Die Städte Köln und Berlin haben hierfür entsprechende Abwasserpotenzialatlanten entwickelt, die insbesondere den Betreibenden oder Investierenden von größeren Liegenschaften einen ersten Überblick verschaffen können, inwiefern Abwasser einen Beitrag zur Wärmeversorgung der entsprechenden Objekte leisten kann. Eine solche systematische Datenerfassung und -aufbereitung erscheint aktuell noch nicht der Regelfall (Klinski et al. 2023: 4), wobei grundlegende

kommunale Potenziale wie im Fall der Stadt Gelsenkirchen auch bereits 2015 als Teil von Klimaschutzteilkonzepten ermittelt wurden (Bücken et al. 2015: 63ff.). Auch in der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Stuttgart aus Dezember 2023 sind Kennzahlen zur Erschließung von Abwasserwärmepotenzialen enthalten (Landeshauptstadt Stuttgart 2023: 45ff.).

Informations- und Datenverfügbarkeit

- In einer Umfrage von 2019 wurde von 65 % aller Befragten darauf hingewiesen, dass es vergleichsweise schwierig ist, mehr über Abwasserwärmenutzung zu erfahren (Beuth/Hamann 2019: 56).
- Die Erfassung und nutzergerechte Bereitstellung relevanter Daten kann mit Aufwand und Kosten verbunden sein, was Abwasserbetriebe und Leitungsnetzbetreiber davon abhalten kann, einen Potenzialatlas für Abwasserwärme zu entwickeln. Entsprechende Fördermittel können diese Herausforderung adressieren (Müller et al. 2012: 99).
- Aufgrund der heterogenen Datenlage, die sich je nach Rolle der Kommunen bei der Wärmeplanung und der Abwasserbewirtschaftung von Kommune zu Kommune deutlich unterscheiden kann, können sich auch höhere (Transaktions-)Kosten für Projektentwickler, die in verschiedenen Kommunen tätig sind, ergeben. Sie müssen zunächst Zeit aufwenden, um Daten zu erheben bzw. sich jeweils einen Überblick über lokal verfügbare Daten verschaffen.
- Informationen zu Wärmebedarfen von Gebäuden liegen oft dezentral bei Gebäudebesitzenden oder -betreibenden und Investierenden vor. Diese Daten sind allerdings von herausragender Bedeutung, da nur so geklärt werden kann, ob Abwasserwärme auch eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung darstellt. Die Zusammenführung von Informationen bzw. Akteurinnen und Akteuren spielt eine wesentliche Rolle bei der Abwasserwärmenutzung.

Mangelndes Problembewusstsein

- Lange Zeit wurden fossile Energieträger trotz ihrer Folgen für Klima und Umwelt gegenüber verschiedenen klimafreundlichen Alternativen inklusive der Abwasserwärmenutzung bevorzugt behandelt.

5.2.2. Psychologische Hemmnisse

Vorurteile und Vorbehalte

- In den Interviews wurde darauf hingewiesen, dass der Wandel hin zu einer klimafreundlichen Energieversorgung eine Herausforderung darstellt. Innovationen werden in diesem Zusammenhang zunächst mit einer gewissen Zurückhaltung betrachtet. Explizit wurde dabei auf eine auf strombasierte Wärmeversorgung hingewiesen, wodurch Endnutzende auch Wärmepumpen kritischer beurteilen mögen. Da sie eine Teilkomponente der Abwasserwärme darstellen, können dadurch auch entsprechende Projekte gehemmt werden.
- Unzureichendes Erfahrungswissen kann dazu führen, dass Kanalleitungsnetzbetreiber Vorurteile gegenüber der Installation und dem Betrieb eines Wärmetauschers im Kanal entwickeln (Klinski et al. 2023: 2). Dabei steht u. a. die Frage im Raum, inwiefern die Installation zu Schäden im Kanalnetz führen kann. Ein Austausch mit Akteurinnen und Akteuren, die bereits Projekte umgesetzt haben und betreiben, wurde von fast allen Interviewten als wichtiges Instrument betrachtet, um Informationen zu vermitteln und Vorbehalte abzubauen.

- In den Interviews wurden negative Implikationen auf den Betrieb von Kläranlagen durch den Entzug von Wärme aus dem Abwasser tendenziell als Vorbehalte eingestuft. Probleme würden erst entstehen, wenn sehr viele Projekte innerhalb des Einzugsgebiets einer Kläranlage umgesetzt werden würden. Lediglich durch einen sehr umfänglichen Wärmeentzug aus dem Abwasser müsste schließlich an den Kläranlagen Energie aufgewendet werden, um die Temperatur des Abwassers anzuheben, damit Abwasserklärprozesse nicht beeinträchtigt werden.

5.2.3. Verhaltensbezogene / prozessuale Hemmnisse

Anpassung von Nutzungs-/Bewirtschaftungsroutinen

- Die Installation eines Wärmetauschers in das Kanalnetz kann ein Eingriff in die Handlungsroutinen von Kanalnetzleitungsnetzbetreibern sein. Fallbeispiele aus Stuttgart und Aachen zeigen, dass eine Notwendigkeit darin bestehen kann, Abwässer über mehrere Tage umzuleiten, damit Monteure den Wärmetauscher ordnungsgemäß installieren können. Entsprechendes Personal muss hierfür seitens den Kanalnetzbetreiber abgestellt werden (Mahler/Guigas 2013: 26).
- Aufgrund der vergleichsweise geringen Verbreitung der Anlagen und der daher fehlenden Erfahrungswerte, erscheint es notwendig, dass Initialprojekte von Anlagenbetreibern in den ersten ein bis zwei Jahren nach Inbetriebnahme der Anlage genauer überwacht werden. Hierfür müssen entsprechende Kapazitäten geschaffen werden.

Höherer Planungs- und Koordinierungsaufwand

- Bei der Planung und Koordinierung von Projekten zur Abwasserwärmerückgewinnung kommt mit der Wasser-/Abwasserwirtschaft ein Sektor bzw. Akteur hinzu, der bei der Gebäudeenergieversorgung bislang selten eine wesentliche Rolle spielte. Aufgrund der Notwendigkeit frühzeitiger Abstimmung und Klärung rechtlicher Fragestellungen zwischen den relevanten Akteurinnen und Akteuren (Abwasserbetrieb, Eigentümerinnen und Eigentümer und Nutzende der Liegenschaft, Architektinnen und Heizungsplanende, Energieversorgungsunternehmen) ist der Aufwand für die Projekterschließung als höher einzustufen im Vergleich zu konventionellen Projekten. Bereits 2004 folgerten Buri & Kobel (2004: 16): „eine frühzeitige gegenseitige Absprache des Betreibers der Abwasserwärmenutzungsanlage mit den zuständigen Ämtern für ARA [Abwasserreinigungsanlagen] und Kanalisation ist bei allen Projektphasen (Planung, Bau, Betrieb, Unterhalt, Wartung und Erneuerung) von zentraler Bedeutung für den Erfolg eines Abwasserwärmenutzungs-Projektes.“
- In einem Interview wurde auf verschiedene Projekte verwiesen, die jeweils zwischen dem lokalen Energieversorger, dem lokalen Kanalnetzbetreiber und dem kommunalen Gebäudemanagement initiiert und umgesetzt wurden. Diese Zusammenarbeit wurde als reibungslos beschrieben. Auch Roedl & Partner (2019) stellt fest: „Bei der Abwasserwärmenutzung sind häufig insbesondere in einer Pilotphase nur Einheiten aus der kommunalen Familie involviert.“ Dahingehend erscheint eine besondere koordinative Herausforderung, private Investierende oder Gebäudebesitzende in den Austausch mit den (kommunalen) Versorgern einzubeziehen.
- Bauprozesse haben oft enge Terminvorgaben. Das bereits angesprochene Informationsdefizit bei Stakeholdern erfordert zunächst den Wissensaufbau, bevor die Bauplanungen voranschreiten können. Bereits ermittelte Potenziale oder identifizierte Projekte ermöglichen die bessere Integration von erforderlichen Schritten für die Umsetzung von Abwasserwärmeanlagen in die Gesamtkoordination (DBU et al. 2009: 29)

- In einem Interview wurde geschildert, dass neue und neuartige Projekte einen höheren Aufwand für die relevanten Mitarbeitenden bedeuten. In diesem Zusammenhang wurde auf die etablierte Technologie Fernwärme verwiesen, wo es vermehrt „Schubladenprojekte“ gibt. Insgesamt kann das dazu führen, dass Unternehmen eher „konventionellere“ Projekte umsetzen.

Veränderte Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten

- Da Reparatur- und Wartungsarbeiten beim Wärmetauscher den Zugang zum Kanal erfordern, müssen relevante Fragen zwischen Betreibern der Abwasserwärmenutzungsanlage und Kanalleitungsnetzbetreibern im Vorfeld geklärt werden. Letztere können „in Contracting-Verträge miteinbezogen werden, indem sie zum Beispiel Wartung und Unterhalt der betreffenden Anlagen in der Kanalisation oder auf der ARA nach genauen Vorgaben und gegen Entschädigung des Contractors übernehmen und in die bestehenden routinemäßigen Wartungsabläufe integrieren“ (Buri & Kobel, 2004: 16).
- In einem Interview wurde darauf hingewiesen, dass eine Begutachtung des Wärmetauschers und Zugang zum Kanal durch externes Wartungspersonal nur möglich ist, wenn ausgebildetes Personal des Kanalleitungsnetzbetreibers die Externen begleitet.
- Daneben müssen Betreiber der Kanalisation auch berücksichtigen, dass insbesondere bei der Umsetzung von Abwasserwärmepotenzialatlanten Anfragen bearbeitet werden müssen. Hierfür müssen entsprechende Zuständigkeiten geschaffen bzw. definiert werden.

Unternehmens- und kommunale Strategien anpassen

- Die Strategien von kommunalen Akteurinnen und Akteuren können mehr oder weniger darauf ausgerichtet sein, klimafreundliche Projekte zu realisieren. Kommunen und kommunale Unternehmen, die sich aktiv(er) für den Klimaschutz einsetzen, werden auch ein größeres Interesse daran haben, Projekte zur Abwasserwärmerrückgewinnung zu realisieren. Das bestätigen auch Rechercheergebnisse von Fritz & Butz (2015: 4), die die Umsetzung von Abwasserwärmenutzungsanlagen in Baden-Württemberg untersuchen.
- In einem Fall wurde darauf hingewiesen, dass bei Versorgern sehr spezifische Unternehmensstrategien zur Energieversorgung der Bevölkerung vor Ort vorliegen können. Diese Strategien können beispielsweise auf Fernwärme ausgerichtet sein. Das kann dazu führen, dass die Umsetzung von Abwasserwärme im Kanalleitungsnetz zur Wärmeversorgung nicht als relevantes Aufgaben- oder Geschäftsfeld betrachtet wird.
- In einem anderen Fall wurde es explizit als vorteilhaft angesehen, dass die öffentliche Hand den entsprechenden Energieversorger als „verlängerte Werkbank für den Klimaschutz“ betrachtet. Das bedeutet, dass Kommunen ihren Einfluss auf Versorgungsunternehmen nutzen sollten, um Klimaschutzprojekte im Allgemeinen und die Abwasserwärme im Speziellen umzusetzen.

Bewusstes Fehlverhalten

- In einem Interview wurde der Fall geschildert, dass die für das Gebäudemanagement zuständigen Personen ein redundantes, konventionelles Wärmeversorgungssystem eingeschaltet haben, während das klimafreundliche System zur Abwasserwärmenutzung bewusst abgeschaltet wurde. Ursächlich hierfür kann sein, dass die Zuständigen sich besser mit dem Referenzsystem auskannten. In diesem Zusammenhang erscheint es auch von Bedeutung, dass Fehlverhalten nicht dazu führt, dass die Systeme Schaden nehmen, wodurch nachträgliche Investitionen erforderlich wären.

Sanierungs- und Modernisierungsprozesse

- Kanalleitungsnetze haben eine lange Lebensdauer. Gleichzeitig ist der Einbau von Kanalwärmetauschern besonders wirtschaftlich, wenn ein Kanal ohnehin erneuert werden muss. Ferner können Wärmepumpen als Teilkomponente eines übergeordneten Gebäudesanierungsprozesses wahrgenommen werden und erst installiert werden, wenn auch der Wärmebedarf bzw. die Vorlauftemperatur von Bestandsbauten (z. B. durch Dämmung der Gebäudehülle) gesenkt wird. Hierdurch können sich nur wenige Gelegenheitsfenster für die Installation von Abwasserwärmenutzungsanlagen ergeben. Die Synchronisierung von Investitionsvorhaben in das Kanalleitungsnetz und in den Gebäudebestand unter Beteiligung der entsprechenden Stakeholder (einschließlich der Betreiber von Abwasserwärmenutzungsanlagen) erscheint als eine besondere Herausforderung.
- Auch Beuth / Hamann (2019: 74) mutmaßen, dass die Projektierung von „Abwasserwärmeanlagen zugunsten anderer Investitionen, womöglich Wärmedämmmaßnahmen, zurückgestellt wird.“

5.2.4. Strukturelle Hemmnisse

Personal und Fachkräftemangel

- Auch wenn der Fachkräftemangel nicht explizit mit Abwasserwärmenutzungsanlagen in Verbindung gebracht werden konnte, erscheint diese Herausforderung auch hierfür gültig. Dabei kann der Personal- und Fachkräftemangel sowohl auf die planerische Gestaltung der kommunalen Wärmewende im Allgemeinen bezogen werden als auch auf die technische Umsetzung, also die Installation der verschiedenen Teilkomponenten.

Internalisierung negativer Externalitäten

- Die Kosten für Referenzsysteme, insbesondere für das Heizen mit Erdgas, bildete lange Zeit nicht die Kosten für die emissionsbedingten Umweltschäden ab. Insofern waren konventionelle Systeme häufig zu günstig. Durch Einführung des Nationalen Emissionshandels sollen die Umweltkosten, die durch die Wärmeerzeugung mittels fossiler Energieträger entstehen, internalisiert werden, so dass bei Investierenden ein Anreiz entsteht, in klimafreundliche Systeme zu investieren. Der aktuelle CO₂-Preis von 45 € pro Tonne CO₂, entspricht jedoch nach wie vor nicht den tatsächlichen gesamtgesellschaftlichen Umweltkosten der Nutzung fossiler Energien, die das UBA aktuell auf 237 € pro Tonne CO₂ beziffert (UBA 2023).

Klimawandelbedingte Funktionsbeeinträchtigung

- Schneeschmelze, aber auch Starkregenereignisse, führen insbesondere in Kanal-Mischsystemen dazu, dass das Temperaturniveau des Abwassers temporär etwas verringert wird. Hinzu kommt, dass sich die Durchflussmengen bei Starkniederschlagsereignissen z.T. sprunghaft erhöhen.
- In einem Interview wurde der Aspekt von Frischwassereinsparungen thematisiert, was im Zuge der vergangenen Hitzesommer häufig diskutiert wurde. Wird verstärkt Frischwasser eingespart, kann dies den Trockenwetterabfluss im Kanal reduzieren. Da die jüngsten Zahlen allerdings zeigen, dass wieder verstärkt Wasser in Haushalten genutzt wurde (UBA 2022), sind die Implikationen schwierig abzuschätzen. Generell erscheinen Einsparungen beim Wasserverbrauch unter den Fachleuten nicht als zentrales Hemmnis für die Umsetzung.

Politikkohärenz

- Die Sektoren Energie, Gebäude und (Ab-)Wasser werden in der Politik teilweise getrennt voneinander bearbeitet. In einem Experteninterview wurde dafür plädiert, die Themen stärker zusammen zudenken und Strategien einzelner Ressorts zu verknüpfen, um themenübergreifenden Energielösungen wie der Abwasserwärme zum Durchbruch zu verhelfen.

5.2.5. Ökonomische Hemmnisse

Erhöhte Pflege- und Unterhaltungskosten (gegenüber Referenzsystemen)

- In einem Interview wurde dargelegt, dass ein Anlagenmonitoring für Betreibende von Abwasserwärmeanlagen insbesondere in den ersten ein bis zwei Jahre nach Inbetriebnahme von besonderer Bedeutung ist. Durch dieses Monitoring kann der Anlagenbetrieb optimiert werden. Dieser erhöhte (Personal-)Aufwand sollte von Betreibenden einkalkuliert werden. Es ist davon auszugehen, dass sich solche Aufwände bei weiteren Projekten durch Lerneffekte innerhalb von Unternehmen reduzieren.
- In einem Forschungsprojekt in Stuttgart wurde darauf verwiesen, dass „zentrale Mess-, Steuer- und Regeltechnik [MSR] ein wichtiger Bestandteil zur Optimierung der Anlage“ ist. [...] Mit dieser Technik können Fehler in der Anlage schnell und ohne großen Aufwand erkannt und beseitigt werden. Das Potenzial zur Absenkung der Rücklauftemperaturen kann so maximal ausgeschöpft werden“ (Mahler / Guigas 2013: 41). Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze ist MSR-Technik grundsätzlich förderfähig (BAFA 2023).

Betriebskosten

- Es wurde auf die aktuell hohen Stromkosten für die Nutzung von Abwasserwärme bzw. Wärmepumpen verwiesen (Stand: Dezember 2023). In diesem Zusammenhang ist es von Bedeutung, die jeweiligen Situationen vor Ort genau zu betrachten und Betriebskosten verschiedener Systeme zu vergleichen. Grundsätzlich erscheint der Hinweis legitim, dass Abwasser gerade im Winter ein höheres Wärmeniveau hat als Luft. Das bedeutet, dass Wärmepumpen, die Abwasserwärme nutzen, weniger Strom benötigen als Luft-Wärmepumpen (Beuth / Hamann 2019: 16).
- Geringe Betriebskosten ergeben sich durch einen niedrigeren Strombedarf der Wärmepumpen bei gut gedämmten Gebäuden. Bei unsanierten Gebäuden ergeben sich im Umkehrschluss Effizienzverluste und höhere Betriebskosten für die Wärmebereitstellung (DBU et al. 2009: 13; Müller et al. 2012: 29). Es wurde zudem darauf verwiesen, dass es schwierig war, einen geeigneten Betreibenden bzw. Contractor zu finden, der bereit war, die Abwasserwärmeanlage zu einem „vernünftigen“ Preis pro kWh zu betreiben.

Förderkulissen

- Die Rückgewinnung von Wärme aus Abwasser des Kanalleitungsnetzes kann u.a. durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze gefördert werden. Antragsberechtigt sind Unternehmen, Kommunen, kommunale Eigenbetriebe, kommunale Unternehmen, kommunale Zweckverbände, eingetragene Vereine und eingetragene Genossenschaften. Gefördert wird u. a. die Erstellung von Transformationsplänen und Machbarkeitsstudien (Modul 1) sowie neue oder bestehende Wärmenetze (Modul 2), wenn diese auf die Wärmeversorgung von 16 Gebäuden oder mehr als 100 Wohneinheiten ausgerichtet sind. Hierzu zählen „alle ingenieursseitigen Untersuchungen und Berechnungen, welche für das Wärmenetz relevant sind“ (BAFA 2023).

- Fördermittel für Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser wurden laut Aussagen von Interviewten für die Projekte in Aachen und in Berlin, die im Rahmen des Projekts näher betrachtet wurden, in Anspruch genommen. Die Fördermittel spielten laut Interviewten eine wichtige Rolle für die Projektumsetzung. Auch Fritz / Butz (2015: 4) führten für Baden-Württemberg eine Zunahme der Nachfrage nach Abwasserwärmeprojekten auf ein Förderprogramm zurück.
- Die Entwicklung von Potenzialatlanten, in denen Daten für die Abwasserwärmenutzung der Öffentlichkeit zu Verfügung gestellt werden, ist mit Aufwand für Abwasserbetriebe verbunden.

Opportunitätskosten

- Energieversorgungsunternehmen und Gebäudebesitzende / Investierende können zwischen verschiedenen technologischen Optionen wählen, um die Wärmeversorgung von Bevölkerung, Quartieren und Gebäuden sicherzustellen. Entscheidungen sollten vor dem Hintergrund begrenzter Investitionsbudgets den Gewinn oder Nutzen maximieren. Für konkrete Projektgebiete bedeutet das, dass Abwasserwärmeanlagen im Vergleich zu technischen Alternativen und anderen Gebäudemaßnahmen einen höheren Nutzen stiften oder höheren Gewinn erwirtschaften.

Wirtschaftlichkeit

- Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus dem Kanalleitungsnetz sind laut einem Interview vor allem ab einer Anlagengröße von 50 kW wirtschaftlich. Andere Quellen beziffern die Anlagengröße auf zwischen 100 bis 150 kW. In jedem Fall scheinen mit dem Kanalnetz verknüpfte Systeme erst ab größeren Wärmebedarfen wirtschaftlich, was Individuallösungen für kleinere Objekte (z. B. Einfamilienhäuser) unter diesem Gesichtspunkt ausschließt. Bei einer Untersuchung von Projekten in Baden-Württemberg, für die bereits Machbarkeits- und Potenzialstudien erstellt wurden, konnte festgehalten werden, dass die fehlende Wirtschaftlichkeit bei sechs von 24 untersuchten Projekten die Umsetzung verhinderte (Fritz & Butz 2015: 6). Es erscheint von großer Bedeutung, auch im Kontext der kommunalen Wärmeplanung und Wärmewende, aktuellere Fälle und Umsetzungsprojekte hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu beleuchten.
- In Forschungsprojekten wurden hohe Investitionskosten insbesondere für den Wärmetauscher ermittelt (Bieker 2021: 52; Mahler / Guigas 2013: 29). Dabei wurde geschlussfolgert, dass bei Abwasserwärmeprojekten geprüft werden sollte, ob sich industrielle Abwärme auf das Abwasser übertragen lässt, um so die Wärmeübertragungsfläche zu verringern bzw. den Wärmetauscher im Kanalnetz zu verkürzen, um so Investitionskosten zu senken (Bieker 2021: 52).
- Geringere Investitionskosten ergeben sich zudem, wenn das entsprechende Kanalleitungsnetz (meistens nach einer Lebensdauer von etwa 80 Jahren) modernisiert werden muss. Durch die Modernisierung und eine anknüpfende Installation eines Wärmetauschers lassen sich so Synergien heben (Buri / Kobel 2004: 4). Bei nachträglichen Installationen der Wärmetauscher in das Kanalleitungsnetz ist der Einbau teurer und kann so ein Hemmnis darstellen. Auch für den Bau oder die Transformationen von Wärmenetzen lassen sich Synergien heben, wenn andere Tiefbau- und Infrastrukturmaßnahmen simultan erfolgen (Pehnt et al. 2017: 50).
- Für die wirtschaftliche Umsetzung ist es von Bedeutung, dass sich die Gebäude in relativer Nähe zum Abwassersammler befinden. In der Literatur findet man Werte für die maximale Distanz zwischen Gebäude und Kanalnetz von bis zu 300 Metern, während ein Interviewpartner von einer Distanz von maximal 100 Metern hingewiesen hat. Im Abwasserwärmepotenzialatlas der Stadtentwässerungsbetriebe der Stadt Köln beläuft sich die maximale Distanz, die im Atlas ersichtlich ist, auf 150 Meter. DBU et al. (2009: 9) sprechen auch von Systemen, die „über Kilometer“ mit den Wärmesenken verknüpft wurden. Allerdings verringert die Distanz zwischen Gebäude und Abwasserkanal tendenziell die Investitionskosten.

- Auch alternative Umweltmedien für die Nutzung von in der Anschaffung günstigeren Luft-Wärmepumpen können eine Konkurrenz zur Abwasserwärme darstellen.
- Saisonale Wärmebedarfe und kurze Betriebszeiten der Wärmepumpen gestalten die Wirtschaftlichkeitsrechnung schwierig. Von Vorteil sind ganzjährige Wärme- oder Kältebedarfe und damit eine hohe Auslastung der Wärmepumpe (DBU et al. 2009: 9).

5.2.6. Regulative Hemmnisse

Rechtliche Auflagen und Anforderungen

- Im Rahmen des Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze sind planungsverantwortliche Stellen berechtigt, für die Bestandsanalyse „Informationen zu Abwassernetzen mit einer Mindestnennweite von DN 800“ zu erheben. Als Informationen werden solche genannt, die bereits in einigen wenigen Kommunen und ihren Abwasserwärmepotenzialatlanten vorliegen (z. B. Trockenwetterabfluss, Jahr der Inbetriebnahme). Machen Kommunen entsprechende Informationen zugänglich für Investierende, können sich hieraus Impulse für die Marktdiffusion von Wärmerückgewinnung aus dem Kanalleitungsnetz ergeben.
- Um Potenziale einschätzen zu können, wurde bereits auf die Datenverfügbarkeit (als informatorisches Hemmnis) und die Rolle von Betreibern von Kanalnetzen hingewiesen. Durch Informationsfreiheitsgesetze der Länder können sich Pflichten ergeben, Daten für die Potenzialabschätzung von Abwasserwärmeprojekten an Dritte bereitzustellen. Diese Gesetze sind in Teilen unterschiedlich gestaltet und Wohnungsunternehmen, die gerade größere Wärmebedarfe betreuen, sind häufig nicht anspruchsberechtigt (Klinski et al. 2023: 9f.). Hierdurch können sich für privatwirtschaftlich agierende Unternehmen Schwierigkeiten ergeben, unterschiedliche Abwärme-Projekte über die Grenzen eines Bundeslandes zu standardisieren.
- Regelungen zur Übernahme von zusätzlichen Kosten, die im Kanal- und Kläranlagenbetrieb entstehen, müssen vertraglich festgehalten werden (Beuth & Hamann 2019: 21). Für entsprechende Vertragswerke kann auf Musterverträge zurückgegriffen werden (Bieker 2021: 77); ebendiese werden bspw. durch die Klima- und Energieagentur der Landes Baden-Württemberg bereitgestellt (Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg, 2024). Durch diesen vertragsrechtlichen Koordinationsaufwand entstehen (Transaktions-)Kosten.
- Neben der Vertragsgestaltung konnten Beuth & Hamann (2019: 81) herausfinden, dass die Rückbauverpflichtung von technischen Anlagen im Kanal eine weitere Herausforderung dargestellt. In der Auswertung der Umfrage gehen die Autoren nicht näher auf diesen Aspekt ein.

5.2.7. Baulich-technische Hemmnisse

Gebäudetyp

- Auch wenn eine Gebäudesanierung für den Einbau von Wärmepumpen und weiteren Komponenten immer seltener zwingend notwendig ist, sind Wärmepumpen tendenziell effizienter in modernisierten oder neuen Gebäuden mit geringem Heizenergieverlust. Besitzende von unsanierten Bestandsimmobilien können daher weniger dazu geneigt sein, in eine auf Wärmepumpen basierende Technologie wie der Abwasserwärme zu investieren.

- Da Abwasserwärme aus dem Kanalnetz besonders dort wirtschaftlich ist, wo größere Mengen an Wärme abgenommen werden können, kommen insbesondere Objekte und Quartiere mit einem hohen Wärmebedarf in Frage: Wohnsiedlungen, Verwaltungsgebäude, Wohnsiedlungen oder Gebäude mit etwa 20 Einheiten, Gewerbe- und Industriebauten, Schulen, Kindertagesstätten, Sportanlagen und Schwimmbäder (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2022: 11; DBU et al. 2009: 6).

Infrastrukturelle Aspekte

- Eine große Distanz zwischen Gebäude und Abwassersammler erhöht die Kosten. Basierend auf den Ergebnissen der Interviews und der Literaturlauswertung sollten die Distanz zwischen 50 und 300 Meter betragen, auch wenn es Systeme gibt, die Gebäude und Kanalleitung „über Kilometer“ verknüpfen (DBU et al. 2009: 9). Insbesondere bei großen Wärmebedarfen von 500 kW oder 1 MW und mehr erscheinen auch größere Distanzen wirtschaftlich möglich (Müller et al. 2012: 68).
- Zur Ermittlung von Potenzialen für den nachträglichen Einbau eines Wärmetauschers wird in der Regel ein Nenndurchmesser der Kanalleitung von DN 800 herangezogen (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2022: 14f.; Bücken et al. 2015: 64; Landeshauptstadt Stuttgart 2023: 45; Müller et al. 2012: 67). Allerdings bestehen auch alternative Wärmetauschkonzepte, z. B. mittels Bypasses.
- Kanalleitungen werden laut Aussagen der Interviewten alle 80 Jahre erneuert. Da der Wärmetauscher eine Lebensdauer von etwa 20 Jahren hat, wird der Einbau in solchen Leitungen erschwert, die vor etwa 60 Jahre installiert wurden. Denn so müsste bei Modernisierung des Kanalnetzes der Wärmetauscher vor Ende seiner Lebenszeit außer Betrieb genommen werden. Eine Fallstudie zeigt, dass Wärmetauscher nach 20 Jahren Einsatz und einer umfassenden Begutachtung sogar für weitere 20 Jahre eingesetzt werden können.
- In einem Interview wurde auch auf den Zugang zum Kanal hingewiesen, um den Wärmetauscher zu inspizieren. Ist der Kanalzugang nur über eine stark befahrene Straße und mit Straßensperrung möglich, ist der Aufwand für eine Begutachtung ggf. unter Berücksichtigung einer Umleitung des Verkehrs enorm. Demgegenüber ist von Vorteil, wenn sich der Zugang in einer verkehrsberuhigten bzw. Fußgängerzone befindet (DBU et al. 2009: 9).

Trockenwetter- und Nachtabfluss

- Damit sich auf dem Wärmetauscher keine Sedimente ablagern können und eine ausreichende Menge an Wärme aus dem Abwasser entzogen werden kann, muss eine Mindestmenge an Abwasser das Kanalnetz und damit auch den Wärmetauscher durchströmen. Dieser sogenannte Trockenwetterabfluss beläuft sich auf etwa 15 Liter pro Sekunde (Müller et al. 2012: 66). In einem Interview wurde betont, dass gerade der Volumenstrom in der Nacht von zentraler Bedeutung ist, um die Wärmeversorgung sicherzustellen. Unterschreiten Abwassersammler diesen Schwellenwert, kann die Installation eines im Kanalnetzverbauten Wärmetauschers ausgeschlossen werden.
- Damit kommen verdichtete Räume für solche Systeme eher in Frage als dünn besiedelte Gebiete. DBU et al. (2009: 6) führen aus, dass günstige Standorte mit höheren Wärmebedarfen „in den meisten Kommunen mit mehr als 10.000 Einwohnern und im Einzugsgebiet von regionalen Kläranlagen“ vorhanden sind.
- Eine erhöhte Biofilmbildung, auch als Folge unzureichenden Trockenwetterabflusses, kann sich die Wärmeübertragungsleistung verschlechtern. Es stehen Maßnahmen zur Verfügung, um diese Herausforderung zu adressieren. Vogt & van Treck (2018: 49ff.) unterscheiden zum einen zwischen dem eingesetzten Material für den Wärmetauscher (Kupfer, Edelstahl) und zwischen der Reinigungsart. Hinsichtlich der Art der Reinigung ist möglich, durch die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit den Biofilm teilweise abzubauen; eine „vollständige Wiedererlangung des ursprünglichen, sauberen Zustands“ ist beispielsweise durch eine

Hochdruckreinigung möglich, wobei hierunter bestimmte Materialien leiden können. Die Autoren kommen zu der Einsicht, dass: „Erhöhtem Biofilmwachstum sollte [...] durch eine entsprechende Dimensionierung des Wärmeübertragers entgegengewirkt werden“ (Vogt & van Treck 2017: 88f.). Entsprechende Investitionskosten sind dabei abzuwägen.

- Der nachträgliche Einbau des Abwasser-Wärmetauschers kann erschwert werden, wenn das Abwasser bei der Installation nicht vollständig über das bestehende Kanalnetz umgeleitet werden kann. In Stuttgart wurde so das restliche Abwasser vor den Bauarbeiten abgesaugt und hinter der Baustelle wieder eingeleitet (Mahler & Guigas 2013: 26).

Temperatur des Abwassers

- Ein Temperaturniveau des Abwassers von über 10°C im Winter sind günstige Voraussetzung, um dem Abwasser in den zentralen Heizperioden entsprechende Wärme entziehen zu können (DBU et al. 2009: 10).
- In einem Quartier in Stuttgart treten an wenigen Stunden im Jahr Abwassertemperaturen von ca. 8° C auf. Zur Gewährleistung des Frostschutzes muss die Anlage in diesen Zeiten außer Betrieb genommen werden und ein komplementäres System (BHKW) übernimmt die Wärmeversorgung (Mahler & Guigas 2013: 10).

5.3. Fallstudie: Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung

Nachfolgend wird eine Übersicht über die durch die Literaturrecherche sowie die durchgeführten Interviews genannten Hemmnisse für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung gegeben. Die Hemmnisse werden dabei den zuvor hergeleiteten sieben Hemmnisdimensionen zugeordnet.

5.3.1. Informatorische Hemmnisse

Mangelndes (Erfahrungs-)Wissen

- Grundsätzlich besteht bei den Fachleuten weitgehende Einigkeit darin, dass die technischen Lösungen für eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung bekannt und etabliert seien. Ungeachtet dessen, ob Dach-/ Fassadenbegrünung, Versickerungs- oder Rigolensysteme oder die Regenwassernutzung im Gebäude: für alle Technologien gibt es bereits seit vielen Jahren Good-Practice-Beispiele. Zudem existieren Regelwerke mit Hilfestellungen für die Anwendung. Es braucht folglich kaum zusätzliche Forschung. Eine Ausnahme stellt das Thema Baumrigolen dar.
- Die Technologie ist nach Einschätzung aller Fachleute grundsätzlich auch Investierenden, Prüfbehörden, Kommunen, Bildungstragenden oder dem Handwerk bekannt. Zudem ist ihre technische Umsetzung wenig komplex.
- Eine Ausnahme sehen einige Fachleute bei der Zielgruppe privater Kleinvermietender oder sonstiger Privatpersonen, die Immobilien besitzen und bewirtschaften. Da die Immobilienbewirtschaftung hier nicht hauptberuflich erfolgt und folglich Zeitrestriktionen bestehen, könne es durchaus sein, dass einige Technologien nicht gänzlich bekannt sind. Dies kann in der Folge dazu führen, dass bestimmte Technologieoptionen in Betracht gezogen werden.
- Selbst wenn die Technologien bekannt sind, können fehlende Erfahrungen mit ihnen zur fehlenden Nutzung führen. Einige Fachleute argumentieren beispielsweise, dass es zwar Good-Practice-Beispiele gibt, diese aber unbekannt sind und es nur selten im direkten Umfeld von Investierenden (positive) Erfahrungswerte gibt, vor allem bei Privatpersonen.

Mangelndes Problembewusstsein

- Ähnlich wie auf der gesamtgesellschaftlichen Ebene kann es auch auf der individuellen oder unternehmerischen Ebene ein fehlendes Problembewusstsein bestehen. In diesem Fall sind die Technologien grundsätzlich bekannt. Es wird jedoch kein eigener Handlungsdruck gesehen, sodass die Nutzung der Technologien für das eigene Objekt bzw. Projekt nicht als notwendig erachtet wird.

5.3.2. Psychologische Hemmnisse

Vorurteile und Vorbehalte

- Sowohl in der Literaturrecherche wie auch in den Interviews wurden verschiedene Vorurteile und Vorbehalte genannt. Diese lassen sich in die drei Bereiche Marktreife, unsachgemäße Installation und Wirksamkeit einteilen.
- Vereinzelt wurde in den Interviews argumentiert, dass Investierende die Marktreife in Frage stellen und daher Investitionen in die Zukunft verschieben. Hierbei werden Dachbegrünungen als inzwischen weitgehend etabliert eingeschätzt. Fassadenbegrünungen, Versickerungssysteme oder auch Speichersysteme zur Betriebswassernutzung im Gebäude können unter Umständen als noch nicht ausreichend etabliert eingeschätzt werden. Es besteht die Sorge vor hohen Kosten, Installationsfehlern und daher Folgekosten.
- Hinsichtlich der Installation von allen Elementen einer Regenwasserabkopplung lassen sich Bedenken hinsichtlich einer unsachgemäßen Installation finden. Diese reichen von Feuchteschäden an Dächern und Fassaden bis hin zu einer Schädigung des Mauerwerks oder der Dachkonstruktion. Zudem argumentierte ein Interviewpartner, dass Installationsfehler optisch stark sichtbar sein können, wenn beispielsweise Pflanzen absterben und Nachpflanzungen mitunter Jahre benötigen bis sie vergleichbare Wirkungen besitzen.
- Ein Interviewpartner berichtete zudem von einer Situation, in der ein kommunaler Mitarbeiter das Verbauen von Kunststoff im Boden (bei Rigolensystemen) als nicht nachhaltig erachtete.
- Hinsichtlich der Wirkung wurde in den Interviews argumentiert, dass die Effekte, sowohl hinsichtlich der Energieeinsparung, der Akzeptanz durch Mietende wie auch der grundsätzlichen Funktionalität von Investierenden im Vorfeld von Maßnahmen häufig nur bedingt eingeschätzt werden können. So wurde beispielsweise darauf verwiesen, dass es Vorbehalte gäbe, da Mietenden ggf. eine Zunahme von Insekten (zum Beispiel Spinnen, Mücken) oder auch mehr Laub als störend empfänden und daher Maßnahmen ablehnten, Vermietende sogar mit Kündigung oder Mietminderung drohten. Gleiches gälte für Versickerungssysteme. Hier könne es ebenfalls dazu kommen, dass Mietende das Wohnumfeld kritisch bewerteten, da sie nun nicht mehr auf einen gemähten Rasen, sondern auf Stauden, Teiche, Mulden etc. blickten. Wer die Wirksamkeit in Frage stelle, scheue zudem womöglich hohe Rückbaukosten.
- Hinweis: Die Interviewten nannten die Vorurteile und Vorbehalte als potenzielle Gründe, die die Investitionsbereitschaft senkten. Sie wiesen jedoch auch alle darauf hin, dass diese in aller Regel bei einer sachgemäßen Installation und kommunikativen Begleitung und Aufklärung unbegründet seien.

Wertesysteme

- Regenwasser ist allgemein positiv in der Gesellschaft besetzt. Es spendet Leben. Es fördert Wachstum etc. Im Konkreten wird in Regenwasser jedoch eher eine Gefahr gesehen. Es kann zu Wasserschäden am Gebäude führen. Auf den Straßen erhöht es die Unfallgefahr. In stehenden Gewässern können Menschen ertrinken. In einer objektspezifischen Betrachtung überwiegen vielmehr die Risiken. Damit unterscheidet sich die Regenwasserbewirtschaftung fundamental von etwa der Energieversorgung oder der Straßennutzung. Straßen weisen unzählige Risiken auf (Verkehrssicherheit, gesundheitliche Risiken etc.). Dennoch werden Straßen als weniger risikobehaftet wahrgenommen bzw. die Risiken werden toleriert, da der Nutzen so hoch ist. Auch im Gebäudebereich hat heute niemand Sorge vor einem hochentzündlichen (Erd-)Gas und die Beheizung mit Erdgas ist nicht negativ besetzt, obwohl damit der Klimawandel vorangetrieben wird.

5.3.3. Prozessuale- / verhaltensbezogene Hemmnisse

Anpassung von Nutzungs-/Bewirtschaftungsroutinen

- Durch die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung gelangt Regenwasser durch Versickerung in Böden und zum Teil bis ins Grundwasser. Um die Boden- und Grundwasserqualität nicht zu beeinträchtigen, gilt es etablierte Routinen kritisch zu hinterfragen. In diesem Zusammenhang nannten einige Fachleute die Nutzung von Streusalz im Winterdienst. Streusalz wirke sich negativ auf die Pflanzenvitalität aus und solle daher vermieden werden.
- Ein Experte wies auch darauf hin, dass die Reinigung von Flächen (Balkonen etc.) auf abgekoppelten Flächen angepasst werden müsse. So gäbe es in einem Projekt Probleme mit Mietenden, da die abgekoppelten Balkone und Laubengänge mit biologisch abbaubarem Reinigungsmittel gereinigt werden müssten.

Höherer Planungs- und Koordinierungsaufwand

- Eine gut funktionierende dezentrale Regenwasserbewirtschaftung benötigt eine integrierte Planung, die die Belange verschiedener Themen (Verkehr, Grünflächen, Wohnen, Gewerbe etc.) verbindet. Bislang werden viele Planungen jedoch in aller Regel sektoral gedacht. Straßenumbauten werden beispielsweise häufig zunächst ausschließlich aus verkehrlicher Perspektive vorgenommen. Gebäudesanierung vielfach aus energetischer Perspektive. Ein Bewässerungskonzept ohne die Nutzung von Dachflächen stellt andere Ansprüche an die Versickerungsfähigkeit der Freiflächen als eines, das die Dachflächen mit einbezieht. All diese Flächen sind jedoch, gerade im verdichteten, urbanen Bereich, potenzielle multifunktionale Flächen. Eine integrierte Planung bedeutet, dass bereits zu einem frühen Zeitpunkt verschiedene Perspektiven miteinander interagieren. Dies sei bislang nach Einschätzung der Fachleute nicht gängige Praxis.
- Eine komplexere und integrierte Planung stellt auch Kommunalverwaltungen und sonstige Zulassungsbehörden vor neue Herausforderungen. Häufig werden Rückmeldungen und Freigaben von unterschiedlichen Fachabteilungen (Grünflächenamt, Stadtentwässerung, Ordnungsamt, Feuerwehr, Bauamt, Stadtentwicklung, Verkehrsamt etc.) benötigt. Nach Einschätzung einiger Fachleute seien Kommunalverwaltungen häufig nicht auf ressortübergreifende Abstimmungsprozesse vorbereitet, sodass entsprechende Genehmigungsverfahren die Projektrealisierung behindern und verzögern. Hinzu kommt, dass Themen des Regenwassermanagement bislang zumeist bei Umweltämtern oder der Stadtentwässerung angekommen seien, aber nicht bei Bau- oder Verkehrsämtern. Ein Experte wies diesbezüglich darauf hin, dass mitunter nicht die sachlich besten Lösungen geplant würden, sondern solche, bei denen der Genehmigungsaufwand am geringsten sei. Dies sei vor allem dann der Fall, wenn bei der Planung konkrete Schwerpunkte gesetzt würden, zu Lasten der integrierten Planung.

- Ein Experte wies zudem darauf hin, dass ein vertrauensvoller Umgang und ein persönlicher Zugang in Kommunalverwaltungen oder Prüfbehörden Planungen unter Umständen vereinfachen könnten.

Veränderte Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten

- Hinzu kommt, dass durch ein dezentrales Regenwassermanagement die Verantwortlich- und Zuständigkeit bei verschiedenen Akteursgruppen verschiebt. Lange Zeit galt es für Projektentwickelnde, Architektinnen und Architekten, Planende oder Bauverantwortliche, Regenwasser möglichst schnell in die Kanalisation zu leiten. Der weitere Umgang oblag den Stadtentwässerungsbetrieben. Bei einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung müssen andere Akteursgruppen neue Kompetenzen aufbauen. Sie müssen aber vor allem auch anders in den Planungsprozess eingebunden werden.
- Zudem stellt sich bei Anlagen im öffentlichen Raum und damit für Kommunen die Frage, wer diese bewirtschaftet. Hier kann es notwendig sein, Zuständigkeiten zwischen Straßenreinigung, Grünflächenamt oder auch Stadtentwässerung neu zuzuschneiden.

Mangelnde Fehlerkultur und Innovationsfreudigkeit in Prüfbehörden

- Ein Experte wies darauf hin, dass es in vielen Behörden und Verwaltung eine mangelnde Fehlerkultur gebe. Dies führe dazu, dass technische Regelwerke eher konservativ ausgelegt würden, um „auf der sicheren Seite“ zu sein. Auf der individuellen Ebene gebe es für entsprechende Mitarbeitende keine Anreize, progressive und innovative Wege einzuschlagen. Dies würde eher mit Unsicherheit, zusätzlichem Aufwand und ggf. individuellen Nachteilen assoziiert. Daher würden technische Regelwerke auch nicht als Hilfestellung, sondern als quasi-Gesetze gesehen, um individuellen Legitimationsdruck zu vermeiden.

Unternehmens- und kommunale Strategien anpassen

- Ein Experte wies zudem darauf hin, dass Themen wie die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung für Kommunen wie auch Unternehmen enorme Chancen im Sinne von Wettbewerbsvorteilen böten. Dafür sei es jedoch notwendig eigene Strukturen kritisch zu hinterfragen. Wer dies jedoch nicht tue, würde in den nächsten Jahren zunehmend Probleme bei der Akquise von Projekten, Fachkräften, Unternehmensansiedlungen etc. bekommen. Der Experte bedauerte, dass noch zu viele Unternehmen und Kommunen alten Leitbildern hinterherliefen.

5.3.4. Strukturelle Hemmnisse

Flächenverfügbarkeit und -konkurrenz

- Im urbanen Raum ist Fläche ein knappes und kaum vermehrbares Gut. Gleichzeitig werden an Flächen ganz unterschiedliche Funktionen wie Wohnen, Mobilität, Ver-/Entsorgung, Naherholung, Interaktion, Wirtschaften etc. gestellt. Damit konkurrieren Bausteine einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung mit verschiedenen anderen Ansprüchen an Raum und Fläche.
- Besonders in wachsenden Kommunen besteht ein hoher Neubaudruck auf unbebauten Flächen, um der Wohnraum- oder Gewerbeflächennachfrage gerecht zu werden. Auch in eher nachfrageschwachen Kommunen besteht dieser Druck, weil aus der Neuansiedlung von Gewerbe bzw. der Ansiedlung von Bevölkerung lokale Wertschöpfung und Steuereinnahmen erwartet werden. In den kommunalen Haushalten erhöht folglich die Inwertsetzung von Flächen durch Besiedlung und Versiegelung die Einnahmen. Eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung tut dies nicht, erhöht ggf. sogar die Ausgaben für die Pflege. Ent-

sprechend hoch ist der Legitimationsdruck, Flächen nicht für die Bebauung freizugeben bzw. bei Bebauungen entsprechend Freiflächen zum Regenwassermanagement vorzuschreiben.

- Auch im Bestand besteht eine hohe Nutzungskonkurrenz. Tiefbeete, Versickerungsmulden, Rigolensysteme, Zisternen, Versickerungsschächte etc. benötigen ober- und unterirdisch Raum und Fläche und sind durchaus flächenextensiv. Versickerungsmulden und Tiefbeete werden häufig entlang von Straßen geplant, häufig dort, wo sonst Parkplätze vorgehalten werden. Im Untergrund wird (Wurzel-) Raum benötigt, wo jedoch bereits Ver- und Entsorgungsrohre und -leitungen liegen.
- Einige Fachleute erläutern, dass es Opportunitätskosten der Nutzung geben kann. Eine Dachbegrünung kann auf der einen Seite den Wirkungsgrad einer Photovoltaik-Anlage erhöhen, kann jedoch auch in Flächenkonkurrenz dazu stehen. Ebenso kann eine Dachbegrünung der Nutzung des Daches als Terrasse entgegenstehen. Investierende müssen folglich abwägen, wobei sich PV-Anlagen oder zusätzliche Aufenthaltsflächen einfacher monetarisieren lassen. Ebenso kann eine Fassadenbegrünung die städtebauliche Funktion von zum Beispiel gründerzeitlichen Fassaden negativ beeinflussen oder die Nutzung von BIPV (Building-integrated Photovoltaics) unmöglich machen.

Fachkräftemangel

- Die Fachleute wiesen darauf hin, dass auch im Bereich der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung Fachkräfte fehlten. Dies sei jedoch ein allgemeiner Trend und nicht den spezifischen Herausforderungen der Regenwasserbewirtschaftung geschuldet. Ein Experte wies darauf hin, dass sich das Problem jedoch in den nächsten Jahren aus demographischen Gründen und vor allem, wenn das Thema stärker auf die politische Agenda rückt und damit mehr Projekte angestoßen werden, verändern könnte.
- Da die Bausteine einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung planerisch wie baulich als nicht komplex eingeschätzt werden, werden auch keine umfangreichen Zusatzqualifikationen als notwendig erachtet. Ein Bedarf besteht bei Modellierungskompetenzen (Starkregensimulationen, Berechnung von Evaporation etc.) sowie im Bereich des interdisziplinären Arbeitens und integrierten Planens. Beides wird noch nicht als Standard der Projektentwicklung angesehen.
- Ein Experte wies zudem darauf hin, dass es in Kommunalverwaltungen, Prüfbehörden, Ministerien zunehmend an inhaltlicher Fachexpertise fehle, da immer weniger auf eigene Erfahrungen in der Projektplanung zurückgegriffen werden könne.

Niedrige Regen- und Trinkwassergebühren

- Alle Fachleute sind sich einig, dass die aktuell erhobenen Regen- und Trinkwassergebühren zu niedrig seien. Dadurch werde weder ein Preissignal dafür gesetzt, dass Wasser eine kostbare und knappe Ressource sei, noch würden Anreize für eine sparsame und in Kreisläufen gedachte Wassernutzung gesetzt. Die Investitionskosten für Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ließen sich dadurch in aller Regel nicht durch sinkende Regen- oder Trinkwassergebühren refinanzieren.

Klimawandelbedingte Funktionsbeeinträchtigung

- Aufgrund des Klimawandels ist sowohl mit längeren Trockenperioden als auch mit einer Zunahme von Starkniederschlägen im Sommer zu rechnen. Beide Effekte können sich negativ auf die Funktionstüchtigkeit von Elementen einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auswirken. So können insbesondere Dachbegrünungen, aber auch Fassadenbegrünungen, ihre kühlende Wirkung nur entfalten, wenn sie ausreichend Wasser zur Transpiration zur Verfügung haben. Ist dies nicht der Fall, sinkt der kühlende Effekt und

kann bei längerer Trockenheit zum Absterben der Pflanzen führen. Zusätzliche Kosten können durch eine notwendige künstliche Bewässerung entstehen.

- Ein ausgetrocknete Dachbegrünung besitzt zudem nur eine eingeschränkte Wasseraufnahmefähigkeit und kann damit Niederschlagswasser nur noch bedingt zurückhalten.
- Gerade das Absterben von Pflanzen wird von den Experten kritisch gesehen, da dadurch nicht nur Folgekosten entstünden, sondern sich auch das Image von Gebäudebegrünungsmaßnahmen verschlechtern könnte.
- Ein Experte wies zudem darauf hin, dass sich die Veränderungen der Niederschlags- und Temperaturmuster negativ auf die Nutzung von Regenwasserzisternen auswirkten. Bei längeren Trockenperioden dienten sie kaum als relevanter Regenwasserspeicher. Bei Starkniederschlägen erfüllten sie nur dann eine Pufferfunktion, wenn sie zu diesem Zeitpunkt auch leer seien bzw. entsprechende Aufnahmekapazitäten hätten. Dies könne jedoch nicht zentral gesteuert werden.

Bürokratie

- Wie in vielen anderen Bereichen wird in den Interviews auch die deutsche Bürokratie als Hemmnis für die Umsetzung einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung gesehen. Das Thema stand jedoch in keinem Interview im Mittelpunkt. Kritik wurde vor allem hinsichtlich der Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen geübt, die sich zudem zum Teil noch widersprächen und nicht ausreichend aufeinander abgestimmt seien. Hinzu käme, dass es bei Prüf- und Genehmigungsbehörden häufig zu personellen Engpässen käme, was wiederum zu Verzögerungen und damit unter Umständen zu steigenden Kosten führen könne.

Mangelndes gesellschaftliches Bewusstsein für Handlungsdruck und gesellschaftlichen Wert von Regenwasser

- Regenwasser wurde in Planungen lange Zeit als störendes Element wahrgenommen. Auch im Wasserhaushaltsgesetz (§ 54) wird es nicht als wertvolle Ressource, sondern als Abwasser betrachtet. Daher war das Planungsparadigma lange, Regenwasser möglichst schnell in die Kanalisation einzuleiten. Anders als etwa bei der Verkehrswende, wo es kontroverse öffentliche Debatten über die zukünftige Bedeutung des Automobils (was sichtbar und wahrnehmbar ist) gibt, finden kaum öffentliche Diskurse zum Wert der Ressource Regenwasser statt. Die Fachleute schätzen das gesellschaftliche Interesse an Regenwasserthemen als gering ein. Die Regenwasserbewirtschaftung ist aktuell eher ein Nischenthema von Fachkreisen. Einige Fachleute führen dies darauf zurück, dass der Problemdruck bislang noch zu gering sei bzw. als zu gering von Entscheidungstragenden, Verwaltungen oder der Zivilgesellschaft wahrgenommen würde. Ein Experte berichtete etwa, dass die sich abzeichnende Wasserknappheit in Berlin und Brandenburg dort zunehmend zu einem Umdenken führe. Ein anderer Experte wies darauf hin, dass die Niederlande deutlich progressiver sei, weil die Geschichte des Landes eng mit dem Thema Wassermanagement verbunden sei und es dafür eine hohe gesellschaftliche und politische Sensibilität gäbe.

5.3.5. Ökonomische Hemmnisse

Erhöhte Pflege- und Unterhaltungskosten (gegenüber Referenzsystemen)

- Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung können zu höheren Pflege- und Unterhaltungskosten für Immobilienbesitzende führen. Eine versickerungsfähige Freifläche muss gemäht, gedüngt, entlaubt, vertikutiert, bepflanzt etc., kurz, so gepflegt werden, dass ihre Funktionstüchtigkeit erhalten bleibt.

Im Vergleich zu einer versiegelten Fläche sind Aufwand und Kosten höher zu bewerten. Auch Dach- und Fassadenbegrünung benötigen eine regelmäßige Pflege und Wartung (ggf. Bewässerung, gärtnerische Pflege, Kontrollgänge, Austausch abgestorbener Pflanzen etc.). Zwar ist es auch üblich vor allem Dachflächen regelmäßig warten zu lassen, Aufwand und Kosten sollten jedoch geringer sein.

- Erhöhte Pflege- und Unterhaltungskosten entstehen vor allem in den ersten Jahren der Anwachsphase, wohingegen neue Dacheindeckungen oder Fassadensanierungen gerade dann keine Kosten verursachen.
- Gerade im Geschosswohnungsbau kann die Pflege und Wartung aufgrund der Gebäudehöhen zu höheren Kosten führen, da ggf. Gerüste, spezielle Sicherungssysteme etc. notwendig sind.
- Bei Rigolensystemen oder auch Versickerungsmulden kann es zur Verschlammung kommen, was die Funktionstüchtigkeit beeinträchtigen kann. Eine regelmäßige Prüfung und Wartung können ebenfalls zusätzliche Kosten verursachen.

Umlagefähigkeit von Betriebskosten

- Eng mit der Frage erhöhter Pflege- und Unterhaltskosten ist auf Mietmärkten die Frage der Umlage dieser Kosten auf die Mietenden verbunden. Vermietende haben die Möglichkeit auf Grundlage der Betriebskostenverordnung (BetrKV). Es konnte jedoch weder in den Interviews noch anhand der Literaturrecherche abschließend geklärt werden, welche Kosten unter welchen Bedingungen umlagefähig sind. Das Kammergericht Berlin entschied beispielsweise 2005, dass die Pflegearbeiten zur Dachbegrünung als konventionelle Instandhaltungsarbeiten einzustufen seien und damit nicht als Gartenpflege. Die Pflegekosten der Dachbegrünung stellen somit keine umlagefähigen Nebenkosten nach §§ 556 Abs. 1 BGB in Verbindung mit §§ 1, 2 BetrKV dar. Begründet wurde dies damit, dass die Maßnahmen vor allem der energetischen Verbesserung dienen und die Dachfläche in der Regel nicht von allen Mietenden (anders als ein Gemeinschaftsgarten) genutzt werden könne. Es ist zu vermuten, dass eine ähnliche Rechtsprechung auch für Fassadenbegrünungen gelten dürfte. Unklar blieb auch, ob die Bewirtschaftung von nachträglichen Maßnahmen (zum Beispiel Anlage einer Teichanlage) umlagefähig ist, wenn diese im Mietvertrag nicht explizit erwähnt wurde.

Förderkulisse

- Es gibt bereits heute eine Vielzahl von Förderprogrammen auf Landes- und Bundesebene, um Bausteine der Regenwasserabkopplung zu fördern. Die monetären Förderkonditionen wurden dabei von den Interviewten nicht als Hemmnis benannt. Benannt wurden jedoch vielmehr die zum Teil engen Zuschnitte der Förderbedingungen. Aufgrund festgelegter Förderbedingungen können mitunter nur ein Teil der Maßnahmen gefördert werden. In einigen Fällen schließt eine Förderung auch die Umsetzung anderer Maßnahmen aus, sodass Planungen an die Förderkonditionen angepasst werden müssen. Mitunter wird auch die Förderdauer als zu kurz bewertet, sodass Maßnahmen nicht in der vorgegebenen Zeit umgesetzt und abgerechnet werden können.

Nutzer-Investor-Dilemma

- Das Nutzer-Investor-Dilemma beschreibt eine Situation, bei der eine investierende Person eine Investition tätigt und das damit verbundene Risiko trägt, die Person jedoch keinen langfristigen Ertrag aus der Investition zieht, da der Nutzen anderen Personengruppen zugutekommt. Das Dilemma wurde im Kontext der energetischen Sanierung auf Mietmärkten vielfach diskutiert (Kossmann et al. 2016; Neitzel 2011).
- Ob dies im Falle der Regenwasserabkopplung der Fall ist, hängt im Wesentlichen vom Mietrecht, insbesondere von der Deutung der Modernisierungsumlage gemäß § 559 BGB, ab. Die Modernisierungsumlage besagt, dass 8 Prozent der auf die jeweilige Wohnung entfallenden Kosten der Modernisierungsmaßnah-

men auf die Miete umgelegt werden können. Als Modernisierungsmaßnahme definiert § 555 BGB unter anderem Maßnahmen, die nachhaltig Energie einsparen, die den Gebrauchswert der Mietsache erhöhen und die die allgemeinen Wohnverhältnisse dauerhaft verbessern. Allgemein treffen die genannten Effekte auf Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung zu. Die Interviewten sind sich jedoch in keinem Fall rechtlich sicher, ob die Bedingungen für die Anwendung von § 559 BGB tatsächlich gegeben seien.

- Unabhängig von der Anwendung von § 559 BGB weist März (2019: 189) darauf hin, dass in nachfrageschwachen Mietmärkten die Modernisierungsumlage formal angewendet werden kann, die jedoch unter Umständen zum Auszug der Mietenden führt, da diese dann über ein Sonderkündigungsrecht verfügen. Dadurch entstehen zusätzliche Transaktionskosten der Neuvermietung. Zudem zeigen Studien, dass insbesondere private Kleinvermietende nur sehr eingeschränkt von den Möglichkeiten der Mietanpassung in laufenden Mietverhältnissen Gebrauch machen (Henger & Voigtländer 2011: 4; März 2018: 1731ff.).

Internalisierung positiver externer Effekte

- Ähnlich wie beim Nutzer-Vermieter-Dilemma führt auch die fehlende Internalisierung positiver Effekten dazu, dass Investierende den Nutzen ihrer Investition nur teilweise selbst schöpfen können. Eine dezentrale Regenwasserabkopplung entlastet beispielsweise das städtische Abwassersystem. Es kann die Biodiversität erhöhen und sich positiv auf das Mikroklima auswirken. All diese Ökosystemdienstleistungen entstehen durch die privaten Investitionen. Der gesellschaftliche Nutzen wird jedoch nicht in der betriebswirtschaftlichen Kalkulation des Investierenden monetarisiert. Sie kommt ihm nicht zugute, obwohl dieser die Kosten trägt.

Opportunitätskosten

- Maßnahmen zur Regenwasserabkopplung sind im Bestand fast immer freiwillige Maßnahmen. Im Neubau hängt die Pflichtigkeit von landes- und lokalspezifischen Regelungen ab. Aufgrund der Freiwilligkeit konkurrieren Maßnahmen zur Regenwasserabkopplung mit einer Vielzahl anderer Maßnahmen. Als Projektentwicklung bzw. investierende Person muss folglich zwischen einem Portfolio von Handlungsalternativen entschieden werden. Eine Fassadenbegrünung lässt sich beispielsweise kaum mit einer fassadenintegrierten Photovoltaikanlage (BIPV) kombinieren. Eine Dachbegrünung kann durchaus mit einem Photovoltaikanlage kombinierbar sein und unter Umständen sogar den Wirkungsgrad der PV-Anlage verbessern. Der Anbau von Balkonen, Barrierefreiheit, Einbauküchen, Garagenhöfen, einen Spielplatz im Innenhof sind weitere Beispiele für Handlungsalternativen.
- Die Entscheidung für oder gegen eine Technologie fällt in aller Regel vor dem Hintergrund eines begrenzten Investitionsbudgets. Folglich muss abgewogen werden, welche Handlungsoptionen den größten Nutzen stiften. Hierbei können sowohl soziale, ökologische wie auch ökonomische Prioritätensetzungen erfolgen. Wie die Prioritätensetzung ausfällt, hängt von den jeweiligen investierenden/projektentwickelnden Personen ab. Aus baulichen wie auch finanziellen Gründen werden jedoch in aller Regel nie alle Handlungsoptionen umgesetzt.

Hohe Kapitalinvestitionen und unklare Refinanzierung

- Eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung ist im Vergleich zu Referenzsystemen mit zum Teil deutlich höheren Investitionskosten verbunden.
- Für die Refinanzierung stehen Investierenden verschiedene Instrumente zur Verfügung: steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten (Instandhaltungs-, Modernisierungsmaßnahmen), Förderprogramme, ggf. Mieterhöhungen gemäß der Modernisierungsumlage. Ob bzw. in welchem Umfang die Instrumente greifen,

können vor allem private Kleinvermietende oder Eigentümerinnen und Eigentümer von Eigenheimen kaum im Vorfeld vollumfänglich abschätzen.

5.3.6. Regulative Hemmnisse

Technische Regelwerke

- Ein Experte wies darauf hin, dass man bei den regulativen Hemmnissen zwischen Gesetzen und nachgelagerten Verordnungen, Richtlinien, Normen und technischen Regelwerken unterscheiden müsse. Während in Gesetzen (zum Beispiel Wasserhaushaltsgesetz) grundsätzlich richtige und wichtige Rahmenbedingungen für eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung geregelt würden, würden diese Rahmenbedingungen nicht durchgängig in den technischen Regelwerken aufgegriffen.
- Ein zentraler Grund sei laut dem Experten systemisch in der Art der Erstellung der Regelwerke zu sehen. Die Regelwerke würden häufig von Fachexperten in Gremien verschiedener Institutionen entwickelt (zum Beispiel FGSV, DWA). Die Gremienarbeit erfolge dabei häufig ehrenamtlich. Folglich seien die Zeitressourcen knapp. Dies sei ein wesentlicher Grund, warum die Erstellung und vor allem die Aktualisierung von technischen Regelwerken vergleichsweise lange dauere. Als Beispiel sei an dieser Stelle die RAST (Richtlinie zur Anlage von Stadtstraßen) genannt. Die aktuelle Fassung stammt aus dem Jahr 2006 und enthält kaum relevante Erläuterung zum Regenwassermanagement.
- Ebenso wurde die Zusammensetzung der Gremien bemängelt. Zweifelsohne seien in allen Gremien ausgewiesene Fachleute vertreten, allerdings sei die Zusammensetzung zum Teil wenig interdisziplinär.
- Der Experte wies zudem darauf hin, dass die technischen Regelwerke von Prüf- und Zulassungsbehörden meist nicht als Hilfestellung, sondern als quasi-Gesetze interpretiert würden. Dadurch sinke der Gestaltungsspielraum von Planungen.

Fehlender Rechtsrahmen für Experimente

- Ein Experte erläuterte, dass der existierende Rechtsrahmen innovative Lösungen zum Teil unterbinde. Anders als beispielsweise beim Personenbeförderungsgesetz, das explizit eine Experimentierklausel vorsieht, um neue Wege experimentell zu erproben, gebe es eine solche Flexibilität nicht im Bereich der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung.

Rechtliche Auflagen und Anforderungen

- Alle Fachleute sprechen sich für klare rechtliche Regelungen aus und begrüßen diese explizit. Gleichzeitig wird die Vielzahl an rechtlichen Auflagen bemängelt. Dies betrifft sowohl einzuhaltende Anforderungen von technischen Regelwerken, aber auch zu erstellende Gutachten (Baugrunduntersuchungen, Simulationen etc.). Dadurch erhöhten sich Bauzeiten und -kosten und systemisch würden Anreize geschaffen, etablierte Lösungen zu reproduzieren. Zudem wurde von einigen Experten darauf hingewiesen, dass bestimmte Gesetzesgrundlagen ihren Ursprung noch in den 1950er Jahren hätten und nicht mehr zeitgemäß seien.
- Genannt wurde hierbei vor allem § 54 Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Dieses definiert Regenwasser als Abwasser, sobald dieses gesammelt wird. Retentionsdächer, Versickerungsanlagen, Mulden-Rigolensystem etc. gelten demnach als Abwasseranlagen und müssen als solche errichtet und gesichert werden. Ein Experte wies diesbezüglich darauf hin, dass das der zentrale Grund dafür sei, der gegen die Planung von

multicodierten Räumen spreche, da diese, als Abwasseranlagen verstanden, durch Zäune geschützt werden müssten und damit ihre Multifunktionalität verlören.

- Ein anderes Beispiel ist das Wohneigentumsgesetz (WEG). Dach-/Fassadenbegrünungen, die Regenwassernutzung als Betriebswasser im Gebäude oder auch die Installation von Versickerungsanlagen auf dem Grundstück - alle Maßnahmen werden nach heutiger Rechtsprechung als bauliche Veränderung definiert, da sie das optische Erscheinungsbild und die bauliche Substanz der Immobilie verändern. Folglich müssen alle Mitglieder der Wohneigentümergeinschaft einer solchen Maßnahmen zustimmen.
- Rechtliche Auflagen und Anforderungen sind eng mit Versicherungs- und Haftungsfragen verbunden. Versickerungsmulden werden daher häufig nicht tiefer als 30 cm errichtet, um die Gefahr des Ertrinkens abzusichern.

Bestandsschutz

- Bestandsschutz ist ein wichtiges Element der Rechtssicherheit. Es besagt, dass Rechtsverhältnisse, die bereits vor einer verschärfenden gesetzlichen oder vertraglichen Neuregelung bestanden haben, auch dann unverändert bestehen bleiben, wenn sie in der geänderten Gesetzeslage nicht mehr vorgesehen sind und nicht mehr neu abgeschlossen werden können. Für das Thema Regenwasserabkopplung besteht daher die Herausforderung, dass Bestandsgebäude in der Regel eine Einleitungserlaubnis von Niederschlagswasser in die Kanalisation besitzen. Es besteht folglich keine rechtliche Grundlage, eine Regenwasserabkopplung einzufordern.

5.3.7. Baulich-technische Hemmnisse

Bodenbeschaffenheit und Baugrundrisiken

- Die Bodenbeschaffenheit kann unter Umständen die Versickerung von Niederschlagswasser erschweren bzw. verhindern. Hierzu zählt beispielsweise die grundsätzliche Versickerungsfähigkeit des Bodens in Abhängigkeit von Bodenart und -typ. Gerade Staunässe kann sich negativ auf die Pflanzenvitalität auswirken. Kann Niederschlagswasser nicht bzw. nicht in ausreichender Geschwindigkeit versickern, kann der Boden unter Umständen ausgetauscht werden. Hierdurch entstehen jedoch zusätzliche Kosten.
- Ebenso muss ein gewisser Mindestabstand zwischen der Sohle einer Versickerungsanlage und dem Grundwasserspiegel vorhanden sein, damit eine Versickerung ohne Beeinträchtigung des Grundwassers möglich ist.
- Topographische Gegebenheiten können ebenfalls die Versickerung erschweren. Ungünstige Hang-/Geländelagen können beispielsweise zur Bodenerosion beitragen, sodass sich Schlämme in Versickerungssystemen akkumulieren und die Funktionsfähigkeit dieser negativ beeinträchtigen.
- Einzelne Interviewte wiesen zudem darauf hin, dass sich Spurenstoffe (zum Beispiel Reifenabrieb, Schwermetalle) durch die Versickerung im Boden akkumulieren können. Eine Interviewpartnerin merkte zudem die Herausforderung des Einsatzes von recycelten Materialien im Straßenbau und bei Gebäudeneubauten bzw. -sanierungen an. Diese müssten intensiv beobachtet werden. Hier könne es unter Umständen zu Auswaschungen kommen, sodass „neue“ Materialien in Versickerungssysteme gelangen könnten, die deren Funktionalität negativ beeinflussen könnten.

- Die Beschaffenheit des Bodens muss unter Umständen durch Boden- und Baugrundgutachten geprüft bzw. nachgewiesen werden, was zu zusätzlichen Kosten führt.

Gebäudesubstanz

- Die Gebäudesubstanz kann unter Umständen ein Hemmnis für die Installation von Dach- und Fassadenbegrünungen sein. So können statische Gründe gegen eine Dachbegrünung sprechen.
- Ebenso kann es sein, dass spezielle Dach- oder Fassadenformen einer Gebäudebegrünung entgegenstehen. Hierbei handelt es sich jedoch eher um eine ökonomische und städtebauliche Abwägung. So können sich beispielsweise Investierende gegen Fassadenbegrünungen entscheiden, wenn hierdurch Stuckfassaden verdeckt werden würden.
- Ähnlich wie bei verschiedenen energetischen Sanierungsmaßnahmen greift auch bei Gebäudebegrünungsmaßnahmen das Kopplungsprinzip. Dach- und Fassadenbegrünungen sollten vor allem dann installiert werden, wenn ohnehin Baumaßnahmen an den Gewerken anstehen, um Kostensynergien zu nutzen. Da die Erneuerungszyklen dieser Bauteile jedoch häufig mehrere Jahrzehnte betragen, kann dies dazu führen, dass Begrünungsmaßnahmen in die Zukunft verschoben werden, bis die Bauteile ohnehin saniert werden müssen. Ähnliches gilt bei der Installation von Infrastrukturen zur Regenwassernutzung als Betriebswasser im Gebäude. Ein durchgehendes Leitungsnetz kann vor allem dann installiert werden, wenn ohnehin eine Sanierung des Treppenhauses, von Wasserleitungen, Kabel-/Kanalschächten ansteht.
- Gerade in dicht bebauten Baublöcken kann es zur Verschattung von Dach- und Fassadenbegrünungen kommen, die das Pflanzenwachstum bzw. die Pflanzenauswahl beeinträchtigen.

Altlasten

- Mitunter sind Böden durch Altlasten, zum Beispiel bei (ehemaligen) Industrie- und Gewerbestandorten, belastet. Dies kann eine Versickerung des Niederschlagswassers unmöglich machen bzw. bedingt den Austausch des Bodens, was jedoch mit enormen Kosten verbunden ist.
- Ebenso können angeschlossene Flächen (zum Beispiel Zinkdächer, befahrene Straßen) zu einer hohen stofflichen Belastung des Niederschlagswassers führen und so einer Versickerung entgegenstehen.

Vegetationseignung

- Nur eine eingeschränkte Auswahl von Rasen, Gräsern, Stauden, Sträuchern und Bäumen eignet sich zur Bepflanzung von Versickerungsmulden, da die Pflanzen sowohl Staunässe als auch längere Trockenperioden verkraften müssen. Zudem ist es bei angeschlossenen Rigolensystemen wichtig, dass die Wurzelwerke nicht in die Rigolen hineinwachsen und damit deren Funktionalität negativ beeinträchtigen. Auch Lichtverhältnisse spielen eine Rolle. Dies kann hemmend für Investierende wirken, weil unter Umständen ungewohnte Pflanzen genutzt werden müssen.

Lebensdauer der Anlagen

- Die Lebensdauer von Gebäudebegrünungen und Versickerungssystemen ist tendenziell geringer als die von Referenzsystemen. Zudem ist der Pflegeaufwand höher, um die Lebensdauer zu erreichen.

5.4. Spezifische Handlungsempfehlungen und ihre Anwendung im Raum: Akzeptanzsteigerung und Umsetzung innovativer Technologiesysteme

Im Folgenden werden ausgehend von der Akzeptanz- und Hemmnisanalyse für die Abwasserwärmerückgewinnung aus dem Kanalleitungsnetz und der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung sowie dem durchgeführten Online-Workshop vom 05.09.2023 Umsetzungshinweise für die Testentwürfe bzw. für die Implementierung innovativer Technologiesysteme abgeleitet.

Bestandsanalyse – lokale baulich-technische Rahmenbedingungen kennen und berücksichtigen

Sowohl in der Bestandsentwicklung in Kall als auch im Neubau im Glasmacherviertel gilt es, die lokalen Rahmenbedingungen zu kennen, um geeignete innovative Technologiesysteme auszuwählen, sie baulich-technisch sinnvoll einzusetzen und zu dimensionieren und um sie wirtschaftlich betreiben zu können.

Für eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung sind beispielsweise die Statik der Dächer in den Bestandsgebäuden in Kall, die Tiefe des Grundwasserspiegels oder die Bodenbeschaffungen relevant. Sofern Informationen vorliegen, sollten sie in die Testentwürfe einfließen, zumindest sollte darauf hingewiesen werden, dass diese Aspekte noch zu prüfen sind. Auch die heutige und zukünftige Niederschlagsverteilung ist eine relevante Rahmenbedingungen für ein Regenwasser-/Entwässerungskonzept. Im Glasmacherviertel dürfte der Flächendruck auf die Neubaufläche hoch sein. Entsprechend gilt es flächensparsame Systeme für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung zu verwenden. Mulden-Rigolen-Systeme oder Retentionsdächer gelten als flächensparsame Systeme und sollten bevorzugt genutzt werden.

Für die Abwasserwärmenutzung bedarf es genauer Informationen zum Kanalnetz. Da weder Düsseldorf noch Kall über einen öffentlich zugänglichen Abwasserwärmepotenzialatlas verfügen, gilt es Daten zu erfassen bzw. zu simulieren. Hierzu gehören zum Beispiel der Trockenwetterabfluss, die Distanz der Quartiere zum Kanal, der potenziell für den Einbau eines Wärmetauschers in Frage kommt, der Nenndurchmesser des Kanals sowie dessen Alter, um ggf. Synergien mit dessen Erneuerung zu heben. Im Berliner Abwasserwärmeatlas werden Durchflussmengen und Temperaturen zunächst simuliert und erst zu einem späteren Zeitpunkt im Projekt durch reale Messungen validiert. Für die vorläufige Anlagenauslegung wurde im Rahmen der Interviews signalisiert, dass Anlagenbetreiber basierend auf den ermittelten Kennwerten vor Ort erste Vorplanungen entwickeln. Hierdurch wird die Kostenschätzung verfeinert. Bei Unklarheiten im Umgang mit der systematischen Datenverfügbarkeit zum Thema Abwasserwärmenutzung wäre es möglich, die Informationen zu den baulich-technischen Randbedingungen bei Kanalleitungsnetzbetreibern anzufragen.

Akteursanalyse – Lokales und fachliches Know-How frühzeitig und transparent einbinden

Der Einsatz innovativer Technologiesysteme ist mehr als ein technologischer Innovationsprozess, bei dem Technologie A durch B ersetzt wird. Vielmehr sind dabei Akteurinnen und Akteure auf unterschiedlichen Ebenen eingebunden und betroffen, die es gilt im Prozess mitzunehmen.

Bei der Bestandsentwicklung heißt das beispielsweise, dass Maßnahmen für Mietende bzw. Nutzende oder auch ortsansässige Betrieben kommunikativ begleitet werden müssen. Sanierungsbedingte Einschränkungen (Staub, Dreck, Lärm) sollten erläutern werden. Es ist wichtig die Notwendigkeit der Maßnahmen und die individuellen Mehrwerte zu erläutern, um eine hohe Akzeptanz zu erzielen. Diese Akteurinnen und Akteure sind gleichzeitig Fachleute für die lokalen Rahmenbedingungen vor Ort. Durch deren aktive Einbindung in den Planungsprozess können nicht nur lokale Spezifika (räumlich, planungsrechtlich, lokale Handlungslogiken und -routinen) in die Konzepte eingebunden werden. Ebenso erhöht sich die Akzeptanz und Identifikation des Projektes.

Der Erfahrungsaustausch (zum Beispiel runde Tische, Exkursionen, Tagungen) zwischen Kommunen und relevanten kommunalen Agierenden wurde im Zuge der Interviews als relevantes Instrument erachtet, um Vorbehalte gegenüber der Technologie, Informationsdefizite und insbesondere mangelndes Erfahrungswissen zu überwinden. Explizit wurde darauf hingewiesen, dass Erfahrungen eines Kanalnetzbetreibers von besonderem Wert für andere Betreiber von Abwassersammlern sein könnten, um glaubwürdig darzustellen, dass Installation und Betrieb eines Wärmetauschers mit keinen / wenigen bzw. handhabbaren Herausforderungen einhergehen. Auch Implikationen auf den Betrieb von Kläranlagen erscheinen erst ab einer größeren Anzahl von Abwasserwärmetauschern im Kanalnetz an Bedeutung zu gewinnen. Ein Erfahrungsaustausch könnte dazu beitragen, diese Vorbehalte zu überwinden.

Durch einen systematischen Austausch können Kanalnetzbetreibende und andere involvierte Agierende (zum Beispiel Anlagenbetreibende) Lerneffekte erzielen und so einfacher Projekte initiieren. Gleiches gilt auch für andere Technologiesysteme.

Planungsprozesse optimieren – Integrierte und ganzheitliche Planungspraxis etablieren

Damit innovative Technologiesysteme effektiv und effizient funktionieren, gilt es, diese in ihrer Gesamtheit und in Wechselwirkungen zu anderen Bereich zu betrachten und entsprechend integrierte Planungen zu entwickeln.

Eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung benötigt eine integrierte Betrachtung von Lösungen am Gebäude sowie an den zur Verfügung stehenden Freiflächen. Wenn beispielsweise durch Retentionsdächer oder eine intensive Dachbegrünung mehr Regenwasser direkt am Gebäude bewirtschaftet wird, sinkt der Flächenbedarf an den Freiflächen. Gleichzeitig können dadurch andere Nutzungen der Dachflächen (Photovoltaik, Dachterrassen etc.) unter Umständen eingeschränkt werden. Es ist zudem darauf zu achten, dass sich die Niederschlagsverteilung im Zuge des Klimawandels verändern wird. Es wird auf der einen Seite längere Trockenperioden im Sommer geben. Hier ist darauf zu achten, dass die Bepflanzung ausreichend Wasser erhält und nicht abstirbt. Gleichzeitig werden Starkniederschlagsereignisse zunehmen, sodass Notüberläufe oder die temporäre Überflutung von Flächen mitgedacht werden müssen. Im Glasmacherviertel ist insbesondere auf die Rolle der geplanten Tiefgarage einzugehen. Bei der Abwasserwärmenutzung haben Eingriffe in den Abfluss Implikationen für die Verkehrsflüsse, ggf. bis hin zur Kläranlage.

Eine integrierte Planung sollte zudem nicht nur die Investitions-, sondern auch die Nutzungs-/Bewirtschaftungsphase berücksichtigen. Zum einen benötigen neuartige Technologiesysteme häufig in den ersten Jahren eine intensivere Betreuung, ggf. muss auch nachjustiert werden, um die Funktionalität zu optimieren. Es bedeutet aber auch, die Folgekosten der Bewirtschaftung bzw. des Betriebs im Blick zu behalten. Eine solche integrierte Betrachtung stellt auch neue Anforderungen an Planungs- und Ingenieurbüros, Prüfbehörden sowie an Kommunalverwaltungen. Pilotprojekte können einen Experimentierraum für ein verbessertes interdisziplinäres Arbeiten und Denken darstellen. Kommunalverwaltungen sollten ihre Prozesse zu Antragsprüfung mit Blick auf eine integrierte Planung vielfach anpassen. Wichtig ist hierbei, Pilotprojekte als lernenden Prozess zu verstehen und zu dokumentieren, damit sich daraus Erfahrungswissen und veränderte verwaltungsinterne Abläufe ableiten lassen. Dort, wo Kommunalverwaltungen eigene Stadtumbauprojekte initiieren, gilt es verwaltungsinterne Strukturen zu schaffen, die die heute noch weitverbreiteten sektoralen und wenig ressortübergreifenden Arbeitsweisen überwinden.

Schließlich bedeutet eine integrierte Planung nicht nur das hier und jetzt, sondern auch die zukünftigen Bedarfe und Veränderungen zu antizipieren bzw. flexible Strukturen zu schaffen, die einfache Anpassungen ermöglichen. Die Systeme müssen so aufgestellt sein, dass sie auch in sich verändernden urbanen Strukturen verlässlich funktionieren.

Bau- und Sanierungskosten – Investitions- und Betriebskosten für Investierende und Nutzende im Blick behalten

In den letzten Jahren sind die Bau- und Sanierungskosten deutlich gestiegen, sodass Neubauten, aber auch umfangreiche Sanierungsarbeiten, von Projektentwickelnden und der Wohnungswirtschaft zum Teil nicht umgesetzt bzw. in die Zukunft verschoben worden. Gerade an den Wohnungsbestand werden hohe technische Anforderungen von der Barrierefreiheit, dem Brandschutz, der Energieeffizienz bis hin zur Klimafolgenanpassung oder seiner städtebaulichen Wirkung gestellt. Gleichzeitig soll der Wohnraum für alle bezahlbar sein und bleiben. Vor diesem Hintergrund gilt es bei der Auswahl möglicher Technologiesysteme die Kosten für Investierende sowie die damit verbundenen Miet- und Betriebskosten im Blick zu behalten. In die Betrachtung der Investitionskosten sollten dabei stets mögliche Fördermittel einfließen. Aktuell ermöglicht die Bundesförderung energieeffiziente Wärmenetze (BEW), beispielsweise die Förderung von Abwasserwärmekonzepten. Aber auch über das Land NRW und die Förderlinie progres.nrw können Mittel beantragt werden, für „Anlagen zur Nutzung von Wärme oder Kälte, die aus technischen Prozessen, baulichen Anlagen oder Ver- und Entsorgungsleitungen, wie zum Beispiel der öffentlichen Wasserversorgung oder Abwasserentsorgung, stammt und die ansonsten ungenutzt an die Umwelt abgeführt werden müsste“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2024).

Die gegenüber klassischen Lösungen häufig höheren Investitionskosten können ein Hemmnis für Investierende sein. Hier gilt es jedoch, auch den Mehrwert (bessere Vermietbarkeit, bessere Wohnqualität etc.) zu betonen. Für die Investierenden muss ein Nutzen für ihren individuellen Einsatz und Aufwand (Finanzierung, Planung und Betreuung der Anlagen) ersichtlich sein.

Gelegenheitsfenster erkennen und flexibel sein

Die Testentwürfe stellen ein Zielbild dar. Gerade bei der Bestandsentwicklung in Kall ist davon auszugehen, dass nicht alle Maßnahmen direkt umgesetzt werden, um Stranded Investments zu vermeiden. Wer beispielsweise gerade sein Dach saniert hat, wird zeitnah keine zusätzliche Dachbegrünung installieren. Vor diesem Hintergrund sollten die Testentwürfe so konzipiert werden, dass die Bausteine auch für sich funktionieren. Gelegenheitsfenster können sich auch durch landes- oder bundespolitische Rahmensetzungen ergeben. Die kommunale Wärmeplanung ist eine solche Rahmenbedingung. Hieraus ergibt sich für Kommunen wie Düsseldorf oder Kall nicht die Anforderungen einer Strategieentwicklung für eine klimaneutrale Wärmeversorgung, sie bietet gleichzeitig die Chance, Infrastrukturen mit entsprechenden Förderprogrammen zu entwickeln.

6. Räumliche Synthese

Die inhaltlichen Ergebnisse der Forschungsarbeiten zur Nutzungsmischung (siehe Kapitel 3), gekoppelten urbanen Wasserkreisläufen und Technologiesystemen (siehe Kapitel 4) und zur Akzeptanz- und Hemmnisforschung (siehe Kapitel 5) werden in den in Kapitel 2 vorgestellten Fallstudienräumen Glasmacherviertel (Düsseldorf, Großstadt) und Kall (Kleinstadt) räumlich synthetisiert. In beiden Gebieten wird dabei ein ausgewählter Fokusraum auf dem Umfang eines Baublocks betrachtet.

Dabei entsteht in beiden Fallstudienräumen eine städtebauliche Struktur mit dem Fokus auf eine spezifische Nutzungsmischung, indem die erarbeiteten Technologien in Form von gekoppelten Systemen (Wasser- und Wärmeströme) raumbezogen integriert werden. Das Gesamtkonzept aus Städtebau und Technologien wird anhand der rechtlichen Rahmenbedingungen beider Gebiete entwickelt. Zur Realisierbarkeit der angestrebten Maßnahmen werden baurechtliche Einschätzungen und Empfehlungen ausgesprochen.

Die folgend in Kapitel 6.2. und 6.3. erläuterten Konzepte zeichnen das finale Ergebnis des Entwurfsprozesses ab und sind parallel und rückkoppelnd mit den Forschungsergebnissen aus den Kapitel 3, 4 und 5 entstanden.

6.1. Städtebauliches Ziel der Testplanungen

Das Ziel der Testplanungen in beiden Fallstudienräumen ist die Erarbeitung eines integrierten städtebaulichen Konzeptes aus städtebaulichen Strukturen, Nutzungen und technischen Systemen. Dabei steht die Ressourceneffizienz durch die Kopplung von Wasserströmen und die damit einhergehende empfohlene Nutzungsmischung im Fokus. Die dafür relevanten ergänzend geplanten als auch bestehenden gewerblichen Nutzungen sind maßgeblicher Teil der integrierten Konzepte.

Die städtebaulichen Strukturen der Baukörper als auch der Freiraum werden so entworfen, dass sie optimal auf den Austausch und Umgang mit dem Medium Wasser ausgelegt sind. In den Gebäuden zeigt sich dies zum Beispiel durch ausreichend dimensionierte Flächen für die Gebäudetechnik notwendiger technischer Anlagen aus dem Technologiekonzept. Die unversiegelten Flächen im Freiraum sind ergänzend mit den Gründächern in beiden Gebieten so ausgelegt, dass sie das auf dem Grundstück anfallende Niederschlagswasser vollständig aufnehmen und für die Weiterverwendung bereitstellen können. Über die Ressourcenkopplung hinaus integrierten die Entwürfe weitergehend im ganzheitlichen Sinne auch ein diverses Wohnraumangebot, zukunfts-fähige Mobilitätslösungen und qualitative Aufenthaltsangebote im Freiraum. Diese übergeordneten Leitziele werden in beiden Fallstudien raumspezifisch angewandt und entsprechend modifiziert (siehe Kapitel 6.2.1. und 6.3.1).

6.2. Gesamtkonzept im Bestand: Kall

6.2.1. Städtebauliches Konzept und Szenario Kall

Das städtebauliche Konzept für das Bestandsareal in Kall ist stark von der bestehenden baulichen Struktur geprägt. Der Bestand enthält heute Wohnnutzungen und gewerbliche bzw. gemeinnützige Nutzungen. Der Entwurf für das Plangebiet Kall sieht einen Gewerbestandort mit hohem Handwerksanteil vor, der im Neubau mit Wohnnutzungen ergänzt wird. Die anvisierte Nutzungsmischung sieht vor, die Erdgeschosse und zum Teil auch das erste Obergeschoss durch Gewerbe und Handwerk zu belegen. Dafür wird eine Geschosshöhe von mind. 4,5 m Höhe im Erdgeschoss und bis zu 3,5 m im ersten Obergeschoss vorgesehen. Die bestehenden Gewerbe (Tapetengeschäft, Fahrradgeschäft und GaLa Bau-Betrieb und die gemeinnützige Kinder- und Jugendhilfe) sollen an ihrem Standort erhalten bleiben. Das Tapetengeschäft bleibt dabei unberührt, das Fahrradge-

schäft wird in einem Neubau untergebracht, die Fuhrbetriebe neu integriert. Für den GaLa Bau Betrieb wurde eine Ersatzhalle vorgesehen, um eine städtebauliche und mit ihr eine funktionale Neuordnung des Gebiets zu ermöglichen. Somit entstehen auf dem Areal sieben Neubauten, die die vier Bestandsgebäude ergänzen. Die Wohnflächen sind vor allem für Auszubildende vorgesehen, da hierfür aus dem direkten Umfeld in Kall als auch über die Gemeinde hinaus durch die zentrale Lage am Bahnhof Kall für diese Zielgruppe ein Bedarf vorliegt. Das Areal verfügt über einige Konflikte und Belastungen, die das städtebauliche Gefüge beeinflussen. Obwohl dies im Bestand vorhanden ist, wird im Entwurf von einer Wohnnutzung im Erdgeschoss an der Straße abgesehen. Die Wohnnutzung wird überwiegend hofseits zum Berg orientiert und erhält hiermit eine ruhige Seite. Die Zonierung des östlichen Bereichs des Areals entsteht durch die Bestandsgebäude. Im Norden wird ein ruhiger Wohnhof entwickelt, der nach Außen im Erdgeschoss eine puffernde gewerbliche Nutzung besitzt. Der südliche Bereich ist durch produktive Hofstrukturen geprägt, die neben Ökosystemdienstleistungen auch Flächen für Lagerung und Arbeiten zur Verfügung stellen. Zufahrten gewährleisten im Norden und im Süden die An- und Ablieferung von Material und Produkten. Die kleineren Gebäude im Hof reagieren auf die engen räumlichen Verhältnisse, die hohen Gebäude entlang der Straße wirken abschirmend gegen Lärm.

Abbildung 21: Atmosphärische Perspektive Kall



Abbildung 22: Szenarioplan Kall (ohne Maßstab)



Abbildung 23: Funktionsschema Gesamtkonzept Kall (ohne Maßstab)

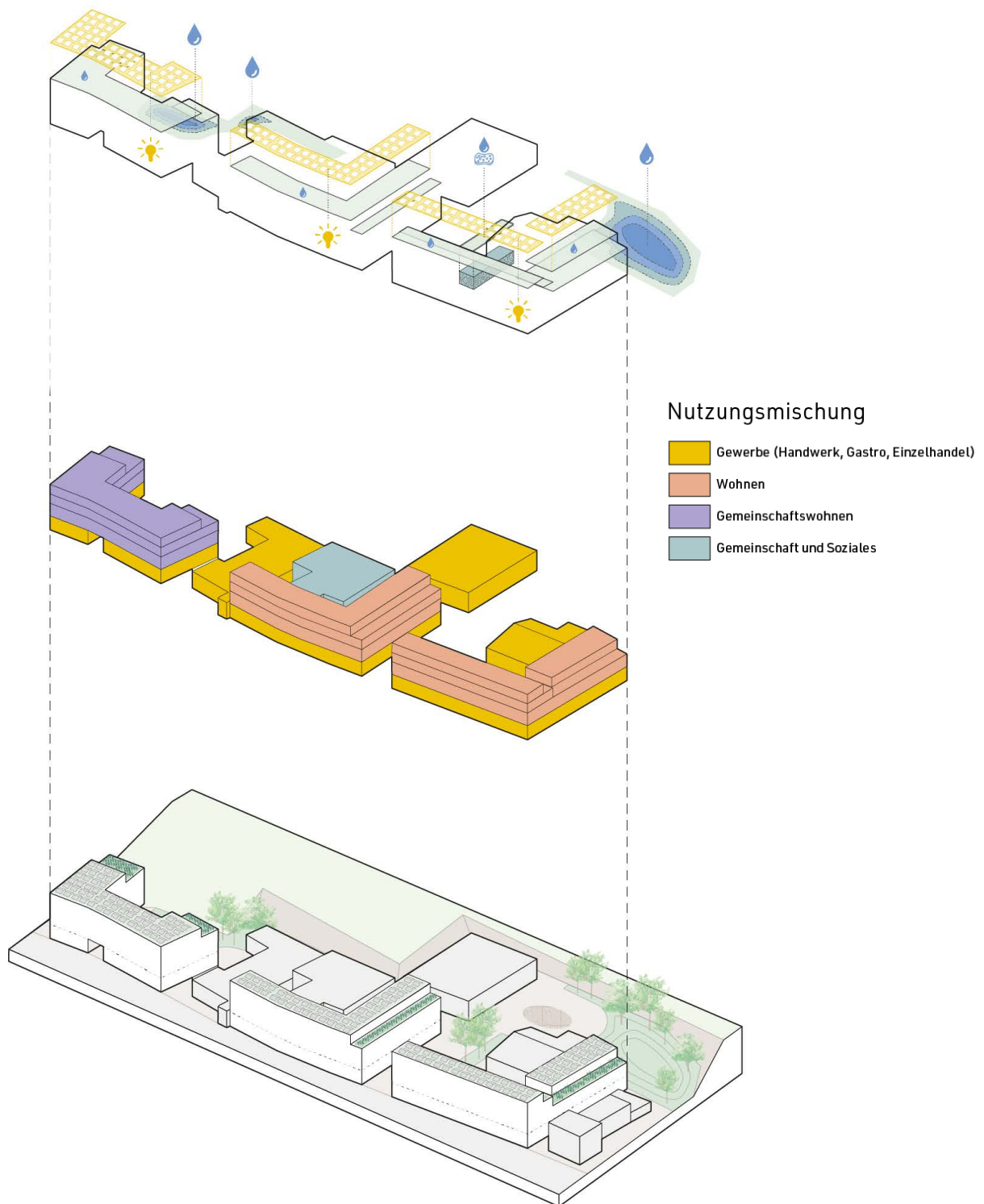
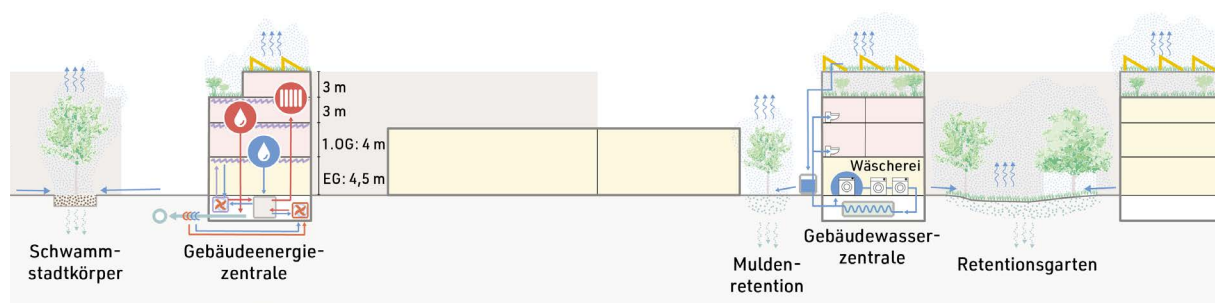


Abbildung 24: Funktionsschnitt Kall (ohne Maßstab)



6.2.2. Technologie-Konzept Kall

Für das Fokusgebiet in Kall wurden die Funktionstypen 0 (Raumwärme) und 3 (Prozesswärme und Brauchwasser) und entsprechend die geplanten Nutzungen im städtebaulichen Konzept identifiziert. Auf der Basis dieser Funktionstypen wurde ein Energie- und Wasserkonzept entworfen, welches entsprechend resilient gegenüber Nutzungsänderungen ist. Nach der Festlegung des städtebaulichen Konzeptes wurden die technologischen Systeme weiter verfeinert, dimensioniert und an die geplanten Nutzungen angepasst. Dieses Vorgehen entspricht dem Research-by-Design Konzept, welches in Kapitel 2.3. vorgestellt wurde. Für die Wärme wurde die Abwärmenutzung aus der Raumwärme und die Abwasserwärmenutzung fokussiert. Bei der Abwärmenutzung der Raumwärme standen die Gewerke im Fokus, welche durch ihre Tätigkeiten viel Abwärme erzeugen. Die Abwärme kann aufgrund fehlender geeigneter Technologien nicht direkt am Entstehungsort, in diesem Fall zum Beispiel Öfen oder andere abwärmeemittierende Anlagen, zurückgewonnen werden. Da die Abwärme an die Umgebungsluft abgegeben wird, können über die Nutzung der Raumwärme die Synergieeffekte aus dem Bereich des produzierenden Gewerbes und des Wohnens dennoch genutzt werden. In Kall stehen insbesondere die Bäckerei und der Orthopädietechniker im Fokus, da diese durch ihre Produktion mit Hilfe von Öfen abwärmeintensiv sind. Für die Nutzung der Technologie Abwasserwärmenutzung werden die Abwässer des Wohnens und der Gewerke genutzt. Dort kommt der Wäscherei eine hohe Bedeutung zu, da diese über hohe Mengen an warmem Abwasser verfügt. Dieses Abwasser beziehungsweise Grauwasser kann gleichzeitig im Kreislauf geführt werden und der Wäscherei sowie dem Wohnen als aufbereitetes Brauchwasser zur Verfügung stehen. Neben dem Grauwasser wird in Kall auch das Regenwasser der Dachflächen für Grauwasseranwendungen verwendet. Das Regenwasser, welches auf freien Flächen anfällt, wird versickert. Wichtig zu erwähnen ist, dass im Sinne des Baukastenprinzips der technologischen Systeme die Technologien austauschbar sind und sich nicht auf die gewählten Technologien im Fokusbereich beschränken. Denkbar wäre hier beispielsweise die Integration einer Holzheizung, welche aus Betriebsabfällen betrieben wird (siehe Steckbrief im Anhang Anlage 3). Von dieser wurden in diesem Testgebiet jedoch abgesehen, da in dem städtebaulichen Entwurf keine holzverarbeitenden Betriebe eingeplant wurden.

Die Technologiesysteme wurden sowohl projektintern als auch in drei Expertengesprächen verifiziert. Im Rahmen eines Stakeholder-Workshops am 11.03.2024 wurde das Technologiekonzept Fachleuten vorgestellt, um Feedback einzuholen, welches im Anschluss eingearbeitet wurde. Zur weiteren Verifizierung wurden die Ergebnisse auf den 26. Projekttagen der Bauforschung der Zukunft Bau Forschungsförderung am 13.03.2024 präsentiert und Inputs aus den Rückfragen aufgenommen.

Die genaue technische Auslegung des Energie- und Wasserkonzept in Kall erfolgt in den folgenden Kapiteln 6.2.2.1 und 6.2.2.2.

Tabelle 11: Kall - Übersicht der Eingangsdaten für das Energiekonzept

Nutzung	Fläche	Raumwärme	Trinkwarmwasser	Wärme	Klimatisierung	Prozesskälte	Kälte	Nutzerstrom	Strom
	[m ²]	kWh/m ² /Jahr	kWh/m ² /Jahr	MWh/Jahr	kWh/m ² /Jahr	kWh/m ² /Jahr	MWh/Jahr	kWh/m ² /Jahr	MWh/Jahr
Wohnen	4368	24	21	197	14	0	61	22	96
Handwerk/ Gewerbe	6.146	974	227	422	443	154	199	1.454	421
Summe	10.514	998	248	618	457	154	260	1.476	517

6.2.2.1. Energiekonzept Kall

Für das Fokusgebiet in Kall wurden entsprechend des städtebaulichen Konzepts aus Kap. 6.2.1 die Eingangsdaten wie Nutzungstypen (Handwerk/sonst. Gewerbe, Wohnen, Büro, etc.) in das System übernommen und die entsprechenden Energiebedarfe eingefügt und angepasst. Die Zusammenfassung dessen ist der Tabelle 11 zu entnehmen.

Da die Eingangsdaten der Handwerke und sonstigen Gewerbe individuell betrachtet wurden, sind in Tabelle 12 die einzelnen Eingangswerte der Handwerke und sonstigen Gewerbe individuell beziffert. Die verwendeten Energiebedarfe sind größtenteils Vorgabe des Tools nPro, welches gemittelte Kennzahlen je Gebäudeart und -nutzung verwendet. Lediglich für energieintensive Nutzungen bzw. Handwerke wurden Annahmen getroffen, wie beispielsweise für den Stromverbrauch der Wäscherei sowie des Orthopädietechnikers.

Der summierte Energiebedarf pro Jahr beträgt laut Tabelle 11 für Wärme 618 MWh, für Kälte 260 MWh und Strom 517 MWh. Den folgenden Tabellen sind die Energiebeträge zu entnehmen, die beispielsweise durch Wärmerückgewinnung durch Lüftung, im Gebäude beziehungsweise zwischen den Gebäuden gewonnen werden können. Somit reduzieren sich die Energiebeträge, die durch die Energiezentrale erzeugt werden müssen.

Hinsichtlich der Wärme reduzieren die installierten Lüftungsanlagen den Wärmebedarf in diesem Fallgebiet um 63 MWh, die installierten Heizstäbe mindern den Bedarf um etwa 15 MWh. Durch die Verwendung von Wasser-Wasser-Wärmepumpen, die das Wärmenetz als Energiequelle nutzen, wird ein Teil des Wärmebedarfs durch den Strom der Wärmepumpen abgedeckt. Dies führt zu einer Reduzierung der Wärmemenge, die von den Gebäuden über das Wärmenetz bezogen werden muss, um 149 MWh. Die simultanen Wärme- und Kälteanforderungen in Gebäuden können teilweise durch Wärmerückgewinnung ausgeglichen werden: Die Abwärme, die bei der Kälteerzeugung entsteht, kann am Verdampfer der Wärmepumpe genutzt werden, um den Bedarf an Wärme und Kälte des Gebäudes aus dem Wärmenetz zu reduzieren. Die Reduzierung beträgt in diesem Fall sowohl für den Wärme- als auch für den Kältebedarf jeweils 50 MWh. Durch die Wärmerückgewinnung zwischen den Gebäuden können 16 MWh des Bedarfs gedeckt werden. Wenn mindestens ein Gebäude zu einem bestimmten Zeitpunkt Wärme in das kalte Nahwärmenetz einspeist und mindestens ein anderes Gebäude Wärme aus dem Netz bezieht, findet ein Ausgleich zwischen den Gebäuden statt. Bei einem idealen Ausgleich sind die eingespeisten und bezogenen Wärmemengen über alle Gebäude hinweg gleich groß. In diesem Szenario würde kein Wärmestrom durch die Energiezentrale fließen, und das Quartier wäre thermisch komplett ausgeglichen. Diese ideale Situation tritt jedoch nur selten im Laufe des Jahres auf. Üblicherweise wird nur ein Teil der Wärme- oder Kältebedarfe im Quartier direkt ausgeglichen, während der Rest von der Energiezentrale bereitgestellt werden muss. Wärmegewinne bezeichnen die Wärmeeinträge aus dem Erdboden in das Wärmenetz, die dazu führen, dass der Wärmebedarf an der Energiezentrale reduziert wird, in diesem Fall um 60 MWh. Wärmeverluste treten auf, wenn Wärme vom Wärmenetz in den Erdboden fließt, was dazu führt, dass sich der Wärmebedarf an der Energiezentrale hier um 10 MWh erhöht. Der Kältebedarf

Tabelle 12: Kall - Energetische Eingangsdaten der Handwerke/ Gewerke

Nutzung	Fläche	Raum- wärme	Trink- warm- wasser	Wärme	Klimati- sierung	Prozess- kälte	Kälte	Nutzer- strom	Strom
	[m ²]	kWh/m ² / Jahr	kWh/m ² / Jahr	MWh/Jahr	kWh/m ² / Jahr	kWh/m ² / Jahr	MWh/Jahr	kWh/m ² / Jahr	MWh/Jahr
Werkstatt Fahrradgeschäft (Bestand)	719	50	8	41,7	32	14	33,1	40	28,8
Lebensmittel- manufaktur (Neubau)	700	71	50	85	14	0	9,8	128	89,6
Bäckerei (Neubau)	97	71	23	9,1	11	0	1,1	98	9,5
Gewerbe unbe- nannt F0 (Büros) (Neubau)	447	61	8	30,8	32	14	20,6	40	17,9
Fahrradgeschäft + Lager + Büro (Neubau)	426	61	8	29,4	32	14	19,6	40	17,0
Wohnen (Neubau)	4.368	24	21	197	14		61,2	22	96,1
Malerei- und Lackierbetrieb (Neubau)	144	61	8	9,9	32	14	6,6	40	5,8
Estrichlegung (Neubau)	120	61	8	8,3	32	14	5,5	40	4,8
Klempnerei- betrieb (Neubau)	115	61	8	7,9	32	14	5,3	40	4,6
Wäscherei (Neubau)	219	61	8	15,1	32	14	10,1	300	65,7
Orthopädietch- niker (Neubau)	119	61	8	8,2	32	14	5,5	300	35,7
Imbiss (Neubau)	50	71	50	6	14	0	0,7	128	6,4
Ausstellung Keramik (Neubau)	50	61	8	3,5	32	14	2,3	40	2,0
Ausstellung GaLaBau (Neubau)	100	61	8	6,9	32	14	4,6	40	4,0
Keramik (Neubau)	264	61	8	18,2	32	14	12,1	100	26,4
GaLaBau Halle (Bestand)	1710	40	8	82	20	0	34,2	40	68,4
GaLaBau (Neubau)	866	61	8	60	32	0	27,7	40	34,6

Tabelle 13: Kall - Berechnung des Wärmebedarfs

	Jahresenergie	Maximalleistung
Raumwärme	444 MWh	747 kW
Trinkwarmwasser	174 MWh	43 kW
Gesamt	618 MWh	776 kW
Wärmerückgewinnung (Lüftung)	– 63 MWh	
Wärmeerzeugung der Heizstäbe	– 15,3 MWh	
Stromeinsatz für Netz-Wärmepumpen	– 149 MWh	
Wärmerückgewinnung (in Gebäuden)	– 49,9 MWh	
Wärmebezug aus Wärmenetz	341 MWh	192 kW
Wärmerückgewinnung (zwischen Gebäuden)	– 16 MWh	
Wärmegewinne	– 60 MWh	
Wärmeverluste	+ 10 MWh	
Wärmeeinspeisung an Energiezentrale	275 MWh	

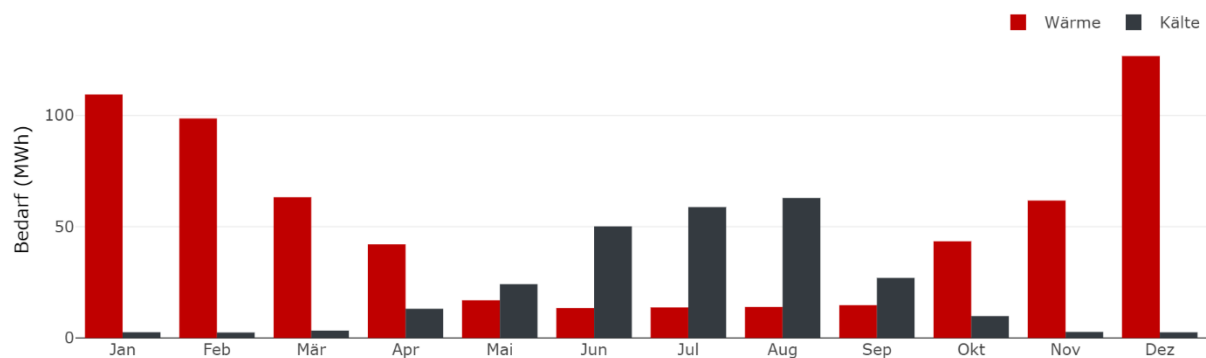
Tabelle 14: Kall - Berechnung des Kältebedarfs

	Jahresenergie	Maximalleistung
Klimatisierung	222 MWh	578 kW
Prozesskälte	38,1 MWh	7,7 kW
Gesamt	260 MWh	585 kW
Wärmerückgewinnung (in Gebäuden)	– 49,9 MWh	
Abwärmeeinspeisung in Wärmenetz	210 MWh	568 kW
Wiederverwendete Abwärme (zwischen Gebäuden)	– 16 MWh	
Kälteverluste	+ 259 MWh	
Kälteeinspeisung an Energiezentrale	453 MWh	

Tabelle 15: Kall - Berechnung des Strombedarfs

	Jahresenergie	Maximalleistung
Nutzerstrom	517 MWh	178 kW
Elektromobilität	0 MWh	0 kW
Gesamt	517 MWh	178 kW
Betriebsstrom aller Gebäude	+ 164 MWh	
Strombezug aller Gebäude	682 MWh	
Pumparbeit im Wärmenetz	+ 14,6 MWh	
Strombedarf Quartier	696 MWh	

Abbildung 25: Darstellung der Monatswerte des Wärme- und Kältebedarfs (Quelle: nPro)



wird desweiteren von wiederverwendeter Abwärme (zwischen Gebäuden) und Kälteverlusten beeinflusst. Die Kälteverluste haben mit 259 MWh einen signifikanten Einfluss auf die Energiemenge, die durch die Energiezentrale erzeugt werden muss. Hinsichtlich des Strombedarfs kommen zu dem Nutzerstrom aus den Wohn- und Handwerkseinheiten noch der Betriebsstrom, der den Bedarf sämtlicher Gebäudesysteme, einschließlich Wärmepumpen, Kältemaschinen oder elektrischer Heizungen beinhaltet sowie der Strombedarf für die Pumparbeit des Wärmenetzes hinzu.

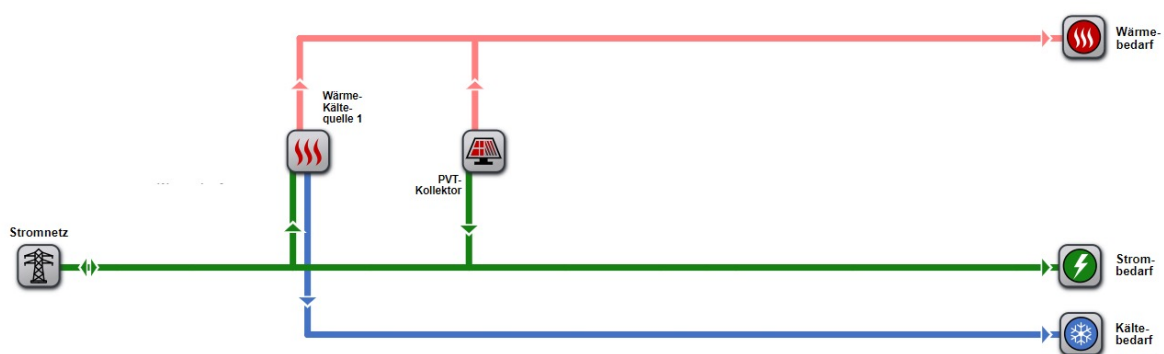
Das Tool nPro ist nach Eingabe der Daten unter anderem dazu in der Lage, die Energiebedarfe über das Jahr verteilt als Monatswerte, Jahresprofil, Jahresdauerlinie oder Heatmap darzustellen. Für Kall ist das Diagramm der Monatswerte für den Wärme- und Kältebedarf in Abbildung 25 zu sehen. Der Wärmebedarf setzt sich, wie oben beschrieben, aus Raumwärme und Trinkwasserwärme zusammen, die Kälte aus der Klimatisierung und der Prozesskälte. Das Programm berechnet dabei auf Basis des Algorithmus und der eingegebenen Projektdaten die Bedarfe je Monat. Für Kall wurde hinsichtlich der Klimadaten der Standort Bonn angenommen, da dieser dem Fallstudienort von den verfügbaren Möglichkeiten am nächsten liegt. Durch diese Eingabe wurden die Daten eines typischen Wetterjahres hinterlegt, wodurch die Berechnung je Monat möglich ist.

In Abbildung 25 ist zu erkennen, dass in den Wintermonaten der Wärmebedarf überwiegt und in den Sommermonaten der Kältebedarf. In den Wintermonaten wird die Kälte hauptsächlich für Prozesskälte benötigt, und in den Sommermonaten die Wärme für die Bereitstellung von Warmwasser und Prozesswärme.

Entworfenes Technologiesystem Kall

Das Technologiesystem in Kall basiert auf den Funktionstypen 0, 1 und 3. Nach der Eingabe aller Basisdaten kann in nPro das Energiesystem für das Quartier nach Belieben anhand eines Schemas zusammengestellt und bearbeitet werden. Für Kall wurde entsprechend den identifizierten Technologien ein System basierend auf

Abbildung 26: Kall - Technologiesystem (Quelle: nPro)



einer Wärme- bzw. Kältequelle und PVT-Kollektoren gewählt. Die Empfehlungen der Hemmnisanalyse folgend wurden möglichst einfache Systemvarianten betrachtet, die zudem städtebaulich und konstruktiv im Bestand bzw. lediglich ergänzendem Neubau umsetzbar sind. Als Wärme- bzw. Kältequelle dient hier das Abwasser, bei dem die Energie mit Hilfe eines Plattenwärmetauschers aus dem Abwasserkanal entnommen und mit Hilfe einer Wärmepumpe nutzbar gemacht wird. Diese Technologie wurde auch in Kapitel 4.3 sowie im Technologiesteckbrief (Anhang Anlage 3) näher betrachtet. Die gewonnene Wärme wird anschließend einem Pufferspeicher wieder zugeführt, sodass eine Wärmekreislaufführung über das Trägermedium Wasser entsteht. Das Technologiesystem in Kall ist schematisch in Abbildung 26 dargestellt. Die Raumwärme der Wohn- beziehungsweise Gewerbeeinheiten wird mittels Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (siehe Technologiesteckbrief im Anhang (Anlage 3) direkt im Gebäude wieder genutzt. Da die Anlagen direkt im Gebäude installiert sind und somit zur Reduktion der durch die Energiezentrale bereitzustellenden Energiemenge beiträgt, sind die Wärmerückgewinnungsanlagen nicht dargestellt. Die Integration der Prozesswärme war hier jedoch nicht wie anfangs geplant möglich, da diese Technologie in dem Tool nicht abbildbar war. Hier war geplant, die hohen Abwärmemengen der Prozesse beziehungsweise der Bäckerei und des Orthopädietechnikers lokal wieder zu nutzen. Statt der klassischen Prozesswärme kann in jedem Fall die durch die Öfen stärker erhitzte Raumwärme genutzt werden, dies ist jedoch ebenfalls nicht direkt in das Tool integrierbar. Das Tool nPro ist mit Hilfe der Eingangsdaten zu den Energiebedarfen und der Auswahl des Energiesystems dann in der Lage, die Anlagen entsprechend zu dimensionieren. In diesem Fall werden die Anlagen wie in Tabelle 16 ausgelegt.

Tabelle 16: Kall - Technologiesystem: Dimensionen der Anlagen

Technologiesystem	Auslegung	Volllaststunden
PVT-Kollektoren	1.605 m ² -> 337 kWp	842 h/a
Abwasserwärmenutzung mit Wärmetauscher	635 kWth	742 h/a

Weiter wird Strom aus dem Stromnetz bezogen (etwa ca. 546 MWh/a) sowie aus der Erzeugung durch die PVT-Kollektoren in das Netz eingespeist (etwa ca. 44 MWh/a).

Dieses Technologiesystem ist in der Lage, die benötigten Wärme- und Kältemengen innerhalb des Quartiers zu erzeugen. Lediglich für die Stromversorgung bleibt das Quartier auf den Bezug aus dem Stromnetz weiterhin angewiesen. In den Tabelle 13 bis Tabelle 15 wurde der Energiebedarf, der durch die Energiezentrale gedeckt werden muss, berechnet. Die Tabelle 16 zeigt die dafür benötigten Anlagen und deren Dimensionierung. Die Kennzahlen werden zur Übersicht und der Sichtbarmachung des Deckungsgrads in der folgenden Tabelle 17 noch einmal zusammengefasst:

Tabelle 17: Kall - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des Technologiesystems

	Wärme	Kälte	Strom
Gesamtbedarf der Nutzungseinheiten	618 MWh	260 MWh	517 MWh
Durch Energiezentrale zu erzeugen	275 MWh	453 MWh	696 MWh
PVT-Kollektor	21,7 MWh	453 MWh	258 MWh
Abwasserwärmenutzung mit Wärmetauscher	254 MWh		
Netzbezug			546 MWh
Netzeinspeisung			44 MWh
Deckungsgrad innerhalb des Quartiers	100 %	100 %	37 %
Deckungsgrad aus Erneuerbaren Energien	100 %	100 %	37 %

Erdgasbasiertes System Kall

Um die Unterschiede und Vorteile des entwickelten Technologiesystems deutlicher und anschaulicher hervorheben zu können, wurde mit den gleichen Eingangsdaten ein auf Erdgas basierendes System erstellt.

Das in Abbildung 27 dargestellte System besteht aus einem Erdgaskessel mit 203 kWth sowie einer Kompressionskältemaschine mit 848 kWth. Der Strom des Quartiers (etwa 889 MWh/a) wird hier komplett aus dem Netz bezogen. Für den Erdgaskessel werden etwa 306 MWh/a Erdgas aus dem Netz bezogen.

Die Tabelle 18 zeigt die Zusammenfassung der Energiebedarfe sowie erzeugten Energiemengen für das Quartier basierend auf dem fossilen System. Der Erdgas-Kessel und die Kompressionskältemaschine erzeugen den Energiebedarf zu 100 % innerhalb des Quartiers. Der Strom für die Deckung des Bedarfs wird komplett aus dem Netz bezogen. Hier erhöht sich der Bedarf von 696 MWh um 151 MWh auf 847 MWh, wobei die 151 MWh der Strombedarf der Kompressionskältemaschine ist.

Abbildung 27: Kall - Erdgasbasiertes System (Quelle: nPro)

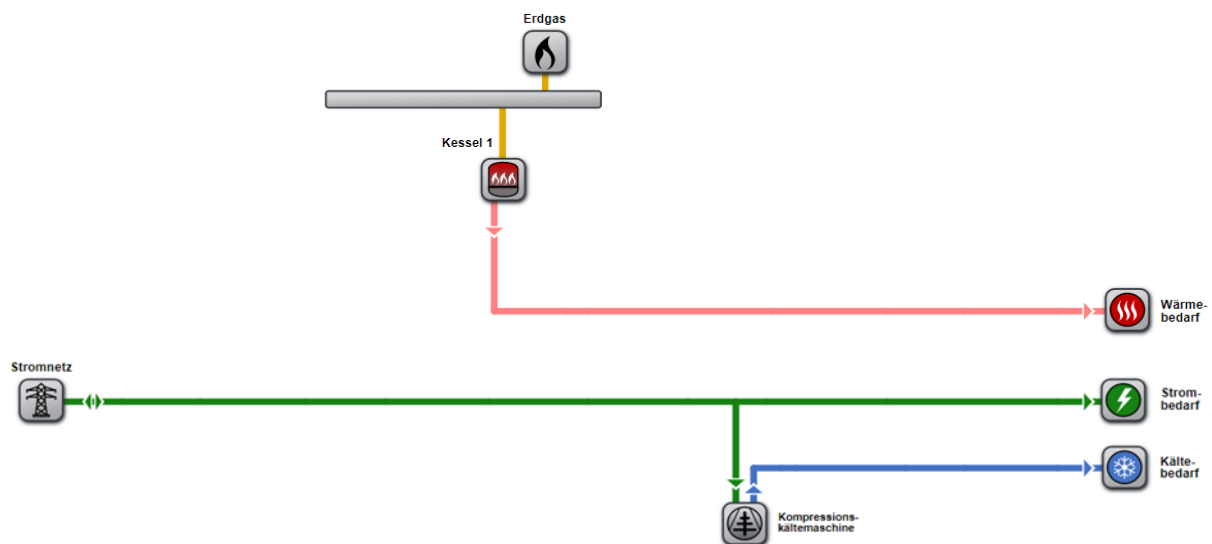


Tabelle 18: Kall - Erdgasbasiertes System: Dimensionierung der Anlagen

Technologiesystem	Auslegung	Vollaststunden/Ladezyklen
Erdgas-Kessel	203 kWth	1.356 h/a
Kompressionskältemaschine	848 kWth (212 kWel)	741 h/a

Tabelle 19: Kall - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des erdgasbasierten Systems

	Wärme	Kälte	Strom
Gesamtbedarf der Nutzungseinheiten	618 MWh	260 MWh	517 MWh
Durch Energiezentrale zu erzeugen	275 MWh	453 MWh	696 MWh
Erdgas-Kessel	275 MWh	453 MWh	
Kompressionskältemaschine			- 151 MWh
Netzbezug	306 MWh (Brennstoff)		847 MWh
Netzeinspeisung			
Deckungsgrad innerhalb des Quartiers	100 %	100 %	0 %
Deckungsgrad aus Erneuerbaren Energien	0 %	0 %	0 %

Vergleich der Systeme in Kall

Zur Einordnung der ökologischen und ökonomischen Effekte des POWER-Konzepts wurden die zwei modellierten Systeme miteinander verglichen. In den folgenden Abbildungen wird deutlich, dass das erneuerbare Technologiesystem hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes sowie der jährlichen Gesamtkosten nachhaltiger ist als das konventionelle, fossile System. Das POWER-Technologiesystem produziert pro Jahr 237 Tonnen CO₂ bei Gesamtkosten von 119.909 €/a, wohingegen das fossile System 444 Tonnen CO₂ bei Gesamtkosten von 260.383€/a produziert.

Die Gesamtkosten setzen sich aus der Investition (Annuität), den Energiekosten, den Wartungskosten, den CO₂-Kosten, Pauschalkosten (Annuität) und Erlösen zusammen. Innerhalb der Kalkulation der Gesamtkosten wird mit einem CO₂-Preis von 45 €/t gerechnet, was dem Preis für das Jahr 2024 entspricht, jedoch noch deutlich unter den Empfehlungen des Umweltbundesamts (vgl. UBA 2020: 8) liegt. Die Kosten werden mit einer Abschreibung über 20 Jahre und einem kalkulatorischen Zinssatz von 5 % angesetzt. Der Vergleich der beiden Systeme pro Jahr ist der Abbildung 29 zu entnehmen, in der deutlich wird, dass die Bestandteile der Gesamtkosten bei dem fossilen System höher sind als bei dem POWER-Technologiesystem. So liegen beispielsweise die Energiekosten für den Strom- und Gasbezug mit 221.695 €/a beim fossilen System deutlich über den Strombezugskosten des erneuerbaren Systems (131.076 €), was durch das Zukaufen des Erdgases im fossilen System zu begründen ist.

Auch wenn es sich bei der Kosten- und THG-Modellierung in nPro lediglich um eine allgemeine Abschätzung auf Basis idealtypischer Kennwerte handelt, so wird doch deutlich, dass sich durch die Hebung der Synergieeffekte deutliche Effizienzvorteile erzielen lassen und das innovative Energiesystem nur rund die Hälfte der Emissionen bei rund der Hälfte der Kosten verursacht.

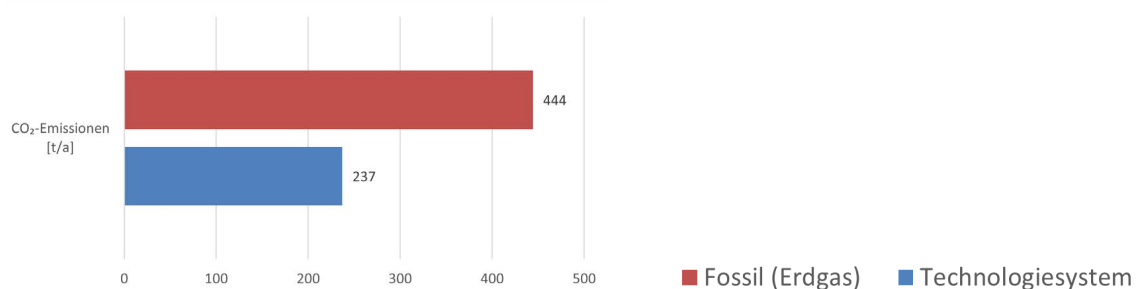
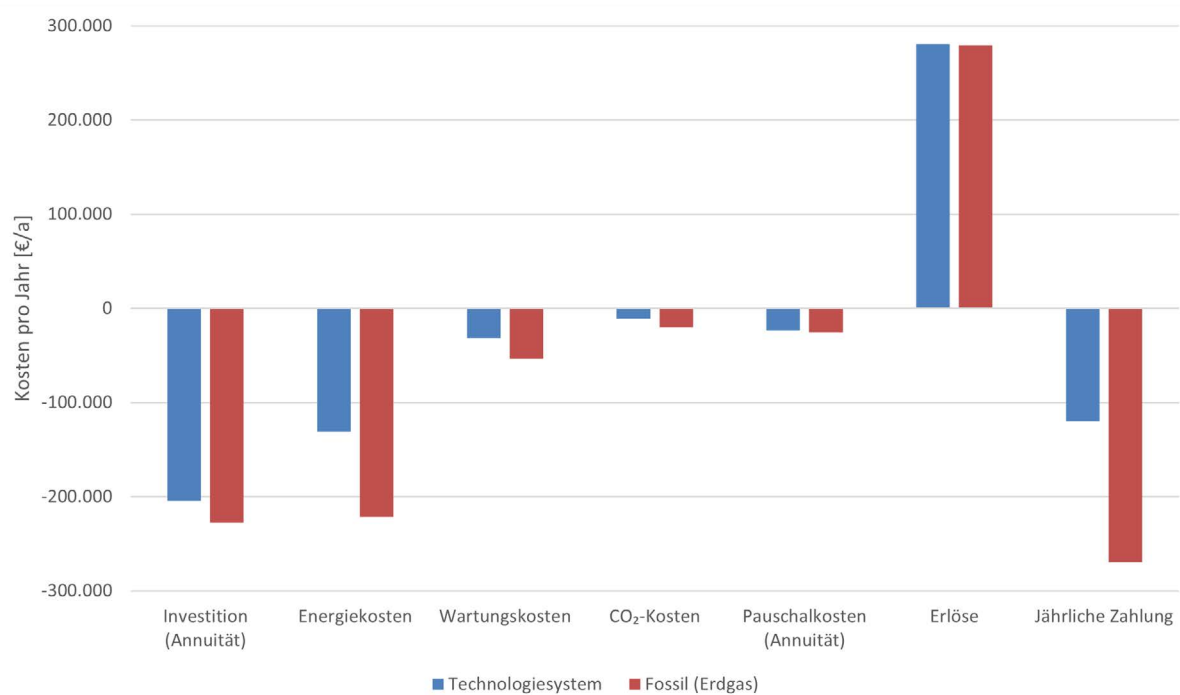
Abbildung 28: Kall - Diagramm CO₂- Emissionen

Abbildung 29: Kall - Diagramm Wirtschaftlichkeit



6.2.2.2. Wasserkonzept Kall

Der vieljährige Niederschlagsmittelwert (1991 – 2020) in Kall beträgt $781,10 \text{ l/m}^2$ (DWD 2021). Im Fokusgebiet in Kall, mit einer Fläche von 10.330 m^2 , ergibt sich demzufolge ein jährlicher mittlerer Niederschlag von insgesamt 8.068 m^3 . Zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung sind im städtebaulichen Entwurf 2.983 m^2 Fläche für die Flächenversickerung und 1.140 m^2 Fläche für die Versickerung in Mulden-Rigolen-Systemen im notwendigen Ausmaß und Dimensionierung vorgesehen. Diese Flächen erlauben eine dezentrale Abführung der zu erwartenden Jahresniederschlagsmenge. Temporäre Überlastungen, beispielsweise bei Starkregeneignissen, können nicht ausgeschlossen werden.

Der Wasserbedarf des Fokusgebietes in Kall beläuft sich auf insgesamt 18.549 m^3 pro Jahr. Dieser kann teilweise durch Grauwasser aus den vorhandenen Nutzungen gedeckt werden. Eine Besonderheit stellt die Wäscherei dar. Bei dieser kann das entstehende Grauwasser aufbereitet werden und anschließend wieder unmittelbar zum Waschen verwendet werden. Hier wurde angenommen, dass 90 % des Wassers wieder dem Wasserkreislauf der Waschmaschinen zugeführt werden (Steiniger 2015). Die Grauwassernachfrage sowie das Grauwasserangebot sind in den Tabellen 20 und 21 dargestellt, die Berechnungen erfolgten, wie in Kapitel 4.5.3 beschrieben, unter der Annahme von 105 Bewohnern und zusätzlichen 110 erwerbstätigen Personen. Zusätzlich sind weitere Nutzungen von anfallendem Grauwasser denkbar, bspw. aus der Lebensmittelmanufaktur oder Gastronomie. Dafür lagen jedoch im Projektzeitraum keine belastbaren Informationen vor.

Zusätzlich kann Regenwasser, welches auf den Dachflächen anfällt, für Grauwasseranwendungen genutzt werden. Dafür wird eine Zisternenspeichermenge von etwa 38 m^3 zur Speicherung benötigt. Dieses Volumen kann auf mehrere kleinere Zisternen in den einzelnen Gebäuden aufgeteilt werden. Das Regenwasser muss für die Grauwassernutzung nicht vorgereinigt werden.

In Abbildung 30 sind die Wassernutzungen in Kall dargestellt. Es wird deutlich, wie sich die Wasserströme relativ auf die geplanten Nutzungen verteilen. Der Wasserbedarf wurde aus den geplanten Nutzungen in Kall ermittelt. Diese unterteilen sich in den Wasserbedarf des Wohnens, der im Fokusgebiet erwerbstätigen Personen und des Handwerks. Der Wasserbedarf des Wohnens beträgt 4.982 m^3 mit der Annahme eines Verbrauchs von 130 l pro Person und Tag (UBA 2022). Für die Gewerbe des Funktionstyp 0 wurde pro erwerbstätige Person wurde ein Wasserbedarf von 20 l pro Arbeitstag angenommen (BMVBS 2012). Der Lebensmittelmanufaktur wurde dem Gebäudetyp Restaurant zugeordnet und ein Wasserverbrauch von 22.000 l pro Öffnungstag angenommen (ENGIE Impact o.J.). Für den Imbiss wurde angenommen, dass er ungefähr die Hälfte des Wasserverbrauchs eines herkömmlichen Restaurants hat und somit 11.000 l pro Öffnungstag angesetzt. Der Wasserbedarf der Wäscherei wurde zu 1.617 m^3 ermittelt, unter der Annahme von einer Wassernutzung von 49 l pro Waschgang (Bosch o.J.).

Der Wasserbedarf wird durch Regenwasser, Grauwasser und Trinkwasser gedeckt. Dabei ist zu beachten, dass die jeweiligen Wasserleitungen getrennt geführt werden müssen und dass Grau- und Regenwasser nicht für Trinkwasseranwendungen genutzt werden dürfen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde in dieser Abbildung auf eine Trennung der Wasserströme innerhalb der Nutzungsebene verzichtet. Die Breite der Balken re-

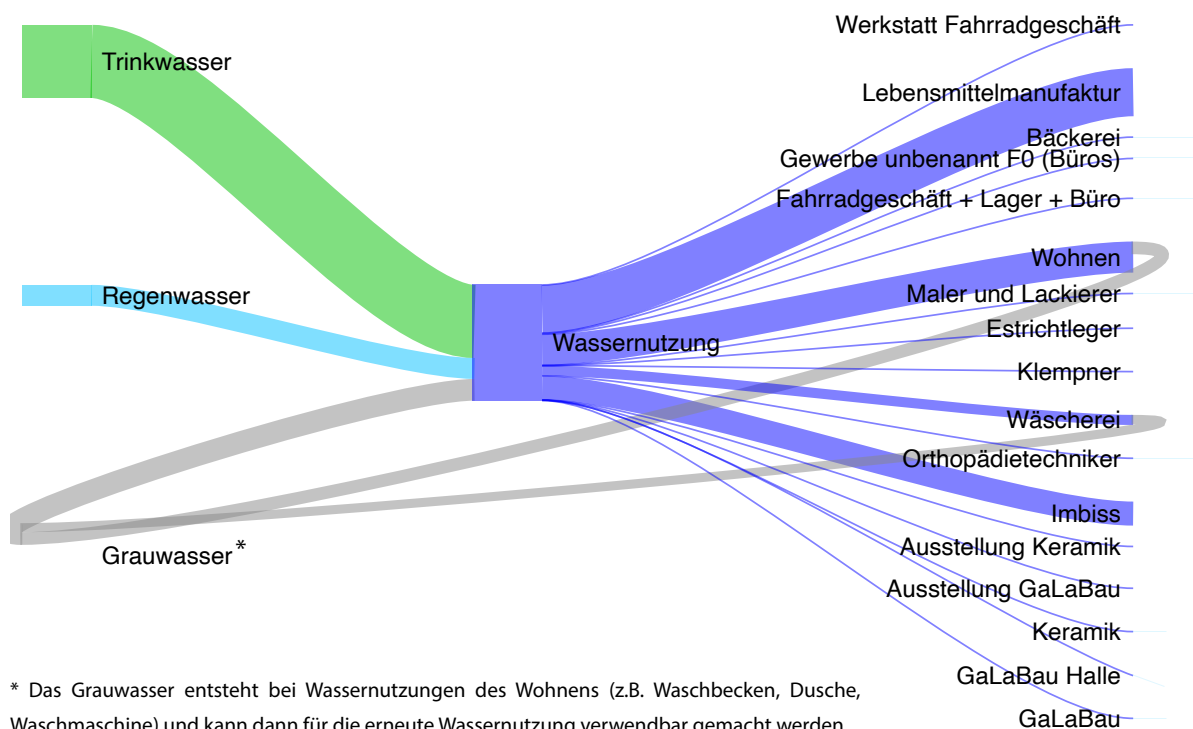
Tabelle 20: Kall - Grauwassernachfrage

Grauwassernachfrage	m^3
Wohnen	1.840
Handwerk/ sonst. Gewerke	330
Toilettenspülung	
Wäscherei	1.617
Summe	3.787

Tabelle 21: Kall - Grauwasserangebot

Grauwasserangebot	m^3
Regenwasser Dach	3.352
Wohnen	2.031
Wäscherei	1.455
Summe	6.839

Abbildung 30: Kall - Wassernutzungen (eigene Darstellung, erstellt mit Circular Sankey, Industrial Ecology Freiburg)



präsentiert das Volumen des jeweiligen Wasserstroms. So wird deutlich, dass durch die Regen- und Grauwassernutzung rund ein Drittel des gesamten Wasserbedarfs im Quartier gedeckt werden kann. Somit kann nicht nur der Bedarf an Trinkwasser reduziert werden, sondern auch die abzuleitende und zu behandelnde Abwassermenge. Als Nutzer mit dem höchsten Wasserbedarf stechen in der Grafik die Lebensmittelmanufaktur, der Wohnsektor sowie der Imbiss und die Wäscherei hervor. Insbesondere bei der Lebensmittelmanufaktur und beim Imbiss ist von Frischwasserbedarfen in Trinkwasserqualität auszugehen. Die übrigen Nutzungen weisen nur geringe Wasserbedarfe auf. Ein Anschluss dieser Nutzenden an das stoffstromgetrennte Wassernetz sollte trotzdem erfolgen, da die entsprechenden Leitungen in den Gebäuden für das Wohnen ohnehin zu verlegen sind und sich konkrete Nutzungen im Zeitverlauf auch ändern können, sodass sich steigende Bedarfe ergeben.

Sofern vom Gesamtwasserbedarf von 18.549 m³ p. a. eine Teilmenge von 3.787 m³ durch Grauwassernutzungen substituiert werden kann (siehe Tabelle 20), zeigt dies einen Pfad zu einer nachhaltigeren Wasserbewirtschaftung auf. Sofern perspektivisch auch die darüberhinausgehenden Grauwasserpotenziale genutzt werden können (siehe Tabelle 21), kann sich der Anteil der Trinkwassereinsparung auf knapp 37 % erhöhen. Dies wäre in Zeiten des globalen Wandels und zunehmender Wasserknappheit ein wichtiger Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit. Das Konzept zählt somit auf die strategischen Ziele der Nationalen Wasserstrategie ein, insbesondere auf die Themen „die globalen Wasserressourcen nachhaltig schützen“ sowie „Wasser-, Energie- und Stoffkreisläufe verbinden“ (BMUV 2023: 15) und lässt sich als Baustein der UN-Wasserdekade einordnen.

Neben den Aspekten der Versorgungssicherheit und den positiven ökologischen Wirkungen des Wasserkonzepts ist der Ansatz auch unter dem Gesichtspunkt der ökonomischen Nachhaltigkeit positiv zu bewerten. Vergleichbare Pilotprojekte zur Stoffstromtrennung auf Quartiersebene, bei denen Neuartige Sanitärsysteme (NASS) implementiert wurden, weisen zwar vergleichsweise hohe Investitionskosten aufgrund der innovativen und somit kostenintensiveren Infrastruktursysteme auf. Wie Tabelle 22 zu entnehmen ist, stehen demgegenüber aber geringere Betriebskosten und zum Teil auch Erlöse aus dem Verkauf der rückgewonnenen Nährstoffe, sodass die Gesamtbilanz über den Abschreibungszeitraum der Anlagen positiv ausfällt. Wie die

Tabelle 22: Exemplarische Kostendaten der untersuchten NASS-Modellvorhaben (Magazowski 2017: 135)

Kostendaten der untersuchten NASS-Modellvorhaben (Euro ₂₀₁₀)				
	Investitionskosten EUR/EW	Betriebskosten EUR/EW*a	Erzielte Erlöse EUR/EW*a	Quellen
Flintenbreite	3.368,87 EUR	240,68 EUR	14,54 EUR	(Hiessl und Hillenbrand 2010; Forschungszentrum Karlsruhe GmbH und Bereich Wassertechnologie und Entsorgung (WTE) 2009; Hillenbrand 2009; A.P. Fröhlich, Bonhomme, und Oldenburg 2007; Oldenburg 2006; Koetse 2005; C. Peters 2002)
Vauban	6.551,90 EUR	149,42 EUR	12,51 EUR	
SCST	3.674,27 EUR	145,68 EUR	3,78 EUR	
DEUS21	12.023,30 EUR	207,76 EUR	4,61 EUR	
Komplett	3.273,07 EUR	489,80 EUR	0,00 EUR*	

*Im Projekt "Komplett" erfolgte kein Verkauf der rückgewonnenen Ressourcen, sodass keine Erlöse erzielt wurden.

nachfolgenden Berechnungen aus vergleichbaren Pilotprojekten zur Stoffstromtrennung auf Quartiersebene zeigen.

Die Kostensätze variieren in den in Tabelle 22 dargestellten Pilotprojekten teils deutlich, da unterschiedliche Rahmenbedingungen und technologische Ansätze vorliegen. Im DEUS21-Projekt in Knittlingen wurde eine neuartige Membrantechnik zur Abwasserbehandlung eingesetzt, weshalb dort die Investitionskosten besonders hoch ausfallen; beim Komplett-Projekt hingegen ist ein größerer Hotelbetrieb an das Sanitärsystem angeschlossen, was sich kostensteigernd auf die Betriebskosten je permanenten Einwohnenden auswirkt. Es wurde jeweils eine verkürzte Betriebs- und Abschreibungsdauer von 20 Jahren angesetzt.

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes „TWIST++: Transitionswege Wasserinfrastruktursysteme“ (<https://www.twistplusplus.de>) wurde ein auch städtebaulich integriertes Wasserinfrastruktursystem entwickelt, das eine häusliche Stoffstromtrennung mit einer lokalen Regen- und Grauwasseraufbereitung sowie einer Wärmerückgewinnung aus Grauwasser zusammenführt. Das i.WET-Konzept (integrierte Wasser-Energie-Transition), das ab 2018 in Lünen umgesetzt wurde, bietet sich als Referenzprojekt für die Kostenbetrachtung in POWER an, da es auf einem weiter gereiften Entwicklungsstand der Neuartigen Sanitärsysteme (NASS) basiert und explizit die Nutzung des Wasser-Energie-Nexus adressiert. Auch wurde hier zur Berechnung der Annuitä-

Tabelle 23: Kostenvergleich des i.WET-Konzepts mit einem konventionellen Abwassersystem (Hochrechnung auf 2023)
(Quelle: eigene Darstellung und Berechnung auf Grundlage von Sartorius et al. 2017: S.1004)

Kostenposition	i.WET	konventionell
Kosten d. Abwasserableitung (EUR/(E*a))	100,66	111,35
Kosten d. Abwasserbehandlung (EUR/(E*a))	35,88	35,88
Kosten d. TW-Versorgung (EUR/(E*a))	103,69	109,55
Gesamtkosten (EUR/(E*a))	240,23	256,78

ten eine Abschreibungsdauer von 80 Jahren angesetzt, was deutlich näher an der tatsächlichen technischen Lebensdauer von Abwasserinfrastrukturen liegt als in den oben genannten Beispielen. Zudem schließt die i.WET-Kalkulation neben den initialen Investitionskosten auch Instandhaltungs- und Reinvestitionskosten sowie generell alle anfallenden Kosten ein. Sie liegen damit näher an den tatsächlich über die Nutzungsdauer zu erwartenden Kosten. Um die in der Literatur angegebenen Kostenkennwerte auf einen aktuelleren Stand zu bringen, wurden sie in Tabelle 24 anhand der Entwicklung des Verbraucherpreisindex zwischen 2017 und 2023 hochgerechnet (Indexwert 2023 = 119,6, Basis 2017; Quelle: Statistisches Bundesamt 2024), auch wenn dies wahrscheinlich die realen Kostensteigerungen nicht vollständig abbildet, da Energie- und Materialkosten sowie Zinskosten in diesem Zeitraum überdurchschnittlich stark angestiegen sind.

Es zeigt sich, dass das i.WET-Konzept rund 6,5 % Kostenersparnis gegenüber dem konventionellen System ermöglicht. Setzt man diese Kostenkennwerte auf die Fallstudie Kall an, ergeben sich überschlägig nachfolgende Gesamtkosten für das Projekt, basierend auf der Annahme von insgesamt 105 Einwohnern sowie 42 Einwohnergleichwerten aus den 14 Gewerbebetrieben (Annahme v. 110 Beschäftigten und EGW v. 0,5 / Beschäftigten im Handwerk (Abfallwirtschaft Landkreis Lörrach o.J.) und einer Nutzungsdauer von 80 Jahren.

Tabelle 24: Vergleich der Kostenhochrechnung aller Projektkosten für das POWER-Abwassersystem und ein konventionelles System (Quelle: eigene Darstellung und Berechnung)

Kostenposition	POWER Jahreskosten in €	POWER Gesamtkosten in € (80 Jahre)	Konventionell Gesamtkosten in € (80 Jahre)
Kosten der Abwasserableitung	16.104,86	1.288.388,61	1.425.249,28
Kosten der Abwasserbeseitigung	5.740,80	459.26,00	459.264,00
Kosten der TW-Versorgung	16.590,91	1.327.272,96	1.402.286,08
Gesamtkosten	38.436,57	3.074.925,57	3.286.799,36

Die literaturkennwertbasierte Hochrechnung der potenziellen Kosten für das POWER-Abwassersystem (einschließlich Betriebs-, Investitions- und Reinvestitionskosten) zeigt im Vergleich zum konventionellen Abwassersystem Einsparpotenziale von jährlich rund 2.600 € bzw. etwa 208.000 € über die gesamte technische Lebensdauer des Systems (siehe Tabelle 24). Auch wenn diese idealtypischen Werte basierend auf dem potenziellen Realsystem zu verifizieren sind, so zeigt die Hochrechnung doch, dass das Konzept auch einen Beitrag zur ökonomischen Nachhaltigkeit leisten kann.

Abbildung 31: Atmosphärische Perspektive Glasmacherviertel



6.3. Gesamtkonzept im Neubau: Glasmacherviertel

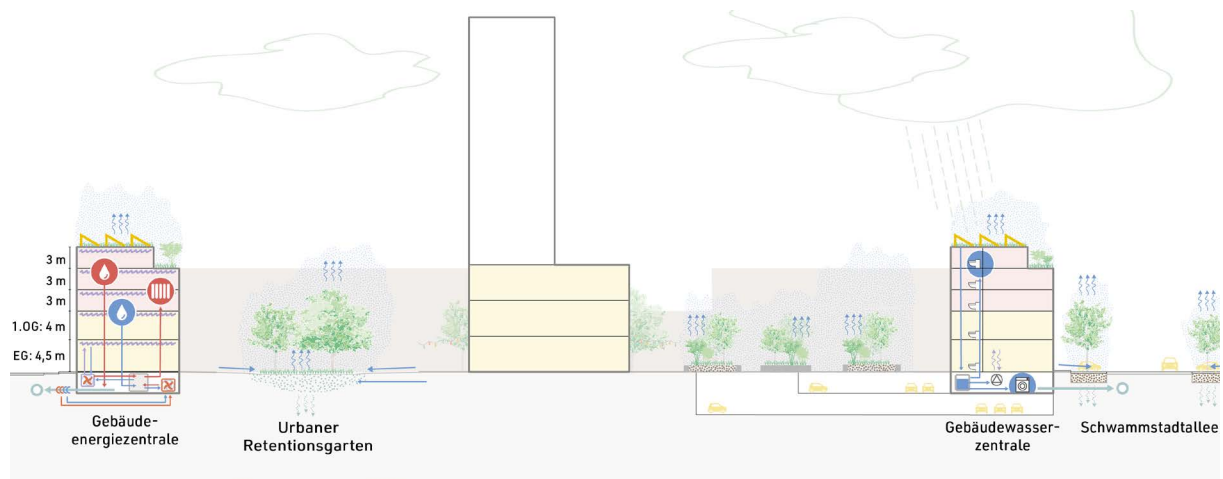
6.3.1. Städtebauliches Konzept und Szenario Glasmacherviertel

Die Rahmenbedingungen für das Konzept des ausgewählten Baublocks entwickelten sich von der vorliegenden Planung samt der Unterteilung in Baublöcke und Verkehrsräume. Zudem steht der bestehende Baukörper als ikonisches Relikt aus den Zeiten der industriellen Nutzung. Während gewerbliche Nutzungen mit entsprechendem Anlieferungsbedarf gut erschlossen werden sollen, sollten Wohnnutzungen eher ruhig gelegen sein oder über entsprechende Puffer verfügen. Um die Anlieferung zu gewährleisten, müssen entsprechende Zufahrten und Entladeflächen gewährleistet sein. Freiräume sollen dann außerdem die Bedürfnisse verschiedener Nutzungen erfüllen und variabel nutzbar sein. Die physischen Anordnungen sollen den Aushandlungs- und Nutzungsprozess unterstützen. Neben den anthropozentrischen Nutzungen sollen auch Ökosystemdienstleistungen berücksichtigt werden.

Dieser Rahmen hat zu folgendem städtebaulichen Entwurf geführt:

Eine Blockrandbebauung schließt an den bestehenden Baukörper an. Dieser zioniert den Baublock in zwei Teilbereiche. Die Belichtungssituation und Ausrichtung der Gebäude lässt den Schluss zu, dass der nördliche Teil des Blocks gemeinschaftliche, ruhige Nutzungen erhält, die den Vorteil einer Südausrichtung der Wohnqualität zugutekommen lässt. Der südliche Teil erhält sowohl eine produktive Nutzung mit Freiflächen, die der Gewerbe als Anlieferungs- und Lagerflächen zur Verfügung stehen, als auch intensive Freizeitflächen wie kleine Sport- und Spielflächen. Zioniert wird dieser, ebenso wie der nördliche Bereich, durch entsiegelte Teilbereiche, die die Ökosystemdienstleistungen übernehmen. Die Anlieferung erfolgt im Nadelöhr des Baublocks in der Mitte von Osten. Dort werden in der Zwischenzone oberirdische Park- und Umschlagsflächen vorgesehen. Die teilweise perforierte Form, der Rücksprung des Bestandskörpers und die Orientierungen bringen im Baukörper verschiedene Lageeigenschaften hervor. Dem westlichen Blockrand wird eine Vorzone zur Straße hin zugeordnet, damit diese Bereiche im Falle einer Nutzungstransformation im Erdgeschoss sowohl für Wohnnutzungen als auch viele gewerbliche Nutzungen geeignet sind. Der Rücksprung des Bestandskörpers erzeugt eine Aufweitung des Bürgersteigs, sodass hier neben einer intensiven Begrünung auch Außengastronomie entstehen

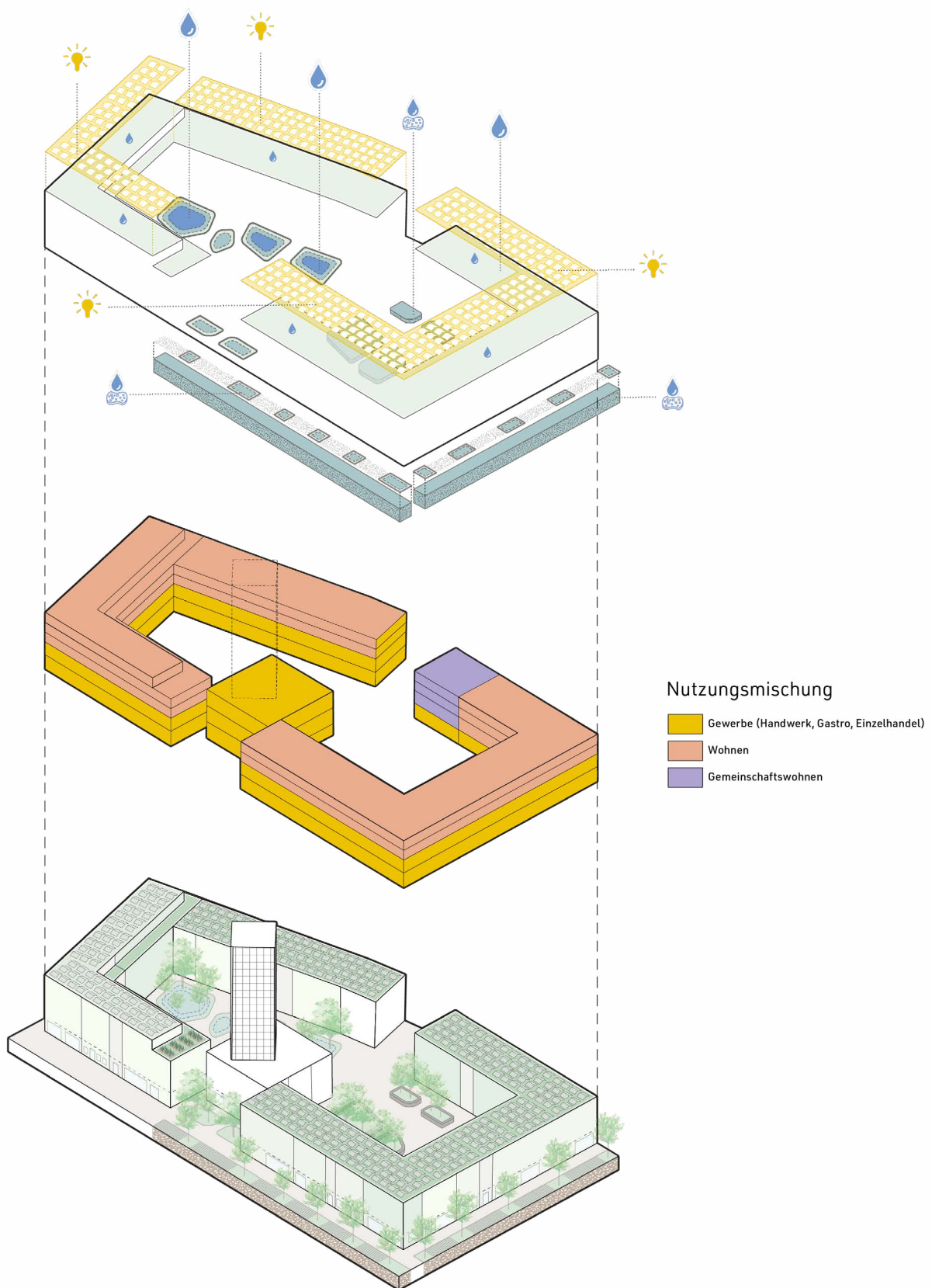
Abbildung 32: Funktionsschnitt Glasmacherviertel (ohne Maßstab)



kann. Der östliche Einschnitt in den Blockrand für die Anlieferung auf der Rückseite des Bestandsbaukörpers erzeugt im Baukörper eine exponierte Lage an beiden Enden der Randbebauung. Diese können an mindestens zwei Seiten eine Wirkung auf den öffentlichen Raum entfalten und sind daher für Nutzungen geeignet, die eine große Sichtbarkeit anstreben. Im südlichen Bereich des östlichen Blockrands bieten sich Nutzungen an, die Anlieferungs- und Lagerflächen benötigen und auf eine intensive Freiraumnutzung angewiesen sind.

Die Haupteerschließung der Nutzungen erfolgt vom öffentlichen Raum aus und verteilt sich dann in den oberen Geschossen über einen umlaufenden Laubengang entlang der Blockrandinnenseiten. Die Laubengänge enthalten gleichzeitig private Außenflächen. Die erdgeschossigen Freiräume sind grundsätzlich gemeinschaftlich-private Freiflächen, die ausschnittsweise von gewerblichen Nutzenden belegt werden können.

Abbildung 34: Funktionsschema Gesamtkonzept Glasmacherviertel (ohne Maßstab)



6.3.2. Technologie-Konzept

Im Glasmacherviertel wurden die Funktionstypen 0, 2 und 3 gewählt und durch die geplanten Nutzungen im städtebaulichen Konzept identifiziert, worauf basierend ein Energie- und Wasserkonzept entwickelt wurde. Dieses Energie- und Wasserkonzept ist resilient gegenüber Nutzungsänderungen. Im Sinne des Research-by-Design wurden nach Festlegung des städtebaulichen Konzeptes die technischen Systeme weiter verfeinert, dimensioniert und an die geplanten Nutzungen angepasst. Im Bereich Wärme wurde der Fokus auf die Abwärmenutzung aus der Raumheizung und die Abwasserwärmenutzung gelegt. Für den Einsatz der Technologie Abwasserwärmenutzung werden die Abwässer der Wohnhäuser und der Gewerbebetriebe genutzt. Die Wäscherei, die Bierbrauerei, die Gastronomie und der Friseursalon stehen hier insbesondere im Fokus, da hier große Mengen an warmem Abwasser anfallen. Das Abwasser der Wäscherei kann zusätzlich im Kreislauf geführt werden und sowohl der Wäscherei als auch dem Wohnbereich als Grauwasser zur Verfügung stehen. Neben der Grauwassernutzung wird im Glasmacherviertel auch das auf den Dachflächen anfallende Regenwasser für Grauwassernutzungen genutzt. Das auf den Freiflächen anfallende Regenwasser wird versickert. Zu beachten ist, dass im Sinne des Baukastenprinzips der technologischen Systeme, die nicht auf die gewählten Technologien im Fokusbereich beschränkt sind, sondern durch andere Technologien ausgetauscht werden können. Im Rahmen des Projektteams wurde die Technologie intern erörtert und in drei Expertengesprächen diskutiert. Das Technologiekonzept wurde auch Fachleuten während eines Stakeholder-Workshops am 11. März 2024 vorgestellt, um Feedback zu erhalten, das später integriert wurde. Um die Ergebnisse weiter zu bestätigen, wurden sie am 13. März 2024 während der Projekttag der Bauforschung der Zukunft Bau Forschungsförderung präsentiert. Die Rückfragen wurden berücksichtigt.

Die genaue technische Auslegung des Energie- und Wasserkonzeptes in Glasmacherviertel erfolgt in den folgenden Kapiteln 6.3.2.1 und 6.3.2.2.

6.3.2.1 Energiekonzept Glasmacherviertel

Die Eingangsdaten für das Fokusgebiet im Glasmacherviertel umfassen die verschiedenen Nutzungstypen wie Handwerk, sonstige Gewerke, Wohnen, Büro usw. Die entsprechenden Energiebedarfe wurden erfasst und angepasst. Eine Zusammenfassung dieser Daten ist in Tabelle 25 dargestellt.

Die Eingangsdaten für die Handwerke und sonstigen Gewerbe wurden einzeln betrachtet und in Tabelle 26 sind die spezifischen Eingangswerte für jedes Handwerk und jeden Gewerbetyp aufgeführt. Auch hier wurden die Vorgaben des Tools nPro mit den gemittelten Kennzahlen je Gebäudeart und -nutzung verwendet. Hier wurden für die, im Vergleich zu den vorgegebenen Werten, energieintensiveren Handwerke und Gewerbe Keramik, Lebensmittelmanufaktur, 3D-Druck, Möbelfabrik, Friseursalon, Wäscherei und Bierbrauerei Annahmen für den Bedarf des Nutzerstroms getroffen.

Tabelle 25: Glasmacherviertel - Übersicht der Eingangsdaten

Nutzung	Fläche	Raumwärme	Trinkwarmwasser	Wärme	Klimatisierung	Prozesskälte	Kälte	Nutzerstrom	Strom
	[m²]	kWh/m²/Jahr	kWh/m²/Jahr	MWh/Jahr	kWh/m²/Jahr	kWh/m²/Jahr	MWh/Jahr	kWh/m²/Jahr	MWh/Jahr
Wohnen	10.681	23	21	470	20	0	214	22	235
Handwerk/ Gewerbe	9047	1.148	322	796	512	612	617	1.995	754
Summe	19.728	1.171	343	1.266	532	612	830	2.017	988

Tabelle 26: Glasmacherviertel - Übersicht der Eingangsdaten

Nutzung	Fläche	Raum-wärme	Trink-warm-wasser	Wärme	Klimati-sierung	Prozess-kälte	Kälte	Nutzer-strom	Strom
	[m ²]	kWh/m ² /Jahr	kWh/m ² /Jahr	MWh/Jahr	kWh/m ² /Jahr	kWh/m ² /Jahr	MWh/Jahr	kWh/m ² /Jahr	MWh/Jahr
Supermarkt (Neubau)	403	68	2	28	20	500	210	72	29
Büro (Neubau)	3340	59	8	224	44	14	194	40	134
Restaurant (Neubau)	783	68	50	92	20	0	16	128	100
Keramik (Neubau)	119	59	8	8	44	14	7	100	12
Café (Neubau)	217	68	50	26	20	0	4	128	28
Handwerk unbekannt (F0) (Neubau)	756	59	8	51	44	14	44	40	30
Lebensmittel-manufaktur (Neubau)	167	68	50	20	20	0	3	260	43
3D Druck (Neubau)	143	59	8	10	44	14	8	120	17
Möbelmanufak-tur (Neubau)	483	59	8	32	44	14	28	200	97
Imbiss (Neubau)	98	68	50	12	20	0	2	128	13
Frisiersalon (Neubau)	184	59	8	12	44	14	11	150	28
Wäscherei (Neubau)	126	59	8	8	44	14	7	300	38
Kita (Neubau)	480	64	3	32	20	0	10	12	6
Bierbrauerei, Gastro (Bestand)	506	154	50	103	20	0	10	260	132
Büro (Bestand)	1012	113	8	122	44	14	59	45	46
Gemeinschafts-flächen (Neubau)	230	64	3	15	20	0	5	12	3

Tabelle 27: Glasmacherviertel - Berechnung des Wärmebedarfs

	Jahresenergie	Maximalleistung
Raumwärme	901 MWh	935 kW
Trinkwarmwasser	365 MWh	91 kW
Gesamt	1.266 MWh	947 kW
Wärmerückgewinnung (Lüftung)	– 180 MWh	
Wärmeerzeugung der Heizstäbe	– 6 MWh	
Stromeinsatz für Netz-Wärmepumpen	– 300 MWh	
Wärmerückgewinnung (in Gebäuden)	– 130 MWh	
Wärmebezug aus Wärmenetz	650 MWh	402 kW
Wärmerückgewinnung (zwischen Gebäuden)	– 128 MWh	
Wärmegewinne	– 70 MWh	
Wärmeverluste	+ 1 MWh	
Wärmeeinspeisung an Energiezentrale	453 MWh	

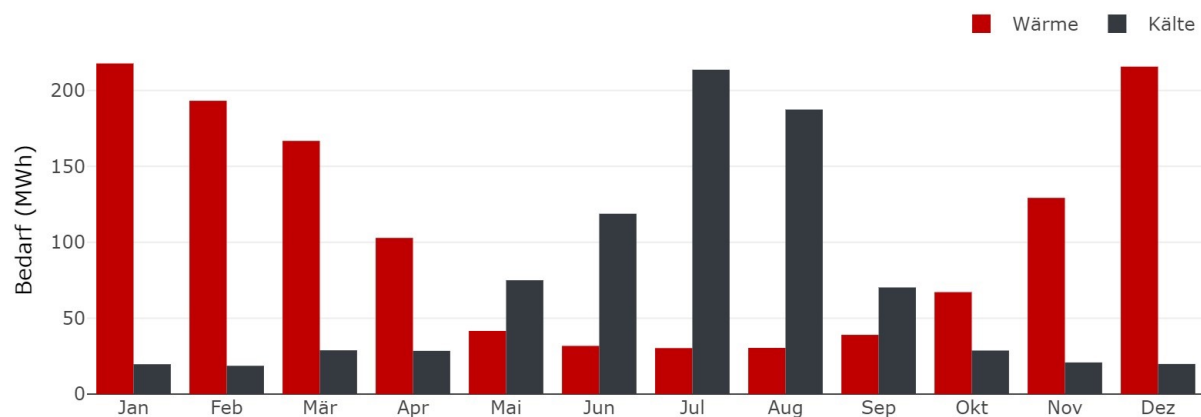
Tabelle 28: Glasmacherviertel - Berechnung des Kältebedarfs

	Jahresenergie	Maximalleistung
Klimatisierung	542 MWh	1.535 kW
Prozesskälte	288 MWh	55 kW
Gesamt	830 MWh	1.585 kW
Wärmerückgewinnung (in Gebäuden)	– 130 MWh	
Abwärmeeinspeisung in Wärmenetz	701 MWh	1.549 kW
Wiederverwendete Abwärme (zwischen Gebäuden)	– 128 MWh	
Kälteverluste	+ 283 MWh	
Kälteeinspeisung an Energiezentrale	855 MWh	

Tabelle 29: Glasmacherviertel - Berechnung des Strombedarfs

	Jahresenergie	Maximalleistung
Nutzerstrom	988 MWh	288 kW
Elektromobilität	0 MWh	0 kW
Gesamt	988 MWh	288 kW
Betriebsstrom aller Gebäude	+ 306 MWh	
Strombezug aller Gebäude	1.295 MWh	
Pumparbeit im Wärmenetz	+ 26 MWh	
Strombedarf Quartier	1.321 MWh	

Abbildung 35: Glasmacherviertel - Darstellung der Monatswerte des Wärme- und Kältebedarfs

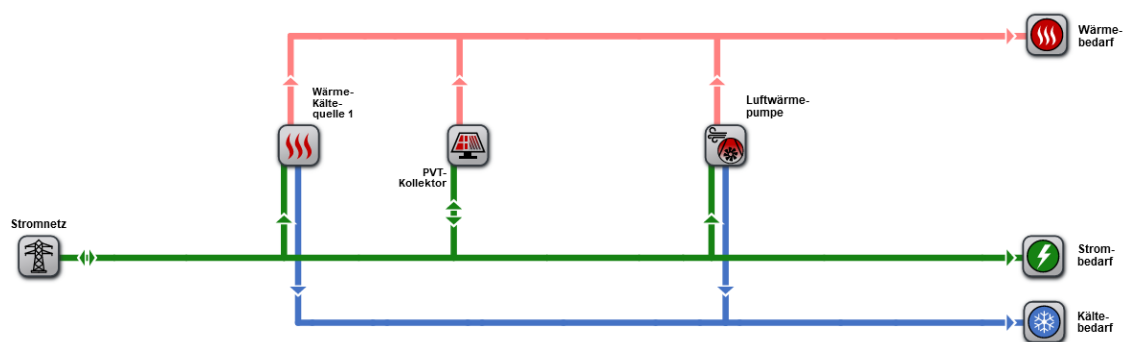


Gemäß der Tabellen 27 bis 29 beläuft sich der Gesamtenergiebedarf für Wärme auf 1.266 MWh, für Kälte auf 830 MWh und für Strom auf 988 MWh. Die nachfolgenden Tabellen geben Aufschluss über die Energiemengen, die etwa durch Wärmerückgewinnung durch Lüftung, im Gebäude oder zwischen den Gebäuden erzeugt werden. Die Energiemengen, die von der Energiezentrale erzeugt werden müssen, werden dadurch gesenkt.

In Bezug auf die Wärme verringern die eingebauten Lüftungsanlagen in diesem Fallbereich den Wärmebedarf um 180 MWh, während die eingebauten Heizstäbe den Bedarf um ca. 6 MWh verringern. Ein Teil des Wärmebedarfs wird durch den Strom der Wärmepumpen gedeckt, wenn Wasser-Wasser-Wärmepumpen eingesetzt werden, die das Wärmenetz als Energiequelle verwenden. Dadurch wird die Wärmemenge, die die Gebäude über das Wärmenetz erhalten müssen, um 300 MWh reduziert. Wärmerückgewinnung ist eine Möglichkeit, die gleichzeitigen Wärme- und Kälteanforderungen in Gebäuden auszugleichen. Der Verdampfer der Wärmepumpe kann die Abwärme, die bei der Kälteerzeugung entsteht, verwenden, um den Wärme- und Kältebedarf des Gebäudes aus dem Wärmenetz zu verringern. In diesem Fall wird der Wärme- und der Kältebedarf jeweils um 130 MWh reduziert. 128 MWh des Bedarfs können durch Wärmerückgewinnung zwischen den Gebäuden gedeckt werden. Darüber hinaus tritt ein Ausgleich zwischen den Gebäuden auf, wenn zum einen mindestens ein Gebäude zu einem bestimmten Zeitpunkt Wärme in das kalte Nahwärmenetz einspeist und zum anderen mindestens ein anderes Gebäude Wärme vom Netz bezieht. Die Wärmemengen, die eingespeist und bezogen werden, sind in allen Gebäuden gleich, wenn der Ausgleich perfekt ist. In dieser Situation würde die Energiezentrale nicht mit Wärme versorgt werden, und das Viertel wäre thermisch vollständig ausgelöscht. Diese perfekte Situation kommt aber im Laufe des Jahres nur selten vor. In der Regel erfolgt eine direkte Ausgleichung des Wärme- oder Kältebedarfs im Quartier, während der Rest von der Energiezentrale zu bewältigen ist. Die Einträge von Wärme aus dem Erdboden in das Wärmenetz werden als Wärmegewinne bezeichnet. Sie bewirken eine Verringerung des Wärmebedarfs an der Energiezentrale um 70 MWh. Wenn Wärme aus dem Wärmenetz in den Boden fließt, kommt es zu Wärmeverlusten. Dies führt zu einer Erhöhung des Wärmebedarfs an der Energiezentrale um 1 MWh. Auch wiederverwendete Abwärme (zwischen Gebäuden) und Kälteverluste haben Auswirkungen auf den Kältebedarf. Mit 283 MWh beeinflussen die Kälteverluste die Energiemenge, die die Energiezentrale verbrauchen muss. In Bezug auf den Strombedarf werden neben dem Nutzerstrom aus den Wohn- und Handwerkseinheiten auch der Betriebsstrom hinzugefügt, der für alle Gebäudesysteme erforderlich ist, darunter Wärmepumpen, Kältemaschinen oder elektrische Heizungen, sowie für die Pumparbeiten im Wärmenetz.

Das Tool nPro ermöglicht es, die Energiebedarfe für das Glasmacherviertel über das Jahr in verschiedenen Darstellungsformen wie Monatswerte, Jahresprofil, Jahresdauerlinie oder Heatmap anzuzeigen. In Abbildung 35 ist das Diagramm für den Wärme- und Kältebedarf in Monatswerten für das Glasmacherviertel dargestellt.

Abbildung 36: Glasmacherviertel - Technologiesystem (Quelle: nPro)



Der Wärmebedarf setzt sich aus Raumwärme und Trinkwasserwärme zusammen, während die Kälte aus der Klimatisierung und der Prozesskälte resultiert.

Das Programm nutzt einen Algorithmus und die eingegebenen Projektdaten, um die Bedarfe für jeden Monat zu berechnen. Für das Glasmacherviertel wurde der Standort Düsseldorf festgelegt, wodurch die Daten eines typischen Wetterjahres verwendet wurden, um die Berechnung für jeden Monat durchzuführen. Wie in Abbildung 35 zu sehen ist, überwiegt in den Wintermonaten der Wärmebedarf, während in den Sommermonaten der Kältebedarf vorherrscht. Während der Wintermonate wird die Kälte hauptsächlich für Prozesskälte benötigt, im Sommer wird die Wärme hingegen für die Bereitstellung von Warmwasser benötigt.

Technologiesystem Glasmacherviertel

Das Technologiesystem im Glasmacherviertel basiert auf den Funktionstypen 0, 2 und 3. Nachdem alle Basisdaten eingegeben wurden, wurde für das Glasmacherviertel ein System in nPro gewählt, das auf einer Wärme- bzw. Kältequelle, PVT-Kollektoren sowie einer Luftwärmepumpe basiert. Als Wärme- bzw. Kältequelle wurde das Abwasser ausgewählt, aus dem mittels eines Plattenwärmetauschers die Energie entnommen und mithilfe einer Wärmepumpe nutzbar gemacht wird. Diese Technologie wurde auch in Kapitel 4.3 sowie im Technologiesteckbrief (Anhang Anlage 3) näher erläutert. Die Luftwärmepumpe nutzt die Umgebungswärme zur Wärme- sowie auch zur Kälteerzeugung. Der PVT-Kollektor ist durch seinen Aufbau in der Lage, gleichzeitig Wärme und Strom zu erzeugen, wie in Kapitel 4.5.1 bereits beschrieben wurde. Das System ist schematisch in Abbildung 36 dargestellt.

Das städtebauliche Konzept sieht in diesem Fallbeispiel mit der Ansiedlung eines Frisiersalons sowie einer Wäscherei bzw. eines Wachsalons die Nutzung des Abwassers im Fokus. Hierauf wird in Kapitel 6.3.2.2 genauer eingegangen.

Tabelle 30: Glasmacherviertel - Technologiesystem: Dimensionierung der Anlagen

Technologiesystem	Auslegung	Volllaststunden
PVT-Kollektoren	2.795 m ² -> 587 kWp	769 h/a
Abwasserwärmenutzung mit Wärmetauscher	1.000 kWth	198 h/a
Luftwärmepumpe	904 kWth	838 h/a

Tabelle 31: Glasmacherviertel - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des Technologiesystems

	Wärme	Kälte	Strom
Gesamtbedarf der Nutzungseinheiten	1.266 MWh	830 MWh	988 MWh
Durch Energiezentrale zu erzeugen	453 MWh	855 MWh	1.321 MWh
PVT-Kollektor			452 MWh
Abwasserwärmenutzung mit Wärmetauscher		136 MWh	– 27 MWh
Luftwärmepumpe	453 MWh	719 MWh	– 200 MWh
Netzbezug			1.135 MWh
Netzeinspeisung			39 MWh
Deckungsgrad innerhalb des Quartiers	100 %	100 %	34 %
Deckungsgrad aus Erneuerbaren Energien	100 %	100 %	34 %

Durch die Eingabe der Daten zu den Energiebedarfen und der Auswahl des Energiesystems ist das Tool nPro in der Lage, die Anlagen entsprechend zu dimensionieren. In diesem Fall werden die Anlagen wie in Tabelle 30 ausgelegt.

Desweiteren wird Strom aus dem Stromnetz bezogen (etwa 1.135 MWh/a) sowie aus der Erzeugung durch die PVT-Kollektoren in das Netz eingespeist (etwa 39,2 MWh/a).

Dieses Technologiesystem ist fähig, die erforderlichen Mengen an Wärme und Kälte im Quartier zu produzieren. Das Quartier verlässt sich nur für die Stromversorgung auf den Stromnetzbezug. Die Tabellen 27 bis 29 führten zur Berechnung des Energiebedarfs der Energiezentrale. In Tabelle 30 sind die erforderlichen Anlagen und ihre Dimensionierung aufgeführt. In der Tabelle 31 werden die Kennzahlen erneut zusammengefasst, um den Deckungsgrad zu veranschaulichen und zu zeigen.

Der Strombedarf steigt hier von 1.321 MWh auf 1.548 MWh durch die Strombedarfe der Wärmepumpen (27 MWh und 200 MWh). Die Wärme sowie die Kälte können mit diesem Technologiesystem zu 100 % innerhalb des Quartiers erzeugt werden und dies zudem komplett aus Erneuerbaren Energien. Der erneuerbare Deckungsgrad des Stroms liegt hier bei 34 %.

Abbildung 37: Glasmacherviertel - Erdgasbasiertes System (Quelle: nPro)

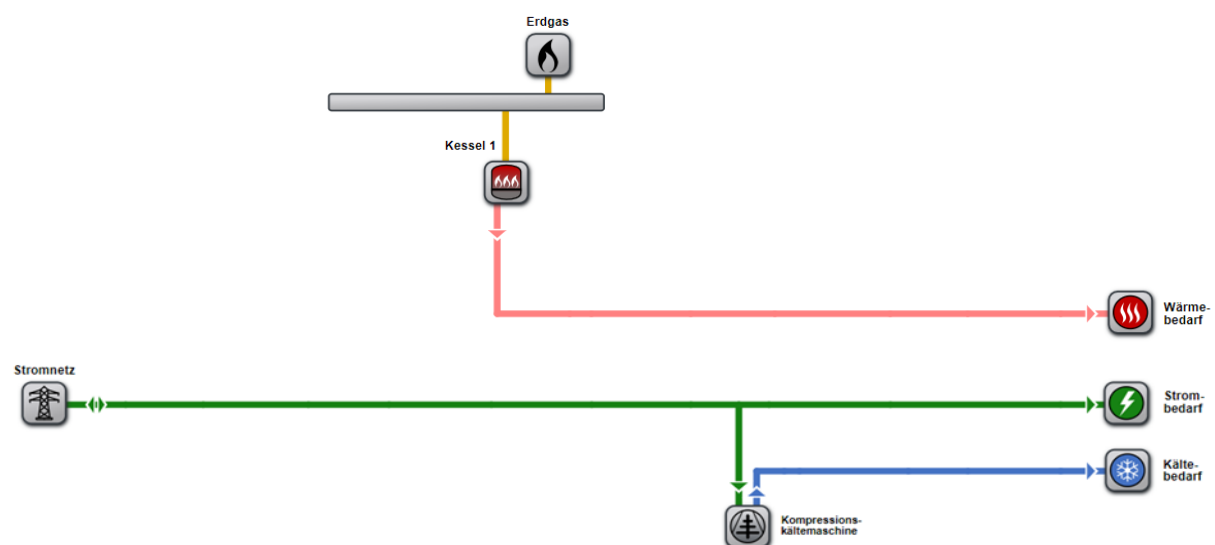


Tabelle 32: Glasmacherviertel - Erdgasbasiertes System: Dimensionierung der Anlagen

Technologiesystem	Auslegung	Volllaststunden/Ladezyklen
Erdgas-Kessel	393 kWth	1.115 h/a
Kompressionskältemaschine	2.180 kWth (545 kWel)	511 h/a

Erdgasbasiertes System Glasmacherviertel

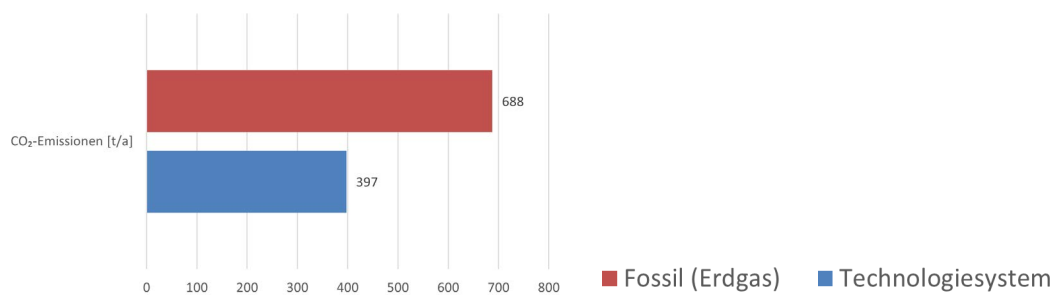
Um die Unterschiede und Vorteile des entwickelten Technologiesystems deutlicher und anschaulicher hervorzuheben, wurde auch für dieses Fokusgebiet unter Verwendung der gleichen Eingangsdaten ein System erstellt, das auf Erdgas basiert. Das auf Erdgas basierende System ist in Abbildung 37 schematisch dargestellt.

Das in Tabelle 32 „Glasmacherviertel - Erdgasbasiertes System: Dimensionierung der Anlagen“ dargestellte System besteht aus einem Erdgaskessel mit 393 kWth sowie einer Kompressionskältemaschine mit 2.180 kWth. Der Strom des Quartiers (etwa 1.606 MWh/a) wird hier komplett aus dem Netz bezogen. Für den Erdgaskessel werden etwa 503 MWh/a Erdgas aus dem Netz bezogen.

Tabelle 33 stellt die Übersicht über den Energiebedarf und die erzeugten Energiemengen für das auf dem fossilen System basierende Fallbeispiel dar. Die Kompressionskältemaschine und der Erdgaskessel sorgen dafür, dass der Energiebedarf im Quartier zu 100 % gedeckt wird, dies geschieht jedoch fossil statt erneuerbar. Der gesamte Strombedarf wird aus dem Netz bezogen. Hier steigt der Strombedarf von 696 MWh durch den Strombedarf der Kompressionskältemaschine um 285 MWh auf 1.606 MWh.

Tabelle 33: Glasmacherviertel - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des erdgasbasierten Systems

	Wärme	Kälte	Strom
Gesamtbedarf der Nutzungseinheiten	1.266 MWh	830 MWh	988 MWh
Durch Energiezentrale zu erzeugen	453 MWh	855 MWh	1.321 MWh
Erdgas-Kessel	453 MWh		
Kompressionskältemaschine		855 MWh	- 285 MWh
Netzbezug	503 MWh (Brennstoff)		1.606 MWh
Netzeinspeisung			
Deckungsgrad innerhalb des Quartiers	100 %	100 %	0 %
Deckungsgrad aus Erneuerbaren Energien	0 %	0 %	0 %

Abbildung 38: Glasmacherviertel - Diagramm CO₂-Emissionen

Vergleich der Systeme Glasmacherviertel

Zur Einordnung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen wurden auch hier die zwei Systeme miteinander verglichen. Bei der folgenden Betrachtung wird deutlich, dass das erneuerbare Technologiesystem sowohl hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes als auch der jährlichen Gesamtkosten pro Jahr eine bessere Performance im Vergleich zum fossilen System aufweist. Das Technologiesystem produziert pro Jahr 397 Tonnen CO₂ bei Gesamtkosten von 103.909 €/a, wohingegen das fossile System 688 Tonnen CO₂ bei Gesamtkosten von 293.299 €/a produziert.

Auch hier setzen sich die Gesamtkosten zusammen aus der Investition (Annuität), den Energiekosten, den Wartungskosten, den CO₂-Kosten, Pauschalkosten (Annuität) und Erlösen Innerhalb der Kalkulation der Gesamtkosten wird mit einem CO₂-Preis von 45 €/t gerechnet, was dem Preis für das Jahr 2024 entspricht. Die Kosten werden auch hier mit einer Abschreibung über 20 Jahre und einem kalkulatorischen Zinssatz von 5 % angesetzt. Die Abbildung 39 verdeutlicht, dass die Bestandteile der Gesamtkosten bei dem fossilen System höher sind als bei dem POWER-Technologiesystem. So liegen beispielsweise die Wartungskosten mit 101.365 €/a beim fossilen System deutlich über den Kosten des erneuerbaren Systems (65.418 €).

Auch wenn die Kosten- und CO₂-Modellierung in nPro nur eine allgemeine Schätzung auf der Grundlage idealtypischer Kennwerte darstellt, zeigt sich doch, dass eine Erhöhung der Synergieeffekte zu erheblichen Effizienzvorteilen führen kann und dass das innovative Energiesystem nur etwa die Hälfte der Emissionen und etwa die Hälfte der Kosten verursacht.

Abbildung 39: Glasmacherviertel - Diagramm Wirtschaftlichkeit des Energiesystems

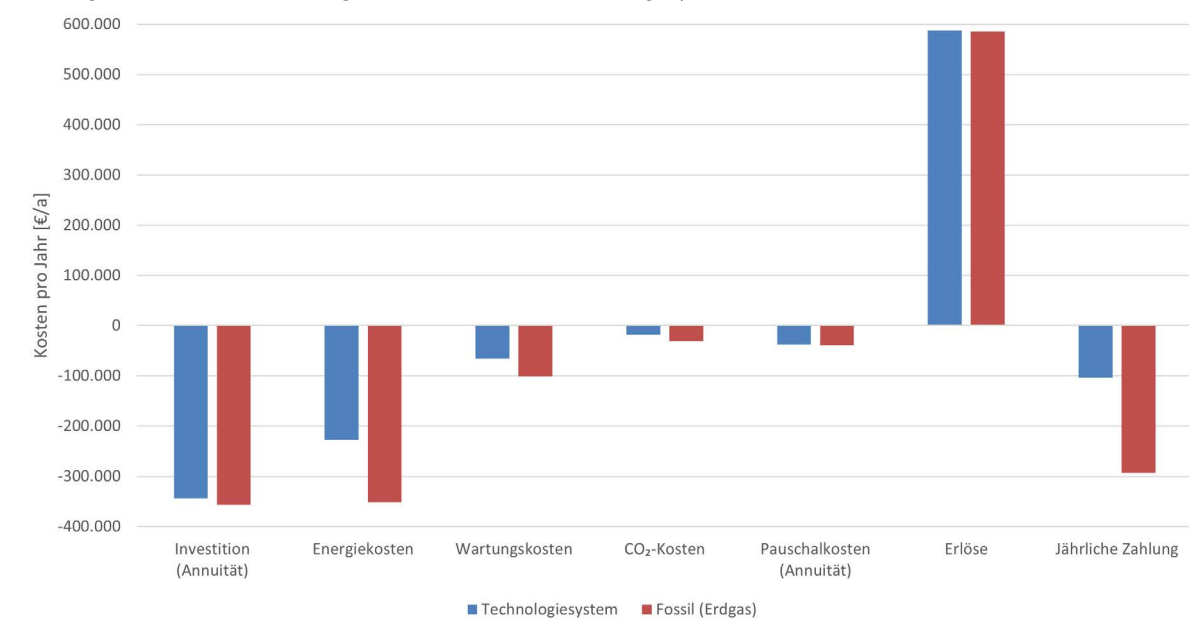


Tabelle 34: Grauwassernachfrage Glasmacherviertel

Grauwassernachfrage	m ³
Wohnen	1.840
Handwerk/ sonst. Gewerke	
Toilettenspülung	330
Wäscherei	1.617
Summe	3.787

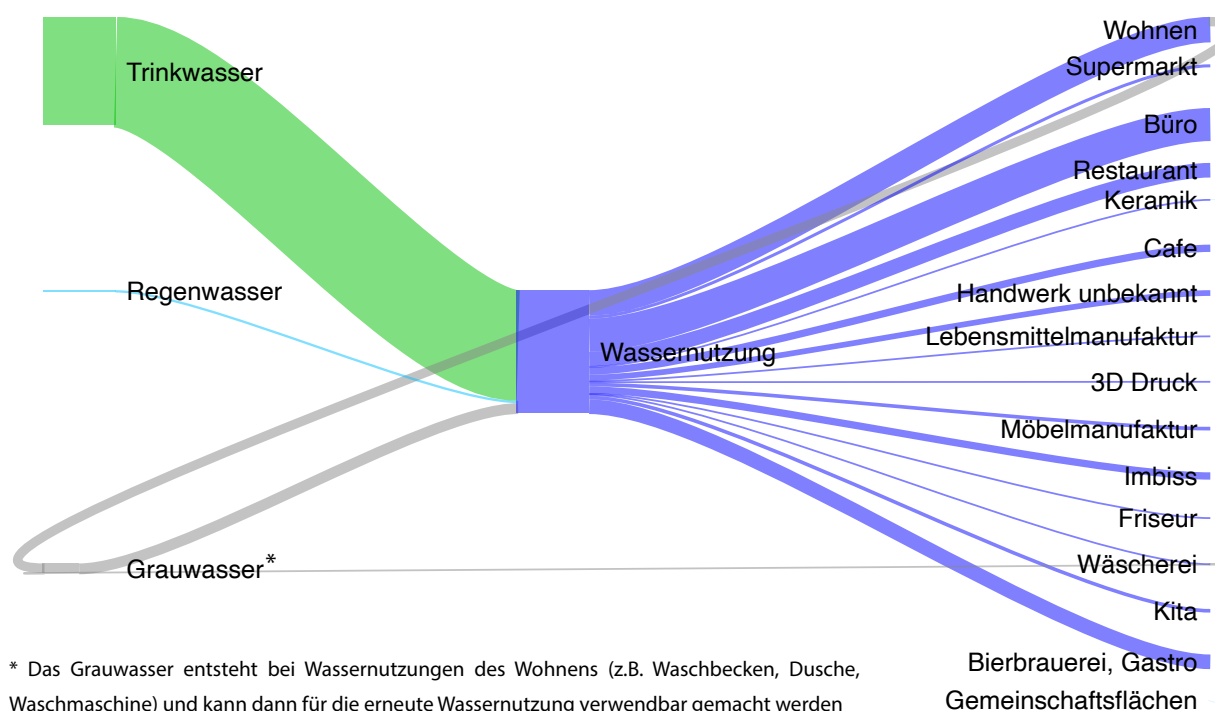
Tabelle 35: Grauwasserangebot Glasmacherviertel

Grauwasserangebot	m ³
Regenwasser Dach	3.352
Wohnen	2.031
Wäscherei	1.455
Summe	6.839

6.3.2.2. Wasserkonzept Glasmacherviertel

Innerhalb des Glasmacherviertels wurde das langjährige Mittel für den Niederschlag von 822,0 l/m² ermittelt (DWD 2021). Dies entspricht einem mittleren Jahresniederschlag von 7.802 m³ in dem 9.492 m² großen Fokusgebiet des Glasmacherviertels. Die Entwässerung erfolgt über 2.808 m² Flächen für Flächenversickerung und 1.123 m² Fläche für Versickerung in Mulden-Rigolen-Systemen. Der Wasserbedarf des Fokusgebiets im Glasmacherviertel beläuft sich auf 40.087 m³ pro Jahr. Ein Teil des Wasserbedarfs kann durch Grauwasser aus den Nutzungen gedeckt werden. Eine Besonderheit stellt die Wäscherei dar, wo das anfallende Grauwasser aufbereitet und zum Waschen wiederverwendet werden kann. Die Rückführung des Wassers in den Wasserkreislauf der Waschmaschine wurde mit einer Rate von 90 % angenommen (Steiniger 2015). Der Grauwasserbedarf und das Grauwasserangebot sind in den Tabellen 34 und 35 dargestellt, die Berechnungen erfolgten, wie in Kapitel 4.5.3 beschrieben, unter der Annahme von 283 Bewohnenden und zusätzlichen 226 erwerbstätigen Personen. Allerdings konnten während des Projektzeitraums keine belastbaren Informationen über weitere mögliche Nutzungen des anfallenden Grauwassers gewonnen werden, beispielsweise in der Lebensmittelproduktion oder Gastronomie.

Abbildung 40: Wassernutzungen im Glasmacherviertel (eigene Darstellung, erstellt mit Circular Sankey, Industrial Ecology Freiburg)



Außerdem kann auf den Dächern anfallendes Regenwasser für Grauwasseranwendungen im Glasmacherviertel genutzt werden. Um das Regenwasser zu speichern, wird eine Zisternengröße von etwa 85 m³ benötigt. Dieses Volumen kann aufgeteilt werden und pro Gebäude eine Zisterne installiert werden.

In Abbildung 40 ist die Verteilung der Wassernutzungen im Glasmacherviertel dargestellt. Es wird ersichtlich, wie sich die Wasserströme auf die geplanten Nutzungen qualitativ verteilen. Der Wasserbedarf wurde aus den geplanten Nutzungen in Glasmacherviertel ermittelt. Diese unterteilen sich in den Wasserbedarf des Wohnens, der im Fokusgebiet erwerbstätigen Personen, des Supermarktes, der Gastronomie und des Handwerks. Der Wasserbedarf des Wohnens beträgt 13.428 m³ p. a. mit der Annahme eines Verbrauchs von 130 l pro Person und Tag (UBA 2022). Für die geplanten Gewerbe des Funktionstyps 0 wurde pro erwerbstätiger Person ein Wasserbedarf von 20 l pro Arbeitstag angenommen (BMVBS 2012). Für die beiden Gebäude des Gebäudetyps Restaurant wurde ein Wasserverbrauch von 22.000 l pro Öffnungstag angenommen (ENGIE Impact o.J.). Für den Imbiss und das Café wurde angenommen, dass der Wasserverbrauch ungefähr die Hälfte eines herkömmlichen Restaurants beträgt; somit wurden 11.000 l pro Öffnungstag angesetzt. Der Wasserbedarf der Wäscherei wurde zu 862 m³ p. a. ermittelt, unter der Annahme von einer Wassernutzung von 49 l pro Waschgang (Bosch o.J.). Dem Frisiersalon wurde ein Wasserbedarf von 220 m³ p. a. zugeschrieben (Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz 2017).

Der Wasserbedarf wird durch Trinkwasser, Regenwasser und Grauwasser gedeckt. Die jeweiligen Wasserleitungen müssen getrennt geführt werden und es ist wichtig zu beachten, dass Grauwasser und Regenwasser nicht für Trinkwasseranwendungen genutzt werden dürfen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde in der Abbildung 40 auf eine Trennung der Wasserströme innerhalb der Nutzungsebene verzichtet.

Die Breite der Balken im Sankey-Diagramm repräsentiert das Volumen des jeweiligen Wasserstroms. Es wird ersichtlich, dass durch die Regen- und Grauwassernutzung rund 10 % des gesamten Wasserbedarfs im Quartier gedeckt werden können. Dies führt nicht nur zu einer Reduzierung des Bedarfs an Trinkwasser, sondern auch zu einer Verringerung der abzuleitenden und zu behandelnden Abwassermenge. In der Grafik lassen sich die Bierbrauerei mit angeschlossener Wohnnutzung, die Bürogebäude sowie das Restaurant als Nutzer mit dem höchsten Wasserbedarf identifizieren. Insbesondere bei der Bierbrauerei und der Gastronomie ist von Frischwasserbedarfen in Trinkwasserqualität auszugehen. Die übrigen Nutzungen weisen geringere Wasserbedarfe auf. Ein Anschluss dieser Nutzenden an das stoffstromgetrennte Wassernetz ist dennoch empfehlenswert, da die entsprechenden Leitungen in den Gebäuden für das Wohnen zu verlegen sind und sich die geplanten Nutzungen im Zeitverlauf ändern können, sodass sich steigende Bedarfe ergeben können. Sofern vom Gesamtwasserbedarf von 40.087 m³ p.a. eine Teilmenge von 6.958 m³ durch Grauwassernutzungen substituiert werden kann (vgl. Tab. 33), wird so der Weg zu einer nachhaltigeren Wasserbewirtschaftung unterstützt. Perspektivisch können auch darüberhinausgehende Grauwasserpotenziale erschlossen werden. Durch die Grauwassernutzung wird die Ressource Wasser geschont, die Reduktion von CO₂-Emissionen steht bei der Wasserwiederverwendung nicht im Fokus. Ressourcenschonung ist in Zeiten des globalen Wandels und zunehmender Wasserknappheit ein wichtiger Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit (vgl. Kapitel 6.2.2.2.).

Tabelle 36: Vergleich der Kostenhochrechnung für das POWER-Abwassersystem und ein konventionelles System (Quelle: eigene Darstellung und Berechnung)

Kostenposition	POWER Jahreskosten in €	POWER Gesamtkosten in € (80 Jahre)	Konventionell Gesamtkosten in € (80 Jahre)
Kosten der Abwasserableitung	39.859,52	3.188.761,80	3.527.491,97
Kosten der Abwasserbeseitigung	14.208,48	1.136.678,40	1.136.678,40
Kosten der TW-Versorgung	41.062,51	3.285.000,58	3.470.658,05
Gesamtkosten	95.130,51	7.610.440,78	8.134.828,42

Wichtig zu erwähnen ist, dass auch andere Technologien eingeplant werden können. Zu nennen sind hier zum Beispiel die Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäudekühlung oder die Kopplung von Grauwasser mit der Fassadenbegrünung. Da im Glasmacherviertel der Wasserbedarf die Menge an Grau- und Regenwasser um ein Vielfaches übersteigt, wurde in diesem Fokusgebiet davon abgesehen.

Die Ergebnisse der Hochrechnung der Kosten anhand der idealtypischen Kennwerte des Wassersystems im Glasmacherviertel sind in Tabelle 36 abzulesen. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 6.2.2.2 dargestellten Kostenkennwerte lassen sich analog für die Fallstudie Glasmacherviertel überschlägige Gesamtkosten für das Projekt ermitteln. Diese basieren auf der Annahme von insgesamt 283 Einwohnern sowie 45 Einwohnergleichwerten aus den 15 Gewerbebetrieben (Annahme von 6 Beschäftigten je Betrieb und EGW von 0,5/Beschäftigten im Handwerk). Die Nutzungsdauer wurde mit 80 Jahren angesetzt.

Generell ist bei den in diesem Endbericht dargestellten Kostenberechnungen zu beachten, dass es sich um Hochrechnungen von Literaturkennwerten anhand von anzunehmenden Belegungszahlen der beiden Fallstudien handelt. Diese Hochrechnungen unterliegen somit zwei wesentlichen Unsicherheitsfaktoren: (i.) der Belegung bzw. Auslastung der jeweiligen Untersuchungsgebiete sowie (ii.) den tatsächlich entstehenden Kosten.

Zum ersten Unsicherheitsfaktor ist festzuhalten, dass für die Fallstudie ein städtebauliches Konzept einschließlich der Flächenbedarfe für unterschiedliche Nutzungsarten erstellt wurde. Auf dieser Grundlage wurde ein Mengengerüst erstellt, indem nutzungsspezifische Literaturkennwerte mit den geplanten Flächen je Nutzungsart multipliziert wurden (also z. B. Bewohnerzahlen je m² Wohnfläche unterschiedlicher Wohnungstypen und daraus abgeleitet die anzusetzenden Einwohnergleichwerte für die zu erwartende Abwassermenge). Derartige Hochrechnungen unterliegen unvermeidlichen Ungenauigkeiten, da die reale Belegung der verfügbaren Flächen insbesondere langfristig aufgrund von üblichen Fluktuationen nicht exakt bestimmt werden kann. Zur Auslegung des Infrastruktursystems liefert ein solches Mengengerüst nichtsdestotrotz eine wesentliche Orientierung.

Der zweite Unsicherheitsfaktor sind die anzusetzenden Kosten, die für die beiden Fallstudien ebenfalls auf Basis von Literaturkennwerten idealtypisch hochgerechnet wurden. Somit liefern die ermittelten Kosten zwar ein Bild der durchschnittlich zu erwartenden Kosten des Systems, müssen im Einzelfall auf Basis der örtlichen Gegebenheiten aber verifiziert werden. Wesentliche Einflussfaktoren auf die Investitionskosten können hier unter anderem sein: Bodenbeschaffenheit für die Erdarbeiten, Topographie, Abflussbeiwerte, Entfernung zum zentralen Abwassersystem, Nutzbarkeit des Bestandssystems (einschl. restliche Abschreibungen), konkret benötigte Haustechnik.

Neben diesen zwei Faktoren, die sich auf das modellierte Erschließungssystem beziehen, können sich die technischen, rechtlichen und planerischen Rahmenbedingungen eines solchen Projekts ändern, sodass ein abweichendes Infrastruktursystem mitunter besser den Anforderungen entsprechen kann. Technologische Fortschritte (z.B. neue Membrantechniken zur Abwasserbehandlung oder effizientere Wärmerückgewinnung aus Abwasser) könnten die Effizienz der Erschließung erhöhen. Rechtliche Änderungen können abweichende Anforderungen an die Energieversorgung von Gebäuden (siehe z.B. GEG-Novelle) oder die Abwasserentsorgung stellen (z. B. WHG-Novelle 2009 zur verpflichtenden dezentralen Regenwasserbewirtschaftung). Nicht zuletzt sollten derartige Erschließungsprojekte im Sinne einer integrierten Planung auch zu den planerischen Zielsetzungen und Strategien auf gesamtstädtischer Ebene passen. Dies wird insbesondere im Kontext der anstehenden kommunalen Wärmeplanung eine erhöhte Bedeutung erhalten und kann für Einzelprojekte förderlich sein oder ihnen entgegenstehen, je nachdem welcher Typ von Wärmeversorgungsgebiet für den jeweiligen Standort von der Kommune festgelegt wird.

6.4. Planungsrechtliche Einordnung der Gesamtkonzepte

Zur Umsetzung des Planungskonzeptes steht ein Komplex an insbesondere städtebaurechtlichen Instrumenten, auf denen der Fokus in der folgenden rechtlich-strategischen Untersuchung liegt.

6.4.1. Umsetzungsform Wärmenetz

Die grundsätzlichen organisatorischen Voraussetzungen zur Umsetzung von Nahwärmenetzen in der Gemeinde Kall liegen mit dem mehrheitlich kommunalen Energieversorgungsunternehmen e-Regio vor. Die Umsetzung eines Nahwärmenetzes für das Plangebiet in Kall können der Energieversorger und die Gemeinde gemeinsam initiieren, indem zunächst auf die Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer zugegangen wird und eine Machbarkeitsstudie im Rahmen der „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)“ in Auftrag gegeben wird. Auch im Beispiel Glasmacherviertel kann die Kommune gemeinsam mit dem örtlichen Energieversorgungsunternehmen, das in diesem Fall die Stadtwerke Düsseldorf AG ist, die Umsetzung des angestrebten Wärmenetzes vornehmen. Es ergeben sich allerdings in der strategischen Umsetzung dadurch Unterschiede, dass im Beispiel Glasmacherviertel nicht eine Vielzahl von Grundstückseigentümerinnen und -eigentümern einzubinden ist, sondern sich zumindest weite Teile der Fläche im Eigentum der PATRIZIA Grund-Invet befinden.

6.4.2. Darstellungen im Flächennutzungsplan

Die Gemeinden können über den nicht abschließenden Darstellungskatalog des § 5 BauGB hinaus geeignete Darstellungen mit städtebaulichem Bezug treffen, wenn diese im Wege zulässiger Festsetzungen nach § 9 BauGB umgesetzt werden können (BVerwG, Urteil vom 18. 8. 2005 - 4 C 13/04, NVwZ 2006, 87 (89), Rn. 28). Die Gemeinde kann allerdings bereits nach § 5 Abs. 2 Nr. 2 lit. b BauGB die Ausstattung des Gemeindegebiets mit Anlagen, Einrichtungen und sonstigen Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, insbesondere zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung, darstellen (Benz/Boinski 2023: 334). Es gibt dabei keine Mindestanlagengröße, sodass auch kleinere Anlagen mit einem lediglich örtlichen Bezug durch die Speisung des Quartiersnetzes oder einzelner Gebäude darstellbar sind (Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, Baugesetzbuch, 152. EL Oktober 2023, § 5 Rn. 29c). Dabei ist die Zweckbestimmung anzugeben (Mitschang in Battis/Krautzberger/Löhr, 15. Aufl. 2022, BauGB § 5 Rn. 17b). Die Darstellung des Wärmenetzes einschließlich der Wärmegewinnungsanlagen ist daneben im Sinne des § 5 Abs. 2 Nr. 4 BauGB als Flächen für Versorgungsanlagen und Hauptversorgungsleitungen darstellbar (Winkler/Zeccola/Tejkl, 2022: 342; Benz/Boinski 2023: 334).

6.4.3. Wahl des Bebauungsplantypen

Im Plangebiet Kall befinden sich eine Vielzahl an Eigentümerinnen und Eigentümern und eine heterogene Nutzungsstruktur. Die Wahl eines projektbezogenen Angebotsbebauungsplans mit städtebaulichem Vertrag eignet sich in dieser Konstellation. Anders als der vorhabenbezogene Bebauungsplan mit Durchführungsvertrag findet in diesem Fall keine Fixierung auf ein bestimmtes Vorhaben statt (OVG Münster, Urteil vom 13.09.2012 - 2 D 38/11.NE, BeckRS 2012, 60096; OVG Rheinland-Pfalz, Urt. vom 13. Februar 2019 - 8 C 11387/18.OVG, ZfBR 2019, 476 [473]). Innerhalb des gesetzten Rahmens können Änderungswünsche der Eigentümerinnen und Eigentümer realisiert werden, ohne dass es einer Plan- und Vertragsanpassung bedarf, und bei einem Wechsel der Vorhabentragenden kann die Planung aufrechterhalten werden (OVG Rheinland-Pfalz, Urt. vom 13. Febr. 2019 - 8 C 11387/18.OVG, ZfBR 2019, 476 [478]).

Mit Blick auf die andere Eigentumsstruktur im Glasmacherviertel ist dort auch ein vorhabenbezogener Bebauungsplan nach § 12 BauGB zumindest denkbar. Nach § 12 Abs. 3 S. 2 BauGB entfällt hier die Bindung an den

abschließenden Festsetzungskatalog des § 9 BauGB (Benz/Boinski 2023: 336). Dies bietet insbesondere den Vorteil, dass die beabsichtigte Untergliederung in Funktionstypen rechtlich sicherer gehandhabt werden kann.

6.4.4. Festsetzungen im Bebauungsplan

Im Bereich des Bebauungsplans ist die Gemeinde an den Festsetzungskatalog des § 9 BauGB in Verbindung mit der Baunutzungsverordnung gebunden. Ein Festsetzungsfindungsrecht steht ihr nicht zu (BVerwG, Beschluss vom 31.01.1995 - 4 NB 48/ 93, NVwZ 1995, 696 [697]). Zur planungsrechtlichen Umsetzung des Konzeptes gilt der nachfolgend erörterte Rahmen.

6.4.4.1. Versorgungsflächen und -leitungen

Die Gemeinde kann Versorgungsflächen, einschließlich der Flächen für Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung nach § 9 Abs. 1 Nr. 12 BauGB sowie die Führung von oberirdischen oder unterirdischen Versorgungsanlagen und -leitungen nach § 9 Abs. 1 Nr. 13 BauGB festsetzen. (Benz/Boinski 2023: 334). Die Festsetzung einer Versorgungsfläche nach § 9 Abs. 1 Nr. 12 BauGB muss hinsichtlich der spezifischen Art der Versorgungsanlage präzisiert werden (Mitschang/Reidt in Battis/Krautzberger/Löhr, 15. Aufl. 2022, BauGB § 9 Rn.70). Die Versorgungsfläche ist nicht Teil des Baugebiets (Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauGB § 9 Rn. 109). Für die Versorgungsfläche kann das Maß der baulichen Nutzung festgesetzt werden (vgl. BVerwG, Beschluss vom 10. 10. 2005 - 4 B 56/05, NVwZ 2006, 84). Entschädigungs- und Übernahmeansprüche nach § 40 Abs. 1 Nr. 6, Abs. 2 und 3 BauGB sowie auch Nutzungsbeschränkungen nach § 32 BauGB sind zu beachten (Mitschang/Reidt in Battis/Krautzberger/Löhr, 15. Aufl. 2022, BauGB § 9 Rn.71).

Für die Leitungslegung wird die Führung der Versorgungsanlagen nach § 9 Abs. 1 Nr. 13 BauGB festgesetzt (Balling/Benz/Boinski 2023: 73). Wenn die Führung nicht über gemeindeeigene oder eigene Grundstücke der Versorgungsträger erfolgt, sind mit den Eigentümerinnen und Eigentümern entsprechende vertragliche Vereinbarungen zu treffen (Mitschang/Reidt in Battis/Krautzberger/Löhr, 15. Aufl. 2022, BauGB § 9 Rn.75). Im Plan können nach § 9 Abs.1 Nr. 21 BauGB die Flächen festgesetzt werden, die zugunsten des Energieversorgungsunternehmens mit Leitungsrechten zu belasten sind, wodurch die bauplanungsrechtliche Voraussetzung zur Begründung der Leitungsrechte geschaffen wird (BVerwG, Beschluss vom 10.01.2017 - 4 BN 18.16, BeckRS 2017, 101056, Rn. 9). Mit der Gemeinde vereinbart das Energieversorgungsunternehmen Wegenutzungsverträge nach § 46 EnWG, um öffentliche Verkehrswege zu nutzen (Ahlbrink/Schomerus 2017: 146 f.).

6.4.4.2. Maß der Nutzung, überbaubare Grundstücksflächen und Nebenanlagen

Wenn vorgesehen ist, dass bestimmte Anlagen in den Baugebieten als Nebenanlagen nach den Anforderungen des § 14 BauNVO errichtet werden, muss dies bei Festsetzung der zulässigen Grundfläche im Bebauungsplan berücksichtigt werden, indem die nach § 19 Abs. 4 BauNVO zulässige Überschreitung der festgesetzten Grundflächen durch Nebenanlagen durch Abweichungsmöglichkeiten unter bestimmten Voraussetzungen im Rahmen einer Festsetzung modifiziert werden (Petz in König/Roeser/Stock, 5. Aufl. 2022, BauNVO § 19 Rn. 28; Schimpfermann/Stühler in Fickert/Fieseler, Baunutzungsverordnung, 14. Auflage 2023, Rn. 26). Da die Nebenanlagen nach § 23 Abs. 5 BauNVO auch auf den nicht überbaubaren Grundstücksflächen errichtet werden können, ist zur Absicherung des Konzeptes ggf. auch Festsetzung in Bezug auf räumliche Teilbereiche des Bebauungsplangebiets oder der Grundstücke sowie sachlicher Teilregelungen notwendig (Bleeschmidt in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauNVO § 23 Rn. 51). Der neue § 19 Abs. 5 BauNVO regelt im Übrigen, dass die zulässige Grundfläche in Gewerbe-, Industrie- und sonstigen Sondergebieten durch die Grundflächen von Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme aus solarer Strahlungsenergie und Windenergie überschritten werden darf, soweit der Bebauungsplan nichts anderes festsetzt. In den vom § 19 Abs. 5 BauNVO erfassten Baugebieten gibt es somit für die zulässige Überschreitung keine Beschränkung.

Sie ist bis zu einer Grundflächenzahl von 1,0 zulässig, wenn der Bebauungsplan nichts Abweichendes regelt (Bundestagsdrucksache 20/7248, S. 37). Dies gilt aufgrund der Überleitungsvorschrift des § 25g BauNVO allerdings nicht für alte Bebauungspläne, sondern nur für solche, für die der Entwurf nicht vor dem 7. Juli 2023 nach § 3 Absatz 2 des Baugesetzbuchs in der vor dem 7. Juli 2023 geltenden Fassung öffentlich ausgelegt oder nach § 3 Absatz 1 des Planungssicherstellungsgesetzes im Internet veröffentlicht worden ist (ebenda).

Für baulich untergeordnete Anlagen zur Nutzung solarer Strahlungsenergie in, an oder auf Dach- und Außenwandflächen oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen innerhalb von Gebäuden gelten im Übrigen Sonderregelungen in Bezug auf die funktionelle Unterordnung im Sinne des § 14 Abs. 1 Satz 1 BauNVO (Stock in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauNVO § 14 Rn. 92). Wenn sie nicht bereits nach den §§ 2 bis 13 zulässig sind, sind sie gemäß § 14 Abs. 1 S. 3 BauNVO auch dann zulässige Nebenanlagen im Sinne des § 14 Abs. 1 Satz 1 BauNVO, wenn die erzeugte Energie vollständig oder überwiegend in das öffentliche Netz eingespeist wird. Nach § 14 Abs. 3 S. 2 BauNVO gilt dies in Gewerbe-, Industrie- und sonstigen Sondergebieten; gilt Satz 1 gilt auch für sonstige baulich untergeordnete Anlagen zur Nutzung solarer Strahlungsenergie.

6.4.4.3. Geschosshöhenfestsetzungen

Die kumulative Festsetzung der Zahl der Vollgeschosse nach § 16 Abs. 2 Nr. 3 BauNVO in Verbindung mit der Höhe baulicher Anlagen nach § 16 Abs. 2 Nr. 4 BauNVO ist möglich (Schimpfermann/Stühler in Fickert/Fieseler, 14. Aufl. 2023, BauNVO § 16 Rn. 15; Grigoleit/Otto 8. Auflage, BauNVO § 16 Rn. 52). Die Notwendigkeit der aus dieser Kombination resultierenden Geschosshöhenfestsetzung bedarf der städtebaulichen Begründung und ist mit der landesrechtlichen Begriffsbestimmung des Vollgeschosses abzustimmen (Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauNVO § 16 Rn. 39).

6.4.4.4. Art der baulichen Nutzung

Der städtebauliche Entwurf sieht Wohnen sowie gewerbliche bzw. handwerkliche Nutzungen in einem gleichgewichtigen Verhältnis vor. Soziale oder kulturelle Einrichtungen sind nicht explizit ausgeschlossen, aber zumindest nicht Inhalt der städtebaulichen Konzeption. Die vorgesehenen gewerblichen Nutzungen können überwiegend mit der Zweckbestimmung eines Mischgebietes nach § 6 BauNVO vereinbar sein. Voraussichtlich zulassungsfähig sind die vorwiegend auf den Handel und die Gebietsversorgung ausgerichteten Nutzungen wie Bäckereien, kleinere gastronomische Einheiten, Fahrradgeschäfte, Raumausstattungsengeschäfte, Augenoptik-, Zahntechnik-, Hörakustikgeschäfte und Orthopädieschuhmachereien. Bestimmte Nutzungen entziehen sich einer typisierenden Betrachtung und Einordnung als nicht wesentlich störende oder wesentlich störende Betriebe. Die Zulässigkeit hängt dann stattdessen von der konkreten Anlage und deren Betriebsgestaltung sowie von der konkreten Gebietssituation ab (BVerwG, Beschluss vom 18. 8. 1998 - 4 B 82-98, NVwZ-RR 1999, 107). Die Zulässigkeit einzelner handwerklicher Nutzungen wie Fahrradwerkstätten, Kraftfahrzeugwerkstätten, Klempnereien, Estrich- und Parkettlegungsbetriebe, Dachdeckerinnen und Dachdecker, Ofen- und Luftheizungsbaubetriebe, Lebensmittelmanufakturen, Mechatronikerinnen und Mechatroniker, garten- und landschaftsbauliche Einrichtungen, Orthopädietechnik oder Tischlereien können je nach ihrer Dimensionierung und der konkreten Betriebsausführung mit wesentlichen Störungen verbunden sein und sind somit bedingt zulassungsfähig. Da eine Gleichgewichtigkeit von Wohnen und Gewerbe ausdrücklich angestrebt wird, ist die Festsetzung eines Mischgebiets nach der planerischen Konzeption städtebaulich erforderlich (vgl. VGH-Baden-Württemberg, Urteil vom 15. Mai 2013 - 8 S 313/11, ZfBR 2013, 692) und der Festsetzung eines urbanen Gebiets vorzuziehen.

Wird jedoch eine Aufstellung eines projektbezogenen Angebotsbebauungsplans mit städtebaulichem Vertrag vorgenommen, so ist für das Glasmacherviertel in Abgrenzung zum Beispiel Kall festzuhalten, dass das für die Mischgebietsfestsetzung erforderliche, gleichwertige und gleichgewichtige Verhältnis von Wohnen und Gewerbe mit einem Wohnanteil von 90 Prozent nicht gegeben ist (BVerwG, Beschluss vom 11.04.1996 - 4 B 51/96, NVwZ-RR 1997, 463 [464]). Da die Nutzungsmischung in urbanen Gebieten nach § 6a Abs. 1 S. 2 BauNVO

ausdrücklich nicht gleichgewichtig sein muss (BVerwG, Beschluss vom 13. Juni 2023 – 4 BN 33.22, ZUR 2023, 612), ist dort eine hohe Wohnprägung zulässig (Franßen, ZUR 2017: 534). Auch wenn der Mustererlass zum BauGBÄndG 2017 Gewerbe und Wohnen als die zwei Hauptnutzungsarten im urbanen Gebiet ansieht, ist es umstritten, inwieweit auch soziale und kulturelle Einrichtungen als dritte Hauptnutzungsart zum Gebietscharakter in urbanen Gebieten gehören. Vielfach ist die Position vertreten worden, dass soziale und kulturelle Einrichtungen als dritte Hauptnutzungsart in das urbane Gebiet gehören (z.B. Battis/Mitschang/Reidt 2017: 824; Bönker in Bönker/Bischopink, BauNVO, 2. Aufl., § 6a Rn. 45). Der bisherigen oberverwaltungsgerichtlichen Rechtsprechung nach wird zumindest dann der Gebietscharakter verletzt sein, wenn nicht bloß konkrete soziale und kulturelle Nutzungen für das Gebiet nicht vorgesehen sind, sondern Anlagen für Verwaltungen sowie für kirchliche, kulturelle, soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke nach § 6a Abs. 2 Nr. 5 BauNVO gänzlich ausgeschlossen werden (vgl. dazu VGH Mannheim, Urteil vom 04.05.2022 – 5 S 1864/19, BeckRS 2022, 14833; OVG Saarlouis, Urteil vom 24.06.2021 – 2 C 215/19, BeckRS 2021, 17074; OVG Rheinland-Pfalz, Urteil vom 11.05.2022 – 8 C 10646/21.OVG, BeckRS 2022, 18221).

6.4.4.5. Funktionstypen

§ 1 Abs. 9 BauNVO ermöglicht in Verbindung mit § 1 Abs. 5 bis 8 BauNVO, wenn besondere städtebauliche Gründe dies rechtfertigen, die Festsetzung, dass nur bestimmte Arten der in den Baugebieten allgemein oder ausnahmsweise zulässigen baulichen oder sonstigen Anlagen zulässig oder nicht zulässig sind oder nur ausnahmsweise zugelassen werden können. Die städtebauliche Begründung ergibt sich aus der jeweiligen konkreten Planungssituation und muss geeignet sein, die jeweilige Abweichung von den gemäß § 1 Abs. 2 und 3 sowie §§ 2 bis 14 BauNVO vorgegebenen Gebietstypen zu tragen (BVerwG, Urteil vom 22.05.1987 – 4 C 77/84, NVwZ 1987, 1074 [1075]). Die definierten Unterarten muss es in der sozialen und ökonomischen Realität bereits geben. Die Festsetzung muss hinreichend abstrakt getroffen werden und ist nicht dazu da, konkrete Projekte zu ermöglichen oder auszuschließen (BVerwG, Beschluss vom 27. 7. 1998 – 4 BN 31–98, NVwZ-RR 1999, 9). Die über einen Gattungsbegriff für die nachfolgende Genehmigungsebene zu definierende Unterart muss einer der Nutzungsarten der Baunutzungsverordnung zuzuordnen sein (Brügelmann/Ziegler, 128. EL Oktober 2023, BauNVO § 1 Rn. 194). Bereits bei der Gliederung der Baugebiete nach § 1 Abs.4 S. 1 Nr. 2 BauGB können Baugebiete nach der Art der Betriebe und Anlagen und deren besonderen Bedürfnissen und Eigenschaften untergliedert werden. Dazu gehören in erster Linie die Umweltverträglichkeit, insbesondere in Bezug auf den Grundwasser- und Bodenschutz oder ein bestimmtes Emissionsverhalten (Fickert/Fieseler/Schimpfermann/Stühler, 14. Aufl. 2023, BauNVO § 1 Rn. 191). Die Feinsteuerung nach besonderen Eigenschaften ist auch über die ergänzende Anwendung des § 1 Abs. 9 BauNVO möglich und umfasst klassischerweise beispielsweise Verkaufsflächenbegrenzungen (Brügelmann/Ziegler, 128. EL Oktober 2023, BauNVO § 1 Rn. 198). Vor diesem Hintergrund erscheint es naheliegend, unter Darlegung der städtebaulichen Gründe die verschiedenen vorgesehenen Nutzungstypen wie „Lebensmitteleinzelhandel“ oder „Handwerke“ räumlich zu verorten und dahingehend in Unterarten zu differenzieren, dass für sie Mindestmengen für anfallende Raumwärme, Prozesswärme, Brauchwasser oder Prozesswärme und Brauchwasser vorgesehen werden, um das Versorgungskonzept für das Gebiet zu sichern. Allerdings wird durch die Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts gefordert, „dass sich die Differenzierungen auf bestimmte Anlagentypen beziehen müssen, die es in der sozialen und ökonomischen Realität bereits gibt“ (BVerwG, Beschluss vom 5. Juni 2014 – 4 BN 8.14, ZfBR 2014, 574, Rn. 10). Deshalb steht die rechtskonforme Abgrenzung anhand der technischen Parameter im Anwendungsbereich des § 1 Abs. 9 BauNVO erheblichen Unsicherheiten gegenüber. Naheliegender ist deshalb eine Orientierung am Konzept der Verkaufsflächenobergrenzen. Hier hat die Gemeinde nach § 11 Abs. 1 BauNVO die Möglichkeit, die höchstzulässige Verkaufsfläche für das jeweilige Grundstück im Bebauungsplan als Art der Nutzung in der Form festzusetzen, dass die maximale Verkaufsflächengröße im Verhältnis zur Grundstücksgröße durch eine Verhältniszahl festgelegt wird, um die Ansiedlung bestimmter Einzelhandelstypen und damit die Art der baulichen Nutzung im Sondergebiet zu regeln (BVerwG, Ur. v. 17.10.2019 – 4 CN 8/18, NVwZ 2020, 399 [402], Rn. 33). Ein sonstiges Sondergebiet lässt sich festsetzen, wenn sich ein Festsetzungsgehalt nicht über die Festsetzung eines Baugebietes nach den §§ 2 bis 10 BauNVO in Kombination mit den Differenzierungsmöglich-

keiten des § 1 Abs. 5 und 9 BauNVO erreichen lässt (Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauNVO § 11 Rn. 19).

Die Untergliederungsmöglichkeit besteht im Übrigen auch im Vorhaben- und Erschließungsplan, wo die Gemeinde nach § 12 Abs. 3 Satz 2 BauGB nicht an den Festsetzungskatalog des § 9 BauGB in Verbindung mit der Baunutzungsverordnung gebunden ist. Zu beachten bleibt dabei aber zumindest, dass die mit der Typisierung in der Baunutzungsverordnung zum Ausdruck gebrachten gesetzgeberischen Wertungen zu respektieren sind und deshalb das Erfinden gänzlich neuer Baugebietsarten und Nutzungsmischungen im Sinne einer zulässigen innergebietlichen Gemengelage unzulässig ist (Reidt 2023: 2021).

Da mit den Festsetzungen im Angebotsbebauungsplan keine Nutzungsverpflichtung einhergeht, kann die Verpflichtung zur Nutzung der Baugrundstücke nach den Bebauungsplanfestsetzungen im Sinne einer Bauverpflichtung nur über einen städtebaulichen Vertrag erreicht werden (Dirnberger in Jäde/Dirnberger, 10. Aufl., BauGB, § 11 Rn. 68).

6.4.4.6. Dachbegrünung und Photovoltaikanlagen

Im Bebauungsplan können sowohl Festsetzungen zur PV-Nutzung als auch Festsetzungen zur Dach- und Fassadenbegrünung getroffen werden. Dabei ist unter anderem bei der Ausgestaltung der Pflanzfestsetzung die mögliche Verschattung zu bedenken (Mitschang 2010: 541). Regelungen zur Photovoltaiknutzung können zudem im städtebaulichen Vertrag auf der Grundlage des § 11 Abs. 1 Nr. 4 BauGB getroffen werden (Baars/Roscher 2020: 43). Dies gilt auch für die Umsetzung von Begrünungsvorgaben (Albrecht 2023: 279).

6.4.4.7. Regenwassernutzung

Die Festsetzung eines dezentralen Systems an Versickerungsmulden und Grünflächen zur Beseitigung von Niederschlagswasser ist nach § 9 Abs. 1 Nrn. 14, 15 und 20 BauGB möglich, aber erfordert ebenfalls die rechtliche Absicherung der Mitwirkung und Umsetzung durch die Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer (BVerwG, Urteil vom 30. August 2001 - 4 CN 9.00, ZfBR 2022, 164 [166]). In Abgrenzung zu § 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB kann über § 9 Abs. 1 Nr. 16 lit. C BauGB die Festsetzung solcher Flächen erfolgen, die auf einem Baugrundstück für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freigehalten werden sollen (Söfker in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauGB § 9 Rn. 139d). Die Pflicht, das Niederschlagswasser zu beseitigen, kann nach § 49 Abs. 4 Satz 1 LWG NRW auf die Nutzungsberechtigten übergehen, sofern gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen ist, dass das Niederschlagswasser durch die Nutzungsberechtigten ganz oder teilweise gemeinwohlverträglich auf dem Grundstück versickert oder ortsnahe in ein Gewässer eingeleitet werden kann (Oberverwaltungsgericht für das Land Nordrhein-Westfalen, Beschluss vom 24. Februar 2017 – 15 B 49/17 –, juris, Rn. 8).

Allerdings findet wiederum die Pflicht zur Verwendung von Niederschlagswasser in § 9 Abs. 1 BauGB, beispielsweise für Toiletten sowie Spül- oder Waschmaschinen, keine Rechtsgrundlage, da es sich dabei um keine Bodennutzung im Sinne des Städtebaurechts handelt und somit der erforderliche bodenrechtliche Bezug fehlt (BVerwG, Urteil vom 30. August 2001 - 4 CN 9.00, ZfBR 2022, 164 [165]). Stattdessen kommt für Regelungen über die Nutzung von Regen- und Brauchwasser ein städtebaulicher Vertrag als Instrument in Frage (Krautzberger in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauGB § 11 Rn. 165b).

6.4.5. Inhalte städtebauliche Verträge

Der städtebauliche Vertrag ermöglicht nicht nur Regelungen über PV-Nutzungen (Baars/Roscher 2023b, 41 [43]), Begrünung (Albrecht 2023: 279) sowie Regenwasserversickerung und -nutzung (Krautzberger in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauGB § 11 Rn. 165b).

Um die Ziele der städtebaulichen Gesamtmaßnahmen des Besonderen Städtebaurechts (Krautzberger in Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, 152. EL Oktober 2023, BauGB § 11 Rn. 165) zu erreichen oder zur Umsetzung der Bebauungspläne können die Planung, Errichtung und Umsetzung von den Anlagen und Einrichtungen zur Wärmegewinnung sowie des Wärmenetzes Vertragsgegenstände im Sinne des § 11 Abs. 1 S. 1 Nr. 4 BauGB sein (Winkler/Zeccola/Tejkl 2022: 343), solange ein städtebaulicher Zusammenhang des Vereinbarten gegeben ist (Kindler 2023: 223). Dies ersetzt nicht die Herstellung der planungsrechtlichen Zulässigkeit der Nutzungen über den Bebauungsplan (Däuper/Braun 2022: 167). Auch Regelungen über die gestalterische Einbindung der Anlagen sind denkbar (Mitschang 2010: 548).

Möglich ist auch die Übernahme von Energieberatungskosten seitens der Kommune, um Anreize im Bestand zu setzen (Spannowsky 2009: 201ff.). Andersherum können, sofern eine Kausalität zwischen Kosten und Maßnahmen gegeben ist, Folgekostenvereinbarungen im Sinne des § 11 Abs. 1 S. 2 Nr. 3 BauGB vereinbart werden (Kahl 2010: 397; BVerwG, Urteil vom 29. Januar 2009 - 4 C 15.07, ZfBR 2009, 472 [475]).

Wenn, wie in Kall, nicht bereits im Wege einer kommunalen Satzung ein Anschluss- und Benutzungszwang für Fern- und Nahwärme geregelt ist, so ist dies ebenfalls über den städtebaulichen Vertrag möglich (Bank in Brügelmann BauGB, 128. EL Oktober 2023, § 11, Rn. 87; Mitschang 2010: 547). Dies gilt auch für zivilrechtliche Grundstückkaufverträge (BGH, Urteil vom 9. 7. 2002 - KZR 30/00, NJW 2002, 3779; Mitschang 2010: 547). Notwendig ist jedenfalls eine Sicherung über eine Grunddienstbarkeit nach § 1018 BGB oder eine beschränkte persönliche Dienstbarkeit nach §§ 1090 Abs. 1 i. V. m. § 1018 Alt. 1 und 2 BGB im Grundbuch (Bundeskartellamt 2012: 47).

Im Falle eines vorhabenbezogenen Bebauungsplans nach § 12 BauGB, der im Beispiel Glasmacherviertel ebenfalls in Frage kommt, verpflichtet sich der oder die Vorhabentragende über einen Durchführungsvertrag auf der Grundlage eines mit der Gemeinde abgestimmten Vorhaben- und Erschließungsplans dazu, das Vorhaben und die Erschließungsmaßnahmen binnen einer bestimmten Frist durchzuführen und die Kosten für Planung sowie Erschließung zu übernehmen (Däuper/Braun 2022: 166). Die Kostenübernahme für die Wärmenetze lässt sich im Durchführungsvertrag ebenso vereinbaren (ebenda) wie auch ansonsten durch die Einordnung als städtebaulicher Vertrag im Sinne des § 11 Abs. 4 BauGB die ergänzenden vertraglichen Regelungsmöglichkeiten gelten.

6.4.6. Einsatzmöglichkeiten Besonderes Städtebaurecht und Städtebauförderung

Die Durchführung einer städtebaulichen Gesamtmaßnahme nach dem Besonderen Städtebaurecht bietet zur Umsetzung der Konzepte für die beiden Quartiere zusätzliche Handlungsmöglichkeiten. Die förmliche Gebietsfestlegung nach dem Baugesetzbuch im Rahmen der städtebaulichen Gesamtmaßnahme sowie die Einbeziehung von Maßnahmen des Klimaschutzes und die Anpassung an die Folgen des Klimawandels sind nach Art. 3 Abs. 1 und 2 Verwaltungsvereinbarung Städtebauförderung 2023 / 2024 Voraussetzung zur Inanspruchnahme der Mittel aus der Städtebauförderung. Die Errichtung und Erweiterung von Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung nach § 148 Abs. 2 Nr. 5 BauGB sind im Sanierungsgebiet förderfähige Baumaßnahmen (Mitschang 2020: 617). Um Gründe zur Versagung einer sanierungsrechtlichen Genehmigung nach § 145 Abs. 4 S. 2 BauGB auszuräumen, kann die Genehmigung nach § 145 Abs. 4 S. 3 BauGB vom Abschluss eines städtebaulichen Vertrags abhängig gemacht werden (Baars/Roscher 2023a: 11). Kann ein Konsens mit den Eigentümerinnen und Eigentümern erzielt und somit auf den Einsatz des hoheitlichen Instrumentariums einer Sanierungsmaßnahme verzichtet werden, eignet sich die Stadtumbaumaßnahme und die Projektrealisierung im Rahmen der Stadtumbauverträge (vgl. Mitschang, 2020: 622).

Nachzudenken wäre deshalb, je nach Kooperationsbereitschaft, über die Festlegung eines Stadtumbaugebietes oder einer städtebaulichen Sanierungsmaßnahme. Da es sich im Beispiel Kall nicht um eine erstmalige Entwicklung oder eine neue Entwicklung im Rahmen einer städtebaulichen Neuordnung im Sinne des § 165

Abs. 2 BauGB handelt, kommt eine städtebauliche Entwicklungsmaßnahme nicht in Frage. Hingegen wäre im Rahmen der Neuordnung des Glasmacherviertels gerade auch die Anwendbarkeit einer städtebaulichen Entwicklungsmaßnahme zu prüfen.

Die Eigentümerinnen und Eigentümer können sich bei einem bestehenden Eigeninteresse auch als Private Initiative zur Stadtentwicklung nach § 171f BauGB zusammenschließen und im Sinne eines Climate Improvement Districts unter anderem energetische Quartierskonzepte erarbeiten, eine Energieberatung in Anspruch nehmen und auf eine dezentrale Strom- und Wärmeversorgung hinwirken. (Vorsteher 2023: 753). Auf der Grundlage eines gemeinsamen Maßnahmen- und Finanzierungskonzeptes können unter Hinzuziehung der Städtebaufördermittel Maßnahmen über eine gemeinsame Abgabe an einen Aufgabenträgenden umgesetzt werden (Kunert 2019: 217).

6.5. Städtebauliche Gestaltungsprinzipien der Kopplung von Ressourcenströmen zur Stärkung von Nutzungsmischung

Die durchgeführten Testplanungen in den zwei Fallstudienräumen erlauben über Erkenntnisse für die einzelnen Fallstudienräume hinaus auch die Ableitung allgemeiner Handlungsprinzipien. Diese erläutern folgend die räumlichen und planerischen Rahmenbedingungen für die Kopplung von Ressourcenströmen in Rückwirkung mit der Stärkung der Nutzungsmischung, und zwar für den Neubau sowie die Erneuerung und Weiterentwicklung des Bestands.

Prinzip 1: Geschlossene, dichte und klar zonierte Blöcke als Grundlage ressourceneffizienter Kreisläufe

Zur optimalen Ausnutzung der Fläche als Ressource sowie den Ressourcenaustausch wird eine Bauweise in Form von Baublocken empfohlen. Gesetzesbedingt sind die Blockgrößen so zu wählen, dass sie die Obergrenze für die „Gebäudenetze“ von max. 100 Wohneinheiten und 16 Gebäuden unterschreiten (siehe Kapitel 3.1.3), um lokale Netze ohne Abrechnungszwang gestalten zu können. Gleichzeitig sind bei Neubau größere Systeme innerhalb dieser Schwelle aufgrund ihrer Resilienz und Effektivität zu empfehlen. Ihr Aufbau mag mit wachsender Größe im Bestand komplexer und aufwändiger sein; dort richtet sich die geeignete Größe nach der Komplexität einzelner Eigentums- und Nutzerstrukturen und ihrem jeweiligen Willen zur systembezogenen Kooperation. Die Größe der Netze ist dort stets gegen den technischen und koordinatorischen Aufwand abzuwägen, auch mit dem Hinweis, dass bei weitbezogener Vernetzung eine übergeordnete Koordination seitens der Kommune der anderen Intermediären im Raum hilfreich oder gar notwendig sein kann. Hingegen besteht bei Maßnahmen auf eigenem Grundstück oder nur einigen wenigen Partnerinnen und Partnern eine höhere Umsetzungswahrscheinlichkeit. Für die Eigenschaften der einzelnen Systeme innerhalb des Blocks wäre es dann ideal, durch eine übergeordnete Koordination (zum Beispiel bei der Baugenehmigung) die Kompatibilität der einzelnen Systeme über einheitliche Schlüsselparameter der einzelnen Anlagen zu sichern, um eine eventuelle spätere Zusammenführung von einzelnen Systemen zu ermöglichen.

In geschlossener Bauweise werden in der Regel klare Gebäudevor- und -rückseiten im Sinne der Zuordnung und Orientierung zur öffentlichen Straße und dem halb-öffentlichen bis privaten Innenbereichen ausformuliert. Diese räumliche Zuordnung unterstützt eine klare Nutzungszonierung und -zuordnung von Räumen im Rahmen der angestrebten flächensparenden Nutzungsmischung auf der Baublockebene: lebendige und lärmende Nutzungen an der öffentlichen Straße; und private, immissionsempfindliche Nutzungen gen Innenhof, bzw. abgeschirmt in höheren Etagen. Zentral gelegene Freiräume begünstigen zudem die Verortung und Wartung gemeinsamer Ressourcenanlagen. Die geschlossene Bebauungsform schließt dabei einzelne Öffnungen der Fassaden oder die Einbeziehung von Hochhäusern aus. In Mischgebieten bzw. Urbanen Gebieten nach der BauNVO ist die geschlossene Bebauung nicht immer umsetzbar oder funktional erstrebenswert. Dennoch begünstigen einheitliche Anordnungsprinzipien die Verortung und den Betrieb gemeinsamer Ressourcenanlagen, da etwa abzuführende Niederschlagsmengen aus bebauten oder befestigten Flächen langfristig einfa-

zu ermöglichen. In der Gestaltung sind die Grünpflanzungen und Oberflächen (Pflanzenarten und Bodenaufbau) in Abstimmung mit dem Wassermanagement (z.B. Muldensysteme und Retentionsflächen) gemeinsam zu entwickeln. Näheres dazu bieten unter anderem Anleitungen, Beratungen und Praxisbeispiele der Berliner Regenwasseragentur oder des Umweltbundesamtes.

Dabei sind im dichten Baublock das kombinierte Denken und Planen von Grünflächen am Gebäude und im Freiraum zur Optimierung des Umgangs mit dem Oberflächenwasser zur Ressourcenkopplung grundlegend. Das Konzept des Wasserspeicherns ist dabei die Grundlage für einen potenziellen Kreislauf. Die baulich-technische Lösungen dabei können artifiziell-technischer Art durch zum Beispiel Zisternen am Gebäude sein, aber auch naturbasiert-gelöst durch zum Beispiel einen naturnahen, besonders wasserrückhaltenden Bodenaufbau von Retentionsflächen im Freiraum. Das zurückgehaltene Wasser kann zum einen in Form von einfachen passiven Konzepten aus Zisternen zur kontrollierten Wassernutzung im Freiraum (zum Beispiel der Bewässerung) genutzt werden. In komplexeren aktiven Systemen kann es in das Gebäude als Brauchwasser in Toilettenspülungen oder Waschmaschinen zurückgeführt werden (siehe Kapitel 3.3.2.).

Die aus der Dichte resultierende Knappheit an verfügbarem Freiraum als Sickerfläche für Niederschlagswasser im Baublock bedarf innovativer Ansätze für das Oberflächenwassermanagement. Laut der Studie zu Grundstücksübergreifenden Lösungen zur Regenwasserbewirtschaftung der Berliner Regenwasseragentur (2023) sind grundstücksbezogene Lösungen meist nur mit einer Dichte von bis zu 0,6 GRZ als generell ohne besonderen technischen bzw. baulichen Aufwand durchführbar. Dies entspricht der zulässigen GRZ in Mischgebieten, die in Urbanen Gebieten zulässige GRZ von 0,8 übersteigt diesen Wert. Bei Dichten über 0,6 GRZ und/oder versiegelten Freiflächen sind grundstücksübergreifende Lösungen effektiver. Das Einbeziehen von öffentlichen Flächen in das Wassermanagement von privat genutzten Grundstücken ermöglicht eine bessere Nutzung von Oberflächenwasser aus dem Straßenraum und gleichzeitig eine bessere Bewässerung von straßenbegleitenden Grünflächen. Entscheidend ist immer die Zusammensetzung des Bodenaufbaus bezüglich der Wasserdurchlässigkeit und des Grundwasserstandes sowie das natürliche Gefälle und die Abfluss- und Flutungsgegebenheiten aus den Nachbargebieten.

Gleichzeitig ist es zumeist technisch (Querung öffentlicher Leitungen) und prozessbezogen (administrativ) aufwändiger, diese grundstücksübergreifenden Lösungen herzustellen.

Abbildung 45: Kall - Oberflächenwassermanagement im Kreislaufgedanken mit Retentionsgärten (ohne Maßstab)

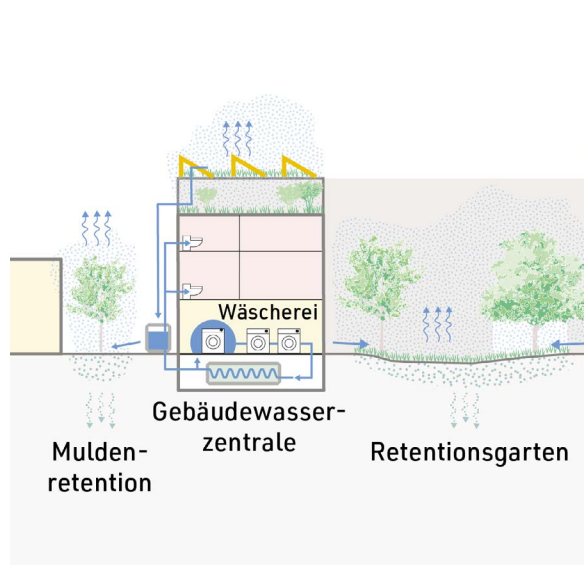
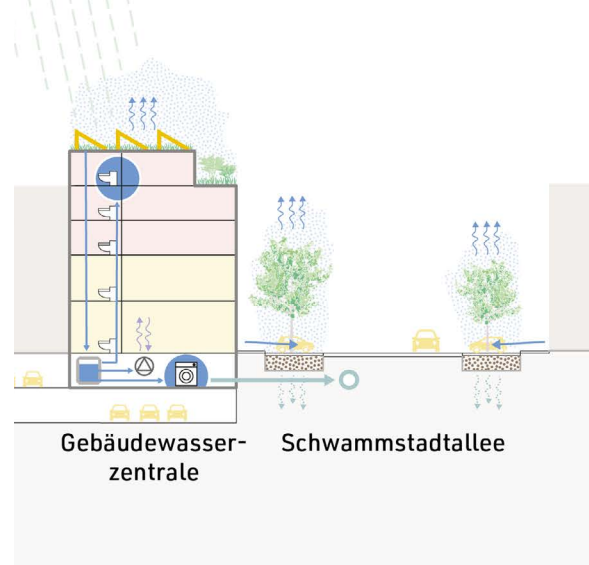


Abbildung 46: Glasmacherviertel - Oberflächenwassermanagement im Kreislaufgedanken im urbanen Kontext (ohne Maßstab)



In Kall (siehe Abb. 45) besteht in Bezug auf das (Oberflächen)Wassermanagement im Freiraum die besondere Herausforderung in der Kleinteiligkeit und dem geringen Anteil von Freiraum an den Grundstücken. Retentionsgärten fungieren hier aufgrund des Flächendrucks daher zum einen als naturnahe Lösung zur Retention, zum anderen als Freizeit- und Aufenthaltsorte für die Anwohnenden (siehe Kapitel 6.2.1.). Im Glasmacherviertel (siehe Abb. 46) liegt die Herausforderung im hohen Versiegelungsgrad der Böden, der unter anderem durch die Notwendigkeit der Tiefgarage nicht vermeidbar ist. Hier kommen Lösungen wie erhöhte Grüninseln mit wasserspeichernder Steinkörnung, Schwammstadtkörper aus sickertfähigem Substrat als naturnaher Zwischenspeicher und Zisternen als weitere Speicher in Vernetzung mit den Gründächern zum Einsatz, um das Oberflächenwasser möglichst auf dem Grundstück zu halten und weiter zu nutzen (siehe Kapitel 6.3.1.).

Prinzip 5: Flexibilität durch Modularität ermöglichen

Um das Prinzip 3 der Stärkung der Nutzungsmischung konsequent und zukunftsfähig weiterzuführen, muss eine hohe Anpassungsfähigkeit an Nutzungsveränderungen auf Block- und Gebäudeebene möglich sein (siehe Kapitel 3.4.). Das integriertes Denken und Entwerfen von flexiblen, modularen Grundrissen und modularen Techniksystemen ist damit grundlegend, damit bei Nutzungsänderung oder Anpassung der Grundrisse zum Beispiel durch Zusammenführung oder Entkopplung von Wohnungen auch die notwendige Anpassung des Techniksystems möglich ist. Modulare Grundrisse (Barankay 2016) finden sich in Gebäuden, die in standardisierte, wiederholbare Einheiten (Module) unterteilt werden, die je nach Bedarf angepasst und miteinander kombiniert werden können. So kann das Gebäude an sich verändernden Bedürfnisse angepasst werden (z.B. Anpassung der Wohnungsgrößen durch veränderte Nachfragen, Anpassung der Gewerbeflächen durch Veränderung der Produktionsbedingungen) (BAK 2023: 3). Diese Flexibilität der Nutzungen kann nur ganzheitlich und effizient gesichert werden, wenn auch die technischen Versorgungssysteme modular gedacht und geplant werden. Im ersten Schritt müssen daher auf Blockebene modulare, anpassbare Systeme auf verschiedenen Technikkomponenten entworfen werden, zum Beispiel durch Funktionstypen (siehe Kapitel 4.4.). Im zweiten Schritt werden in dieses System modulare Einzeltechnologien integriert, die flexibel bei Bedarfsänderungen angepasst werden können, zum Beispiel mit modularen Wärmepumpen mit Multi-Source-System, die wohnungsweise ergänzt werden können. Diese Art von modularen Technologien bieten sich besonders für die schrittweise Umrüstung des Bestands an, da Grundstücke und Gebäude dazugeschaltet werden können, sobald die Eigentümerinnen und Eigentümer für eine Umrüstung bereit sind.

Abbildung 47: Glasmacherviertel - Beispielsystematik für ein modulares Gesamtsystem im Glasmacherviertel (ohne Maßstab)

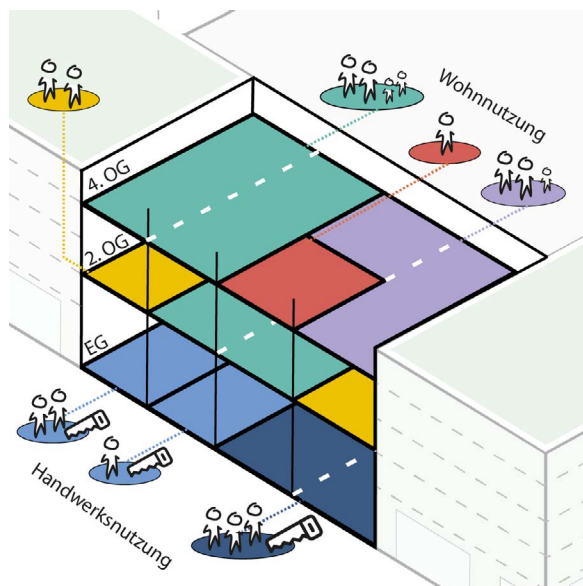
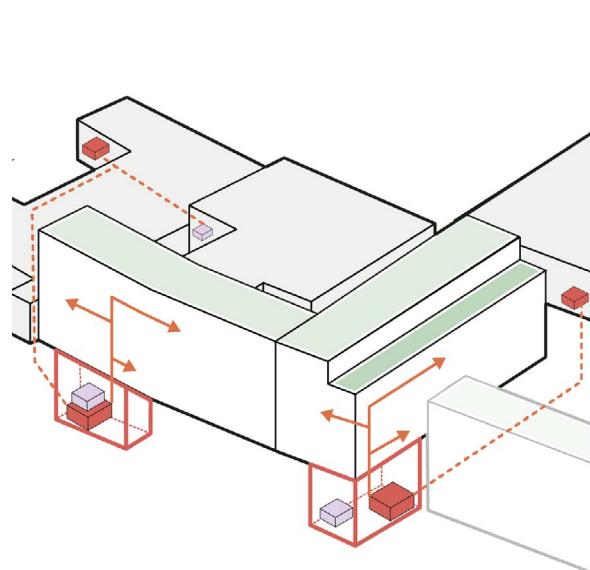


Abbildung 48: Kall - Modulares, gebäudeübergreifendes Technologiesystem (ohne Maßstab)



In Kall kann ein modulares Technikersystem den Neubau und den Bestand funktional zu einem Technologienetzwerk verbinden. Der Bestand kann dabei schrittweise aktiviert werden, sobald es durch Nutzungsänderungen oder die Wechselbereitschaft der Eigentümerinnen und Eigentümer notwendig oder möglich wird. Die modularen Technologien können in die zentralen Systeme des Neubaus integriert werden und werden daher von Beginn an als Option in die bauliche Ausgestaltung der technischen Anlagen mitgedacht (siehe Abb. 47). Im Neubau des Glasmacherviertels wird beispielsweise ein flexibles Grundrissystem durch Stützenraster als Tragsystem entworfen. Dadurch sind flexible Wohnungsgrößen möglich (siehe Abb. 48).

7. Der Transformationsprozess

7.1. Möglichkeiten und Grenzen der Wasserkopplung

In der ganzheitlichen Betrachtung der Aspekte Nutzungsmischung als urbane Ressource (siehe Kapitel 3), urbane Wasserkreisläufe und Technologien (siehe Kapitel 4) und Akzeptanz und Hemmnisse innovativer Technologiesysteme (siehe Kapitel 5) für den Transformationsprozess zur Kopplung von Ressourcenströmen durch innovative Technologien in Rückwirkung mit der Stärkung der Nutzungsmischung werden die Möglichkeiten und Grenzen der Wasserkopplung deutlich.

Die baulich-technischen Möglichkeiten sind so weit ausgereift und etabliert, sodass die angestrebten Kopplungseffekte erzielt werden können. In Bezug auf die Nutzung von Abwässern auf Gebäude- und Wohnungsebene ist die häusliche Stoffstromtrennung über neuartige Sanitärsysteme wie beispielsweise Trenntoiletten technisch inzwischen ausgereift und marktfähig (siehe Kapitel 4.3.). Damit sind entsprechende Potenziale zur Ressourcenrückgewinnung und (Ab-)Wassereinsparung vorhanden. Allerdings erfordert diese häusliche Stoffstromtrennung zusätzliche Systemelemente für die gesonderte Ableitung der unterschiedlichen Abwässer (Grauwasser, Schwarzwasser, Gelbwasser) oder moderne Trennanlagen, wodurch ein erhöhter Wartungs- und Betriebsaufwand für ablagerungsfreien Betrieb der Leitungen und damit zusätzliche Kosten entstehen. Die Einsatzmöglichkeiten von Grauwasser hängen maßgeblich von der Vorreinigung und der zur Verfügung gestellten Wasserqualität ab. Hier ist jeweils zu prüfen, wie hoch die Belastung des in das System eingeleiteten Abwassers ist und ob die Belastungen mit häuslichen Systemen hinreichend entfernt werden können. In Bezug auf die Abwärmenutzung hat sich die Wärmerückgewinnung aus handwerklichen Produktionsanlagen (z.B. Backöfen der Bäckereien) in der Recherche (siehe Kapitel 4.3.) und den Interviews (siehe Kapitel 5.2.5., Wirtschaftlichkeit) in kleinerem Maßstab als wenig praxistauglich herausgestellt, da die Anlagen bisher kaum darauf ausgelegt sind bzw. marktfähige Wärmerückgewinnungssysteme fehlen. Technisch ungeklärt ist, welches Temperaturniveau das gesonderte Wassersystem zum Wärmeaustausch zwischen den Nutzungen dauerhaft halten sollte, damit die darin eingebundenen Anlagen effizient funktionieren. Gekoppelte Wassersysteme zur Wärmewiederverwendung können allenfalls als komplementäres Wärmesystem in ein Hauswärmesystem eingebunden werden, da kein dauerhaft gleichbleibendes Wärmeniveau sichergestellt werden kann. Ein ähnlicher Aufwand gilt für die Einführung und den Betrieb von Brauchwasserleitungen für Toiletten. Im Zusammenhang mit dem Oberflächenwassermanagement kann dieses sinnvoll sein, um Trinkwasser zu sparen. Dabei sind die Mindestdurchflussmengen des Trinkwassers mit zu betrachten. Bei Neubau ist die Installation zusätzlicher Rohrleitungen sowie das Sammeln und Lagern des Oberflächenwassers als Nutzwasser aufgrund der Aufbauphase einfacher und im Gesamtbudget der Gebäudeerrichtung eher zu vernachlässigen. Die Installation in bestehende Gebäude verlangt hingegen einen noch höheren organisatorischen und baulichen Aufwand. Die aneinander gekoppelten Maßnahmen im und am Gebäude verlangen nach größeren Eingriffen und Investitionen, die zumeist aus finanziellen Rücklagen oder durch zusätzliche Umlagen oder Kredite finanziert werden müssen.

Die Herausforderungen liegen bei den gewachsenen Baustrukturen und Konstellationen der Akteurinnen und Akteure im Bestand. Zum einen ist der Einbau neuer Technologieanlagen im Bestand deutlich herausfordernder, da auf bereits gegebene räumliche Umstände und ihre Technologiesysteme reagiert werden muss (siehe Kapitel 5.4). Im Gebäudebestand spielt der aktuelle Zustand des jeweiligen Gebäudes und der Stand im Investitionszyklus eine Rolle für die Amortisierung und Investitionsmöglichkeiten. Nicht zuletzt unterliegen die Ressourcenproduzenten und Zulieferinfrastrukturen eigenen lebenszyklischen Investitionslogiken. So werden beispielsweise bestehende Abwasserleitungen in der Regel nicht früher als nach 40 Jahren erneuert. Bei übergeordneten Infrastrukturen kann die Lebenszeit bei 70 bis 80 Jahren liegen und bietet vorerst nur in diesen Zeitfenstern ökonomisch und betriebstechnisch sinnvolle Möglichkeiten zum Einbau effektiver Technologien wie Wärmetauscher (BBSR 2024). Somit ist die Aufrüstung auf bestimmte Zeitfenster fokussiert, wel-

che mit der Lebensdauer und den Ersatzphasen bestehender Versorgungssysteme zusammenhängen. Derzeit wird davon ausgegangen, dass die Dynamik der Umrüstung mit dem steigenden Alter der einzelnen Anlagen zunehmen wird (BDER 2024) und dass ihre Erneuerung auch Investitionen in weitere Systeme wie etwa der Kraft-Wärme-Kopplung zufolge haben kann (BMWK 2019). Bestandsgebäude weisen jeweils individuelle Voraussetzungen auf: Die Rahmenbedingungen unterscheiden sich zunächst generell durch das Alter und die damit verbundene Eigentumsform, Bauart und Ausstattung des Gebäudes. Handelt es sich um ein gründerzeitliches Gebäude, eines aus der Nachkriegszeit oder den 80er Jahren, so sind die technischen Voraussetzungen wie Wärmeerzeugungsart, Leitungsführung, Zuschnitt und Zugang oder Veränderbarkeit der Disposition oder Tragfähigkeit der Dachflächen zur Installation neuer Technologien maßgeblich (BMW 2014).

Zudem zeichnet sich die räumliche Grundstücksgrenze oftmals auch als Grenze für Technologiesysteme ab, besonders in Lagen mit kleinteiligen Eigentumsstrukturen. Kooperationen und geteilte Technologiesysteme sind bisher eher unüblich (siehe Kapitel 5.3.2.). Daher müssen die etablierten Konstellationen von Akteurinnen und Akteuren in Frage gestellt und an relevanten Stellen vernetzt werden. Die baulich-technische, aber auch systemische Komplexität im Bestand, führen zu höheren Kosten im Umbau (siehe Kapitel 5.2.5.). Im Neubau hingegen zeigt sich die Situation vereinfacht, da entsprechende technische Strukturen von Beginn der Planung an mitgedacht werden können. Allerdings ist es auch hier relevant, dass die umsetzenden Akteurinnen und Akteure der Wohnungswirtschaft (Bauherrinnen und Bauherren, Investierende) rechtzeitig integriert und rechtlich gebunden werden (siehe Kapitel 5.4). Im Zuge der kommunalen Wärmeplanung können Kommunen planerische Instrumente einsetzen, um Quartierslösungen umzusetzen, und so auch innovative Systeme implementieren (siehe Kapitel 3.1.2.2.).

Eine weitere Herausforderung stellt die Verfügbarkeit von Ressourcen und Technologien sowie deren Wirtschaftlichkeit dar. Aktuell ist Trinkwasser noch zu günstig, sodass die Investitionen für Grauwasseranlagen aktuell eine Hürde darstellen. Allerdings kann sich mit fortschreitendem Klimawandel auch die Wasserverfügbarkeit in Deutschland verändern, was sich aktuell schon in Form von regionaler Wasserknappheit in sommerlichen Trockenperioden andeutet. Die Einführung der Nationalen Wasserstrategie ist beispielsweise eine direkte Reaktion auf diesen Umstand (siehe Kapitel 4.1.). Bisher ist die Ressourcenkopplung vor allem bei Ressourcenknappheit sinnvoll. In Bezug auf die Umsetzung durch die Wohnungswirtschaft ist die Ressourcenkopplung oft dort möglich, wo auch eine gewisse Kaufkraft vorhanden ist. Die Projekte sind zunächst unwirtschaftlicher, solange sie vielfach noch im Stadium von Pilotprojekten sind. Es braucht also Nutzende/Eigentümerinnen und Eigentümer/Mietende, die die Mehrkosten zahlen können (siehe Kapitel 5.3.5.). Aber auch Wohnungsgenossenschaften haben andere Renditeerwartungen, sind häufig zukunftsorientierter und haben Interesse Dinge auszuprobieren. Einzelne Privatpersonen sind mit diesen Umständen eher überfordert (siehe Kapitel 5.3.5.). Auch basieren die bisher identifizierten wirtschaftlichen Vorteile gekoppelter Wassersysteme auf Hochrechnungen von Literaturkennwerten und sind durch Längsschnittstudien von Pilotprojekten zu verifizieren. Die Kosten-Nutzen-Betrachtung von innovativen Wasserkopplungssystemen sollte sich immer auf eine Gesamtkostenbetrachtung über die gesamte technische Lebensdauer der Anlage beziehen, da Betriebskostenvorteile erst längerfristig die erhöhten Investitionskosten ausgleichen (siehe Kapitel 5.2.5 und 5.3.5.).

Die Betrachtung der Möglichkeiten und Grenzen von Wasserkopplung verdeutlicht, dass die zu überwindenden Herausforderungen weniger auf der baulich-technischen und mehr auf der systemisch-prozessualen Ebene aufgrund von Lebenszyklen, technischen Pfadabhängigkeiten, Konstellationen von Akteurinnen und Akteuren, Organisations- und Betriebsmodellen sowie den Raumgrenzen liegen. Der Fokus zur Stärkung der Potenziale durch die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien liegt also zum einen in der Verbesserung der systemischen Voraussetzungen und zum zweiten in der Aktivierung der Akteurinnen und Akteure. Hierzu folgt eine weitere Betrachtung der handelnden Personen (Identifikation von Schlüsselakteurinnen und -akteuren in Kapitel 7.2.), dem Transformationsprozess (Kapitel 7.3.) in Verbindung mit den städtebaulichen Rahmenbedingungen (6.4.), um folgend in Kapitel 8 prozessbezogene Handlungsempfehlungen auszusprechen, besonders hinsichtlich der Überwindung bisheriger systemischer Hemmnisse.

7.2. Die Schlüsselakteurinnen und -akteure und ihr Netzwerk

Was sind Schlüsselakteurinnen und -akteure?

Als Schlüsselakteurinnen und -akteure werden die involvierten handelnden Teilnehmenden im Transformationsprozess definiert, die in Schlüsselmomenten die notwendige Handlungsfähigkeit besitzen oder durch ihre eigenständige Handlungsfähigkeit Schlüsselmomente initiieren können.

Die Schlüsselakteurinnen und -akteure zur Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien leiten sich aus der Akteursanalyse ab (siehe Kapitel 5.1.1). Es handelt sich vorrangig um Akteursgruppen beim Prozess der Marktdiffusion neuartiger Technologien und Konzepte. Neben Anwendenden und Nutzenden als Akteurinnen und Akteure aus der Praxis handelt es sich um Akteurinnen und Akteure mit großen Einflussmöglichkeiten im Transformationsprozess. Die Übersicht der Handlungsebenen (Tabelle 37) zeigt die relevanten Akteursgruppen. Sie unterscheiden sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Rollen und Funktionen zumeist in ihrer Handlungsfähigkeit; also den Möglichkeiten zur Einflussnahme bei der Implementierung innovativer Technologiesysteme. Die Akteurinnen und Akteure bedienen die Handlungsebenen des Verwaltens und Regulierens, des Planens und Umsetzens, des Nutzens und Erzeugens. Die Schlüsselakteurinnen und -akteure qualifizieren sich zum einen durch ihre aktive, entscheidungstragende Rolle im Transformationsprozess (z.B. die Kommunen), aber auch durch ihre gegebene Existenz, wie etwa die Nutzenden.

Tabelle 37: Übersicht der Akteurinnen und Akteure im Prozess der Implementierung innovativer Technologiesysteme

Handlungsebene 1 Verwalten und Regulieren	- Politik / Gesetzgebung / Normungs-Institutionen (DIN / ISO / DWA) - Kommunalverwaltung - Fördermittelgebende
Handlungsebene 2 Planen und Vermitteln	- Planende - Interessenvertretungen Handwerk und Gewerbe
Handlungsebene 3 Umsetzen, Erzeugen und Nutzen	- Anlagenherstellung, Herstellende von Technologien - Wohnungswirtschaft - Versorgungsunternehmen - Nutzende (Handwerk) - Nutzende (Bewohnende)

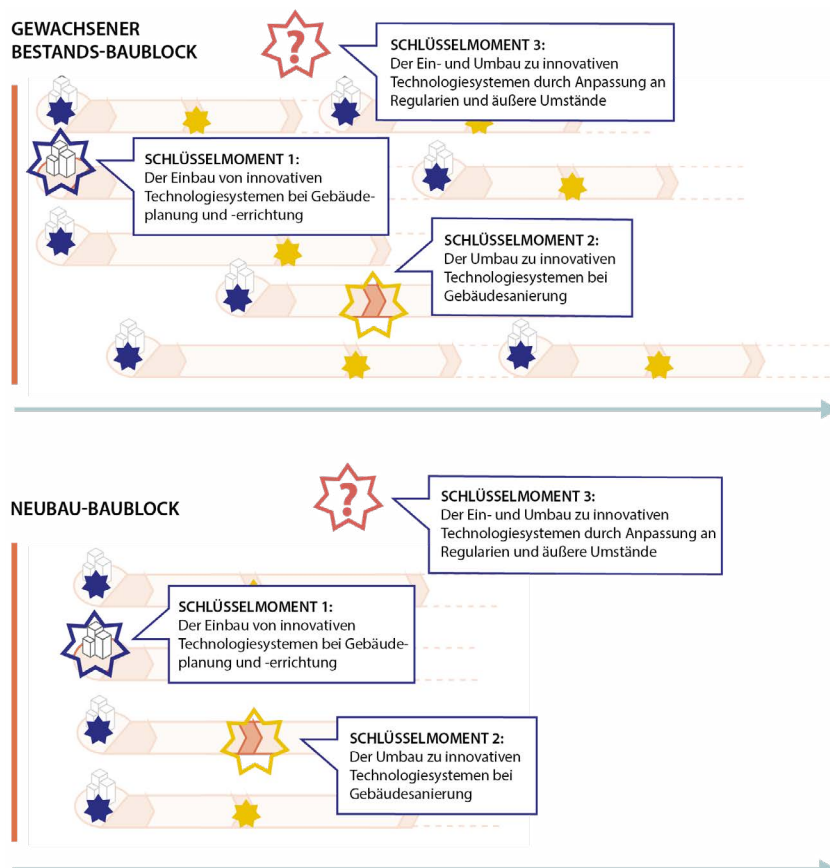
7.3. Der Transformationsprozess

Was sind Schlüsselmomente?

Als Schlüsselmomente ("Windows of opportunity") werden die Momente des Transformationsprozesses bezeichnet, an denen es betrachtungsebenenübergreifende Gelegenheiten zur Implementierung innovativer, kopplungsfähiger Technologiesysteme gibt. Diese werden maßgeblich von ihrem räumlichen Kontext, den Gebäudezyklen im Baublock, den Lebenszyklen der technischen Infrastruktur und den involvierten Akteurinnen und Akteure beeinflusst.

Aus den Erkenntnissen bei der Entwicklung der städtebaulichen Szenarien und der Anwendung entsprechender integrierter Technologiekonzepte in den Fallstudien lassen sich zwei Prozessbausteine ableiten, die maßgeblichen Einfluss auf den Transformationsprozess zum ressourceneffizienten Baublock haben: 1. Der Gebäudelebenszyklus im Baublock (Gebäudeforum Klimaneutral 2021: 2) (siehe Kapitel 7.3.1.) und 2. die einzelnen Phasen zur Implementierung innovativer Techniksysteme (siehe Kapitel 7.3.2.). Überlagert man diese beiden Modelle, ergeben sich die relevanten Schlüsselmomente zur Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien. Durch die Überlagerung der Transformationsschienen der Gebäudezyklen im Baublock (siehe Kapitel 7.3.1.) und der Phasen zur Implementierung innovativer Technologiesysteme (siehe Kapitel 7.3.2.) mit dem Akteursnetzwerk (siehe Kapitel 7.2.) werden die Schlüsselmomente zur Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien identifiziert.

Abbildung 49: Schlüsselmomente ("Windows of opportunity") des Transformationsprozesses in Bestand und Neubau



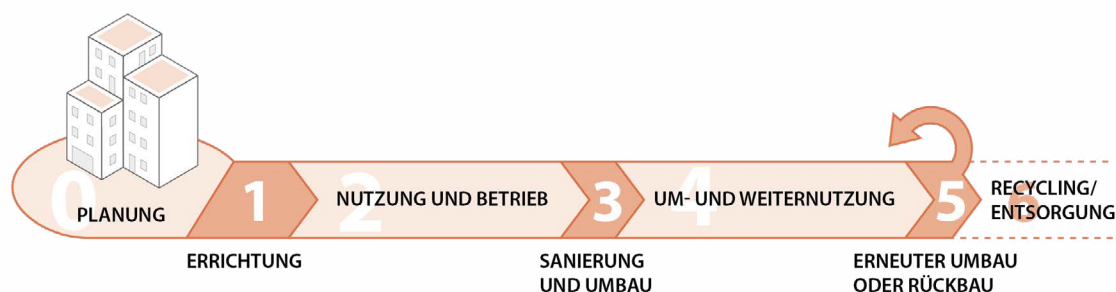
Anhand dieser Überlagerung können drei wesentliche Schlüsselmomente identifiziert werden (siehe Abb. 49):

- der Einbau von innovativen Technologiesystemen im Zuge der Gebäudeplanung und -errichtung (Schlüsselmoment 1),
- der Umbau zu innovativen Technologiesystemen bei Gebäudesanierungen (Schlüsselmoment 2) und
- die Umbaunotwendigkeit oder -möglichkeit aufgrund von veränderten Regularien und äußeren Umständen (Schlüsselmoment 3).

7.3.1. Die Gebäudezyklen im Baublock

Durch die Entwicklung der zwei Szenarien in den exemplarischen Fallstudien Glasmacherviertel und Kall wurde auch der Gebäudezyklus eines Baublocks betrachtet (Abb. 50). Der Lebenszyklus eines Gebäudes setzt sich generell aus den Phasen 0. Planung und (Baustoff)Herstellung, 1. Errichtung, 2. Nutzung- und Betrieb, 3. Instandhaltung und Modernisierung (Sanierung und Umbau), 4. Umnutzung/Weiternutzung, 5. Erneuter Umbau oder Rückbau, 6. Wiederverwendung/Recycling/Entsorgung zusammen (Gebäudeforum Klimaneutral 2021: 2) (Polívka, 2016). Die Prozesse sind mit jeweils unterschiedlichen Zeitspannen und Ressourceneinsatz verbunden und treten als Phasen nicht immer vollständig auf; Gebäude verbleiben oft länger in der Nutzungsphase. Die Erneuerungsprozesse hingegen sind abhängig von den Eigenschaften einzelner Gebäudebaubestandteile (Dach, Fenster, Fassade) oder technischen Infrastrukturen (Heizanlage, Fahrstuhl, Leitungen), die eigenen Nutzungs- und Funktionszyklen sowie Lebensdauern unterliegen.

Abbildung 50: Der Lebenszyklus eines Gebäudes



Der Prozess im Neubau (Neubauquartier Glasmacherviertel)

Der Implementierungsprozess im Neubau zeichnet sich als recht linearer Prozess ab. Durch eine einheitliche Initiierung zum Bau gleichen sich die Gebäude in Alter, Bausubstanz und dem Stand der technologischen Ausstattung. Im Zeitverlauf sind in Bezug auf die Gebäudetechnik zunächst ähnliche Austausch- und Sanierungsrhythmen und somit einheitliche Umbaumomente nach bis zu etwa 40 Jahren der Nutzung zu erwarten. Dieses zeitliche Potenzial bietet Schlüsselmomente für eine weitergehende Transformation. In dieser Zeitspanne sollten einerseits die Ressourcen für die Sanierungen aufgebaut, lokale Akteursnetzwerke gebildet sein, sodass die Sanierung oder ein technologischer Umbau möglich sind. Erst im weiteren Zeitverlauf werden die Lebenszyklen insbesondere aufgrund der Diversifizierung und des Austausches von Nutzenden aufgrund komplexer werdenden Eigentums- und Mietstrukturen (siehe weiter unten) unterschiedlich. Für den Implementierungsprozess ist es wichtig, das Ressourcenkonzept bereits in die Planungs- und Herstellungsphase zu integrieren, um von entsprechenden Synergien der Bauerrichtung profitieren zu können.

Der Prozess im Bestand (Bestandsquartier Kall)

Der Transformationsprozess bereits bestehender, durch Aufbau entstandener (etwa im Rahmen städtebaulicher Entwicklungsmaßnahmen wie Großsiedlungsensembles „aus einem Guss“) oder historisch gewachsener Bestandsquartiere (in Kall) geben insgesamt ein heterogenes Prozessbild ab. Auch wenn es häufig eine erste Entwicklungsphase mit einheitlicher Gebäudeentwicklung gibt, wird diese mit den folgenden, späteren Bauergänzungen zeitlich überlagert (Hesse 2013). Daraus resultiert ein heterogener Gebäudebestand in Alter, Bausubstanz und besonders in Bezug auf die Aktualität des technologischen Stands der Ausstattung, da diese zu unterschiedlichsten Zeitpunkten ein- und umgebaut wurde. Gleichzeitig wird auch die Akteurslandschaft heterogener (ibid.). Insofern ist die Identifikation von potenziellen Schlüsselmomenten in derartigen Quartieren ungleich komplexer als im Neubau. Die im Bestand bereits etablierten Infrastrukturen und Akteurinnen und Akteure können mit Konfliktsituationen und Pfadabhängigkeiten hemmend auf Veränderungen wirken.

Bislang ist zu der tatsächlichen Innovationsbereitschaft unterschiedlicher Eigentums-, Akteursstrukturen und ihrer institutionellen Settings in Bezug auf die Implementierung von Technologien der Energiewende nur wenig bekannt. Auch daher widmet dieser Bericht den akteursbezogenen Hemmnissen einen besonderen Fokus (siehe Kapitel 5). Da die Mehrheit des baulichen Bestands in Deutschland in den Händen von Einzeleigentümerinnen und -eigentümern liegt und in Eigennutzung steht, lag der bisherige Fokus vor allem im Bereich des Bestands im Einzeleigentum, und somit etwa den Einfamilienhäusern. Diese weisen aufgrund der Größe und Akteurinnen und Akteure eine deutlich einfachere Ausgangssituation als etwa innerstädtische Geschossbauten historisch gewachsener Baublöcke auf.

Darüber hinaus gehören stadtteilweite Projekte wie die Innovation City in Bottrop zu Vorreitern der technologischen Bestandsanpassung, auch hier handelt es sich allerdings zumeist um Immobilien im Einzeleigentum. Aufgrund ihrer guten organisatorischen Kapazität, Kapitalstärke und ähnlichen Bestandstypen sind auch Bestände von Wohnungsunternehmen und ähnlichen im Vorteil. In den letzten Jahren haben vor allem städtische Wohnungs- und Immobiliengesellschaften einen deutlichen Sanierungsfortschritt auch im technischen Bereich der Energieeinsparung erzielen können, unter anderem durch Entstehung von Kooperationen zwischen Energie- und Wohnungsunternehmen (Rottmann et al. 2017). Sie können institutionelle Anforderungen aufgrund ihrer Steuerungskraft und Bestandsgröße als flächige Maßnahmen im Block deutlich einfacher umsetzen.

Die weitaus größere Herausforderung für die Energiewende stellen sogenannte gewachsene urbane Strukturen im Bestand und hohen Nutzungsdichten dar, und das obwohl sie gleichzeitig hohe Potenziale für Synergien zwischen Effizienzmaßnahmen und Energieerzeugung aufweisen. (Fraunhofer IEE 2021, 9). Besonders aufwändig gestaltet sich der Einsatz neuer Technologien bei komplexeren Eigentumsstrukturen wie etwa den Eigentumsgemeinschaften (vgl. EBZ 2016), und das, obwohl das Wohnungseigentumsgesetz seit 2020 deutlich günstigere Rahmenbedingungen zur Umsetzung nachhaltigkeitsbezogener baulicher Maßnahmen bietet und ein entsprechendes Angebot an Fördermitteln besteht (Stiftung Warentest 2022).

7.3.2. Phasen der Implementierung innovativer Technologien

Neben der Integration in (bestehende) räumliche Systeme müssen sich innovative Technologien in bestehende organisatorische Systeme aus Reglements (siehe Kapitel 6.4.) und ein Netzwerk aus Akteursinteressen sowie -hemmnissen (siehe Kapitel 5.2 und 5.3.) einfügen. Die Implementierung einzelner Maßnahmen unterliegt, wie erwähnt, einem jeweils eigenen Zeitplan mit Pfadabhängigkeiten der jeweiligen Systeme im Gebäude und darüber hinaus. Die Sektorenkopplung zieht eine zusätzliche konzeptionelle und technische Komplexitätssteigerung nach sich (Fraunhofer IEE 2021). Zur prozessualen Einordnung dieses organisatorischen Systems in das jeweilige Akteursumfeld bietet sich die Anlehnung an das Modell „Diffusion of Innovation“ (Rogers 2003: 169).

Dabei läuft die Implementierung innovativer Technologiesysteme in Bezug auf die betroffenen Akteurinnen und Akteure in Phasen ab; beginnend bei: 1. der Bewusstseinsbildung, folgend 2. Information und Beratung, 3. Planung und Umsetzung, 4. Betrieb und Reparatur, und 5. dem Rückbau. Die Zuordnung der Akteurinnen und Akteure zu den jeweiligen Phasen sowie die Ableitung ihrer Handlungsmöglichkeiten zu dem Zeitpunkt erfolgt als Folgerung aus den Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Steigerung der Akzeptanz und Überwindung der identifizierten Hemmnisse (siehe Kapitel 5.4). Die identifizierten Akteursgruppen übernehmen in den einzelnen Phasen je unterschiedliche Funktionen.

Abbildung 51: Phasen zur Implementierung innovativer Technologiesysteme



8. Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen für die Praxis

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts zeigen, dass Hemmnisse für innovative Technologiekonzepte oft nicht bei den Möglichkeiten der Technologien und ihrer Leistung liegen, sondern bei der Integration und Umsetzung in laufende räumliche Transformations- und akteursbezogene Handlungsprozesse (siehe Kapitel 5.4.). Daher liegt der Fokus der Handlungsempfehlungen auf der strategischen Prozessgestaltung im Sinne einer nachhaltigen Stadttransformation durch Kopplung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien. Die folgenden Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt und daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen dienen als Handreichung mit praktischem Charakter. Dabei werden insbesondere die Möglichkeiten für den Weg der Forschungsergebnisse in die Praxis durch die Benennung der zu aktivierenden Akteurinnen und Akteure (Schlüsselakteurinnen und -akteure) aufgezeigt. Die Handlungsempfehlungen zielen auf die Integration von Nutzungsmischung und Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien ab.

Konkrete Empfehlungen für die funktionale und bauliche Ausgestaltung der Technologiesysteme werden im Kapitel 6.5. mit den städtebaulichen Gestaltungsprinzipien zur Kopplung von Ressourcenströmen zur Stärkung der Nutzungsmischung gegeben. Die Empfehlungen zum Aufbau und Ausgestaltung der Technologiesysteme und ihrer technischen Anlagen finden sich in Kapitel 4.6. mit den Handlungsempfehlungen für urbane Wasserkreisläufe und innovative Technologiesysteme mit dem Fokus Wasser.

Um die praktischen Handlungsempfehlungen zum Ein- und Umbau innovativer Technologiesysteme zur Stärkung der Nutzungsmischung formulieren zu können, wurden die Ergebnisse der Arbeitspakete und der zwei Testentwürfe beispielsweise zusammengefasst, um die Abläufe und Teilschritte des Transformationsprozesses sichtbar zu machen (Ausführung in Kapitel 7.3.). Dabei werden die jeweiligen Schlüsselakteurinnen und -akteure aufgezeigt (siehe Kapitel 7.2.) und den entsprechenden Schlüsselmomenten zugeordnet, in denen sie durch ihren Handlungsspielraum die Möglichkeit zur direkten Einflussnahme und Gestaltung des Transformationsprozesses besitzen (siehe Kapitel 8.2.). Für diese Schlüsselmomente werden dann jeweils zielgruppen-spezifische Handlungsempfehlungen ausgesprochen (siehe Kapitel 8.3. bis 8.5.). Diese sollen die Umsetzung der städtebaulichen und funktionalen Voraussetzungen sowie der technologischen Maßnahmen in die Praxis befördern, indem sie die Möglichkeit zur rechtzeitigen Einbindung der Schlüsselakteurinnen und -akteure ermöglichen.

Das integrierte Denken von Transformationsmomenten im Prozess in Kombination mit den involvierten Akteurinnen und Akteuren erleichtert ein vorausschauendes und gezieltes Planen und Handeln in einem nahen Zeithorizont. Dazu werden fünf thematische Handlungsfelder für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien hervorgehoben:

- *Kooperation und Kommunikation stärken,*
- *Innovationen und Kreisläufe fördern,*
- *Nutzungsmischung als urbane Ressource sichern,*
- *Kommunale Wärmeplanung und Aktivierung von Abwärmepotenzialen und*
- *Integriertes Planen mit agilen Regelwerken unterstützen.*

8.1. Handlungsfelder für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien

Die Handlungsfelder für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien werden im Folgenden im Überblick mit ihrer zeitpunktübergreifenden Relevanz im Transformationsprozess vorgestellt.

Die Schritte und Instrumente zur Umsetzung werden in den folgenden Handlungsempfehlungen mit dem jeweiligen Bezug zu den Schlüsselmomenten 1 bis 3 ausgeführt (Kapitel 8.2., 8.3. und 8.4.).

Handlungsfeld: Kooperation und Kommunikation stärken

Um die Kommunikation und Kooperation aller relevanter Akteurinnen und Akteure im Bereich der Abwasserwärmenutzung zu stärken, ist eine aktive und frühzeitige Einbindung aller betroffenen Stakeholder essenziell. Die Kooperation zwischen Stadtwerken, Wohnungswirtschaft, Tiefbau und weiteren relevanten Beteiligten wird durch partizipative Planungsprozesse sowie den regelmäßigen Erfahrungsaustausch, zum Beispiel in Form von runden Tischen, Exkursionen und Tagungen, gefördert. Dies trägt dazu bei, Vorbehalte gegenüber neuen Technologien abzubauen und Informationsdefizite sowie mangelndes Erfahrungswissen zu überwinden (siehe Kapitel 5.4.). Dabei kann der systematische Austausch zwischen den Akteurinnen und Akteuren aller Handlungsebenen Lerneffekte erzielen und die Entwicklung sowie Nutzung innovativer Technologien zur Kopplung von Wasserströmen antreiben.

Auf kommunaler Ebene ist die frühzeitige Information von potenziell umsetzenden Handelnden der Wohnungswirtschaft wie Investierenden und Bauherrinnen und Bauherren zu neuen kommunalen Projekten und den jeweiligen Möglichkeiten der Potenziale der Abwasserwärmenutzung wichtig. Dabei sollten Informationen zu vorhandenen Infrastrukturen wie Kanalleitungsnetzen, Potenzialatlanten und Machbarkeitsstudien bereitgestellt werden, um die Umsetzbarkeit von Projekten zu prüfen. Zudem sind Beratungsangebote und die aktive Ansprache relevanter Akteurinnen und Akteure notwendig, um gemeinschaftliche Energienutzung im Quartier und Sanierungszyklen zu thematisieren.

Die Projektergebnisse sprechen für eine Einbindung des Gewerbes und Handwerks über seine Interessenvertretungen. Der Grund liegt in der Komplexität der Umsetzung von Technologieimplementierung in Gebäuden, welche eine Kooperation und Koordination der Gewerke notwendig macht, um Potenziale zur Nutzungsmischung auszuschöpfen. Die Interessenvertretungen des Handwerks können zudem durch ihre Vernetzung mit Anlagenherstellenden und Investierenden, zum Beispiel über Veranstaltungen der Handwerkskammern, als Intermediäre zur Integration gekoppelter Energiesysteme in die Betriebsstätten des Gewerbes beitragen. Ansprechpersonen für die Anlagenherstellenden können zudem die Beratungsstellen für Innovation und Technologie der Fachverbände des Handwerks sein; die Fachverbände wiederum können in den etablierten Angeboten der Betriebsberatung die Betriebe aktiv auf innovative Technologielösungen (und entsprechende Fördermöglichkeiten wie das KfW-Programm 263 für Nicht-Wohngebäude) hinweisen.

Auf gesetzgeberischer Ebene trägt die Einbindung von Nachhaltigkeitsstrategien wie der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) sowie die Stärkung der Ressourcenkopplung in politischen Plänen wie dem Klimaschutzplan 2050 des Bundes zur Bewusstseinsbildung bei. Ferner sollte die Rolle der Immobilienverwaltungen bei der Umsetzung von ressourcenbezogenen Maßnahmen klarer und aktiver gestaltet werden; die würde insbesondere die Wohneigentümergeinschaften (WEG) unterstützen, die nicht selten Eigentum in komplexen städtischen Lagen besitzen. Auch sollten allgemein gültige Normenstandards für die technischen Anlagen der Energiekopplung festgelegt werden, um Flexibilität und Kompatibilität bei nachträglichen Zusammenführungen von Einzelsystemen zur erleichtern.

Planende Beteiligte können Beratungen zu Organisationsstrukturen und vertraglichen Modellen für dezentrale Technologien im Stadtraum (unter anderem städtebauliche Verträge zur Regelung von Ressourcenkoppelung) anbieten, Planungsgrundlagen und Raumdaten liefern. Die Integration neutraler Sachverständiger aus dem Gebäudesanierungs-, -energie- und Wärmeversorgungsbereich, wie auch die Energieberatung und Heizungs-Check der Verbraucherzentralen können den Planungs- und Vorbereitungsprozess unterstützen und die Machbarkeit von Projekten zu bewerten. Leitfäden der Abwasserwärme (wie etwa der Leitfaden Berliner Wasserbetriebe) können von Kommunen zur Orientierung bei der Planung, Steuerung und Umsetzung von Abwasserwärmeprojekten eingesetzt werden.

Wenn Nutzende (Bewohnende und Gewerbetreibende) ihre Verbräuche durch Smart-Meter (Intelligenten Energie-Messsysteme) erfassen und zum Beispiel in Plattformen der Interessenvertretungen des Handwerks und Gewerbes weitergeben, können über Open-Data-Ansätze transparente Grundlagen für weitere Anpassungen der Technologiesysteme geschaffen werden.

Handlungsfeld: Innovationen und Kreisläufe fördern

Um die Transformation der Städte voranzutreiben, ist ein System des Förderns und Forderns notwendig. In den letzten Jahren haben sich die politischen Rahmenbedingungen aufgrund extremer Hitzeperioden geändert, und es gibt bereits zahlreiche Förderprogramme für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, die jedoch hinsichtlich bürokratischer Hürden und der Flexibilität verbessert werden müssen. Aktuell gibt es bereits eine Reihe von Förderprogrammen, um Gebäude, Frei- und öffentliche Flächen im Sinne einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung umzubauen. Gerade die langen Hitzeperioden der letzten Jahre haben hier die Politik und somit die Landes- und Bundesministerien zu einem Umdenken geführt. Verbesserungspotenzial besteht daher vor allem darin, die Förderprogramme hinsichtlich ihrer bürokratischen Hürden bei der Beantragung und Abrechnung zu vereinfachen und aufeinander abzustimmen und zu flexibilisieren. Denn: Aktuell werden tendenziell Einzelelemente und keine ganzheitlichen Maßnahmen einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung gefördert. Die größte Flexibilität bieten spätestens seit der letzten Anpassung der Förderprogramme 2020 vor allem Programme der Städtebauförderung, bei denen Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung zumeist als Standortaufwertung interpretiert werden und damit flexibel gefördert werden können. Es lohnt sich daher, unter Umständen auch für weitere Fördermittelvergaben auf Landes- und Bundesebene, sich an solch flexiblen Regelungen zu orientieren. Auch für den Fall, dass entsprechende Landesfördermaßnahmen ergänzend und gezielt wirken sollen, würde man bei Förderung von ressourcenbezogenen Energiemaßnahmen im Bestand noch stärker nach dem Prinzip von nach Komplexität gestaffelten einheitlichen „Baukasten“-Förderkatalogen sowohl der Komplexität der Maßnahmen als auch dem Flexibilitätsanspruch ihrer Anwendung gerecht werden.

Umgekehrt braucht es gerade aufgrund der Diversität und Persistenz der Hemmnisse ein System des Forderns. Gerade in Anbetracht der langen Erneuerungszyklen technischer und infrastruktureller Anlagen sollten Gelegenheitsfenster konsequent genutzt werden. Investierende, die zum Beispiel die Gebäudedächer und -fassaden sanieren, sollten daher stets auch deren Eignung für weitere technologischen Optimierungen wie Solaranlagen, aber auch Begrünungsmaßnahmen und die Abkopplung von Niederschlagswasser, prüfen müssen. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben durch das Gebäude-Energie-Gesetz (GEG), Bundes-Klimaschutzgesetz und Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sowie das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (WPG) werden mit den nächsten wesentlichen Erneuerungen von Dächern, Fassaden und einzelnen Heizungsanlagen die Notwendigkeit wesentlicher koordinierter baulich-technischer Maßnahmen zunehmen. In vielen Kommunen werden Anforderungen durch Satzungen zu Dachbegrünung (zum Beispiel in Essen: Entwässerungsabgabensatzung (EAS)) oder Solaranlagenkapazitäten (zum Beispiel in Berlin: Solargesetz Berlin) weiter ausgeführt. Gleiches sollte allerdings auch für den Straßenumbau oder die Weiterentwicklung öffentlicher oder privater Freiflächen gelten. Eine darüberhinausgehende Aufforderung müsste die Kopplung der Systeme über die Grundstücksgrenzen und die privaten und öffentlichen Flächen hinaus als Quartierslösungen begünstigen oder zumindest deutlich vereinfachen. Dies gilt auch für einfache Maßnahmen wie die

Entsiegelung von befestigten Flächen, wie etwa aus den Niederlanden mit dem Bottom-Up-Projekt „Tegelwippen“ (EU-Umweltbüro, o.J.), deren Ansatz und Erfahrung sollten in die Konzeption neuer und in den Umbau von Freiflächen einbezogen werden.

Die Kommunen können aktiv Fördermittel aus Landes- und Bundesprogrammen wie dem BAFA-Programm: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) oder BAFA und KfW-Programm: Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) einwerben, um den Stadtumbau mit gekoppelten Ressourcenkreisläufen zu unterstützen. Dazu gehört die Information der Wohnungswirtschaft über Fördermöglichkeiten wie durch die KfW-Bank, die Unterstützung von energetischen Sanierungen auf Quartiersebene sowie die transparente Kommunikation von Fördermöglichkeiten an potenzielle Umsetzende der Wohnungswirtschaft wie mit dem KfW-Programm 261 (Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG)). Zudem müssen kommunale Satzungen wie auf die Förderung von Ressourcenkopplung und -effizienz überprüft und ggf. angepasst werden.

Planende Beteiligte können die Potenziale des baublock-internen Ressourcenaustauschs analysieren und Maßnahmen zur Ressourceneinsparung durch baulich-technische Lösungen gezielt planen (siehe Kapitel 6.5.). Dazu zählt die Integration und Kopplung von Technologien zur Nutzung von Oberflächenwasser und zur Abwassernutzung in die Konzept- und auch verbindliche Bauleitplanung (Bebauungspläne, ggf. städtebauliche Verträge).

Herstellende von Anlagen sollten für (modulare) Wärmetauschsysteme Finanzierungs- und Betriebsmodelle anbieten, da Investitionen in komplexe Anlagen für viele Eigentümerinnen und Eigentümer kostspielig sind. Standardisierung und Modularisierung der Anlagen könnte zur weiteren Kostensenkung beitragen. Versorgungsunternehmen können mit Pilotprojekten energetisch-innovative Quartierskonzepten wie dem Hamburg Water Cycle der Jenfelder Au in Hamburg umsetzen und dezentrale Wärmeversorgungssysteme wie Nahwärmeinseln errichten und etablieren. Die Wohnungswirtschaft kann aktiv im Einbau innovativer Technologien wie neuartige Sanitärsysteme mit Grauwassernutzung oder wärmeisolierte Brauchwasserleitungen integrieren. Gleichzeitig können in Umbaumomenten (Schlüsselmoment 2) die Gelegenheiten bei Sanierungsmaßnahmen genutzt werden, um entsprechende technologische Optimierungen umzusetzen. Ihr Monitoring im Dialog mit dem Handwerk vor Ort kann den Technologieeinsatz deutlich erleichtern und beschleunigen.

Handlungsfeld: Nutzungsmischung als urbane Ressource sichern

Im Verständnis der Stadt mit ihren Stoffströmen als Ressource gilt es, die Nutzungsmischung im Sinne eines komplexen In- und Outputsystems (konsumieren und produzieren) zu sichern (vgl. Kapitel 3.1.1.). Die entsprechende Mischung aus Wohnen und Gewerbe muss zum einen (planungs)rechtlich hergestellt und gesichert werden, zum anderen im positiven Bewusstsein durch ihren Mehrwert im Verständnis der Stadtgesellschaft trotz partieller Nachteile wie etwa ein erhöhtes Lärmrisiko verankert sein. Nur mit einem Umdenken kann die mischgenutzte Stadt als planungssichere und zukunftsfähige Ressource in übergeordnete Konzepte der Ressourcen- und Kreislaufplanung integriert werden.

Die Kommune spielt eine zentrale Rolle bei der Sicherung der Nutzungsmischung. Dies geschieht durch eine gezielte Bauleitplanung, die eine vertikale und horizontale Nutzungsmischung auf der Blockebene samt der Gewerbeansiedlungen fördert, beispielsweise durch die Festlegung nutzungsgemischter Bauflächen (SO/MI/MU) und die damit verbundenen Immissionsschutzbestimmungen. Zudem schafft die Bauleitplanung städtebauliche Rahmenbedingungen, wie die Festlegung geeigneter Geschosshöhen im Erdgeschoss für Gewerbenutzungen.

Weiterhin gilt es, bestehende Mischnutzungsstrukturen zu sichern. Diese kann die Kommune unter anderem über die Erhaltungssatzung nach §172 BauGB erreichen. So wird die Erhaltungssatzung unter anderem in der Stadt Hamburg im Bezirk Hamburg-Mitte in besonders von Umstrukturierungs- und Verdrängungsprozessen betroffenen Stadtgebieten angewandt.

Als gebündelte Stimme des Handwerks sollten die Interessenvertretungen des Gewerbes und Handwerks wie Handwerkskammern oder -innungen aktiv mit der Kommune zusammenarbeiten, um die lokalen Bedürfnisse des Handwerks bei der Erstellung von Bauleitplänen zu kommunizieren und sicherzustellen. Die Bedarfe können beispielsweise durch Bedarfsanalysen durch die Fachverbände des Handwerks in Mietgliederumfragen aufgenommen werden. Bei der Kommunikation der Interessen werden lokale Vertretungen wie die lokalen Kreishandwerkerschaften und die lokalen Handwerks-Innungen als Schnittstellen relevant; zum einen als Ansprechpartner für die Gemeinde, aber wesentlicher noch als Mittler zu den lokalen Gewerken. Die jeweiligen Vorstände wie die lokalen Obermeister der Innungen haben durch ihre direkte Zugehörigkeit hohes Aktivierungspotenzial, wenn es zum Beispiel um die Akzeptanzsteigerung von Transformationsprozessen geht.

Die Wohnungswirtschaft kann durch die Herstellung nutzungsflexibler Gebäudetypen zur vertikalen Nutzungsmischung beitragen. In der Konzeption von Baublöcken können durch Modulbauweisen Gebäude in ihren Grundrissmöglichkeiten flexibel gestaltet werden, sodass sie mindestens in den in Erdgeschossen bei Nutzungsänderungen einfach angepasst werden können. So wird sichergestellt, dass die Nutzungsmischung auch langfristig erhalten bleibt (siehe Kapitel 6.4.) und so die urbane Funktionalität, aber auch die Ausbeuteresilienz (kontinuierliche und stabile Energieausbeute) der Ressourcensysteme langfristig sichergestellt ist. Hierbei sollten auch modulare Technologiesysteme eingesetzt werden, die auch eine spätere Anbindung weiterer Gebäudeteile ermöglichen. Anlagenhersteller sollten auch aus diesem Grund kompatible, flexible und modulare Technologiesysteme (weiter)entwickeln (siehe Kapitel 4.6.).

Handlungsfeld: Kommunale Wärmeplanung und Aktivierung von Abwärmepotenzialen

In der kommunalen Wärmeplanung können Kommunen mit der Erstellung von Wärmeplänen aktiv Potenziale für erneuerbare Energien im Wärmesektor identifizieren und gezielte Maßnahmen zur Aktivierung von Abwärmepotenzialen angehen (Schulwitz et al. 2024). Dadurch wird eine bedarfsgerechte und ressourcenkopplende und somit -schonende Wärmeversorgung möglich. Eine zentrale Rolle spielt dabei das Gesetz zur kommunalen Wärmeplanung (Wärmeplanungsgesetz – WPG), da es die Länder und ihre Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnenden bis zum 30.06.26 sowie Gemeinden mit weniger als 100.000 Einwohnenden bis zum 30.06.28 zur Aufstellung kommunaler Wärmepläne verpflichtet und die Integration erneuerbarer Energien in bestehende Wärmenetze fördert (ebd.).

In der kommunalen Wärmeplanung sollten Fern- und Nahwärmenetze möglichst auf der Grundlage lokaler Potenziale wie industrieller Abwärme ausgelegt werden. Wärmepläne und Klimaanpassungskonzepte dienen dabei als strategische Grundlage für umfassende städtebauliche Maßnahmen. Die Stadt München beispielsweise definiert in ihrem 2024 aufgestellten Wärmeplan die aktuelle Wärmeversorgung im Stadtgebiet Fernwärme und Grundwassererdwärmepumpen und gibt darüber hinaus Auskunft über zukünftige klimaneutrale Versorgungsmöglichkeiten (Stadt München, o.J.). Gesetzgeber können die Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung durch die Vereinfachung von Sanierungsverfahren unterstützen. Weiterhin sind bereits frühzeitig rechtliche Rahmenbedingungen in der Bauleitplanung zu definieren, zum Beispiel durch die Festlegung von Flächen für Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung nach § 9 Abs. 1 Nr. 12 BauGB (siehe Kapitel 6.4.4.1.).

Anlagenherstellende sollten Technologien zur Nutzung von Abwärmepotenzialen im Konzept der gekoppelten Wasserkreisläufe weiterentwickeln. Versorgungsunternehmen können dafür proaktiv Daten zu eigenen Abwärmepotenzialen, wie aus Kanalnetzen, bereitstellen und damit die Forschung an neuen Technologien fördern. Ein Erfahrungsaustausch zwischen Kanalnetzbetreibern und anderen Akteurinnen und Akteuren kann dabei helfen, technische und betriebliche Herausforderungen der Abwärmenutzung zu überwinden und deren Akzeptanz zu stärken. Erkenntnisse aus Projekten, die nicht nur kommunale Beteiligte umfassen, sondern auch privatwirtschaftliche Unternehmen einbeziehen, sollten systematisch zusammengestellt werden. Das

Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW) der Deutschen Energie-Agentur könnte eine Plattform darstellen, auf der Umsetzungswissen gesammelt und aufbereitet wird.

Handlungsfeld: Integriertes Planen mit agilen Regelwerken unterstützen

Die nachhaltige Wärmeversorgung muss als integraler Bestandteil der Quartiers- und Gebäudeplanung von Beginn neuer Planungen an mitgedacht werden. Dies erfordert sowohl flexible, agile Regelwerke, um technologische Innovationen und lokale Potenziale effizient nutzen zu können, als auch eine enge Verzahnung verschiedener Planungsdisziplinen.

In der Stadtentwicklung sollten die Kommunen die Bereiche Verkehr, Grünflächen, Wohnen und Gewerbe integriert betrachten, um Konzepte der Kopplung von Ressourcenströmen durch Energieversorgungsnetze und dezentrale Regenwasserbewirtschaftung frühzeitig festzusetzen. Verwaltungsinterne Strukturen sollten auf die notwendigen intersektoralen und ressourcenübergreifenden Arbeitsweisen vorbereitet und entsprechend angepasst werden. Die Stadt Berlin definiert beispielsweise einen Praxis-Leitfaden für die Berliner Verwaltung zur Ausschreibung und Vergabe eines integrierten energetischen Quartierskonzepts (Stadt Berlin 2024). Dabei werden Schritte im Verwaltungsablauf als auch zur Anwerbung von Fördermitteln detailliert erläutert. Die Etablierung von internen Systemen zur Erfolgskontrolle und kontinuierlichen Verbesserung durch Datenerfassung und Monitoring stellt sicher, dass die eingesetzten Maßnahmen und Technologien ihre Ziele erreichen. Die Stadt Freiburg beispielsweise nutzt ein internes Energie-Management-System, das Daten zum Energieverbrauch der städtischen Liegenschaften erfasst und damit die Analyse der Energienutzung ermöglicht (Stadt Freiburg 2019).

Technischen Regelwerke und Verordnungen (z.B. RAS, DWA etc.) sollten kontinuierlicher aktualisiert werden, um technologische Innovationen und wissenschaftliche Erkenntnisse zeitnah in die Stadtplanungspraxis zu integrieren. In der ausführenden Planung ist die inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit entscheidend, um den Stadtumbau als Gesamtsystemtransformation zu gestalten und sektorale Fehlentscheidungen zu vermeiden. Planende können durch Simulations-Software wie „nPro“ bereits in frühen Phasen Erschließungssysteme anhand der erwarteten Nutzungen auslegen und die Ressourcenströme (Energie, Wärme, Wasser) modellieren.

In der Wohnungswirtschaft ist eine gebäudeübergreifende Bündelung der Sanierungs- und Umbauzeitpunkte entscheidend, um gebäudeübergreifende Energielösungen zu ermöglichen. Hierbei sollten auch serielle, modulare Sanierungskonzepte wie durch die schrittweise Nachrüstung mit ressourceneffizienten, kopplungsfähigen Wasser- und Wärmetechnologien im Gebäude und Baublock entwickelt und die Potenziale Energieversorgungssysteme unter Nutzung und Kopplung lokaler Abwärme und Abwassers, geprüft werden.

Die folgenden Abbildung 52 gibt einen abstrahierten Überblick über die Schlüsselakteurinnen und -akteure nach Handlungsebene. Ihnen sind in den relevanten Handlungsfeldern akteursinterne Handlungsempfehlungen zugeordnet. Es wird unterschieden zwischen internen Handlungsempfehlungen, die nur die jeweilige handelnde Person oder Organisation betreffen (äußerer Kreis), und kooperativen Handlungsempfehlungen, die sich an einen Akteur zur Aktivierung eines anderen richten (innerer Kreis). In den folgenden Kapiteln 8.3., 8.4. und 8.5. werden die einzelnen Handlungsempfehlungen grafisch weiter aufgeschlüsselt und textlich ausführlich erläutert.

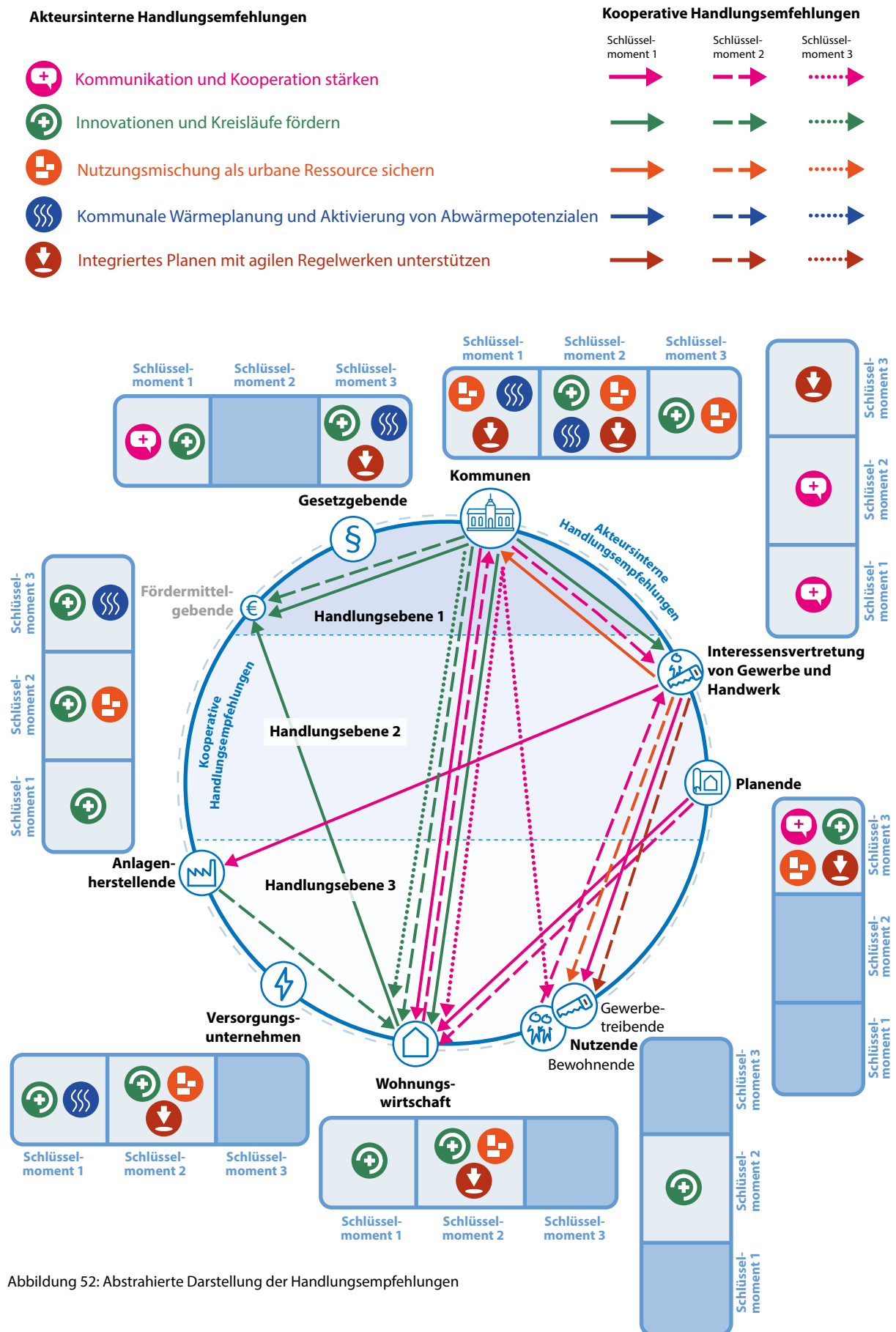


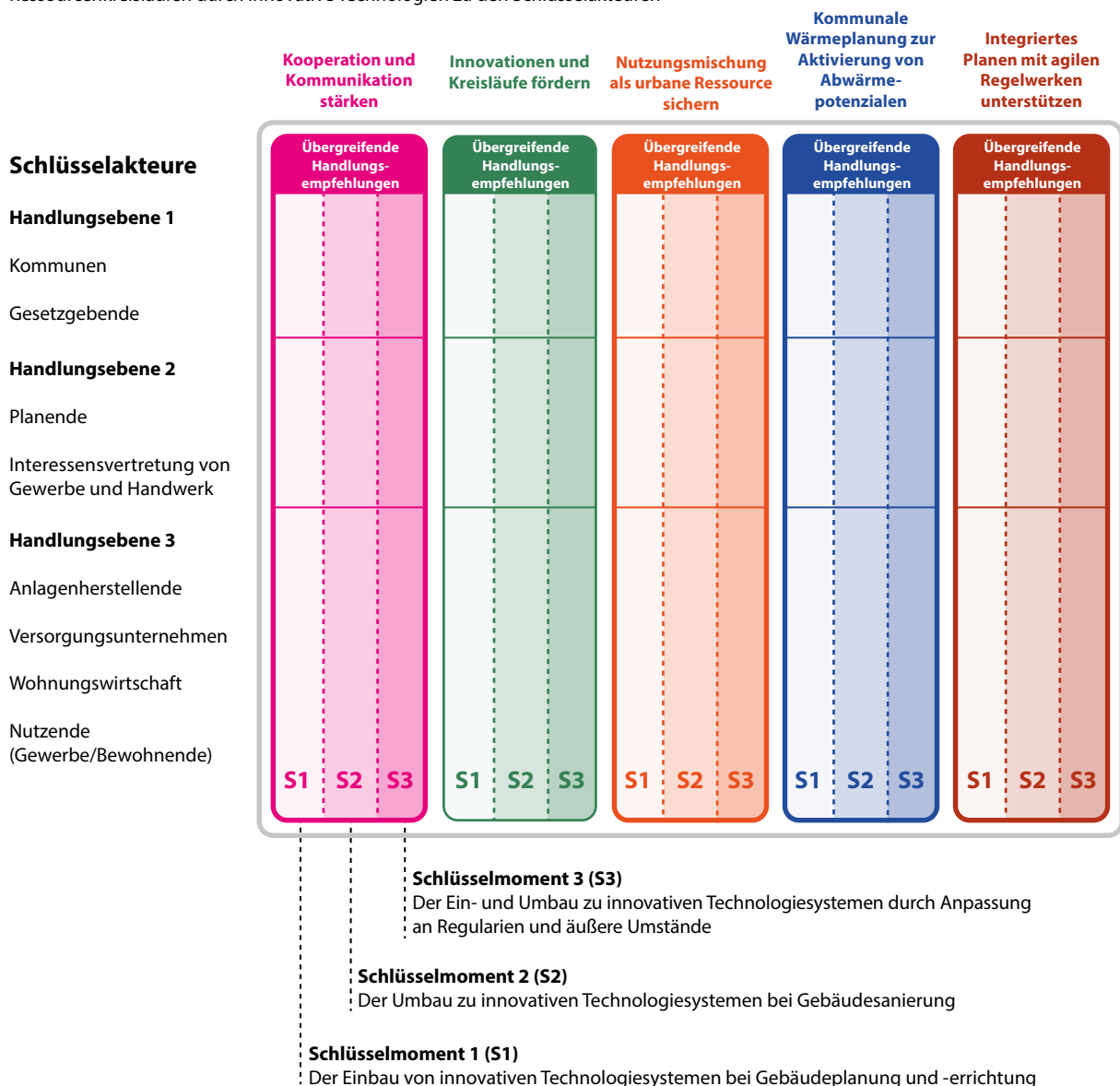
Abbildung 52: Abstrahierte Darstellung der Handlungsempfehlungen

8.2. Schlüsselmomente der Transformation für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien

Um die folgenden Handlungsempfehlungen konkret und wirksam zu verorten, werden sie den entsprechenden Stellen (siehe Schlüsselmomente, Kapitel 7.3.) im Transformationsprozess und den qualifizierten Schlüsselakteurinnen und -akteuren (siehe Kapitel 7.2.) zugeordnet.

Weiterhin liegt der wesentliche Teil des Umsetzungserfolgs neben den Rahmenbedingungen auch am Handeln der betroffenen Beteiligten. An den definierten Schlüsselmomenten sind jeweils unterschiedliche Akteurinnen und Akteure in ihrer Rolle und Funktion beteiligt. Die folgende Aufschlüsselung gibt Handlungsempfehlungen, wie sie als Akteurinnen und Akteure in den jeweiligen Rollen den Transformationsprozess zur Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien positiv und zielgerichtet beeinflussen können. Da sich die Handlungsempfehlungen auf die Schlüsselmomente Einbau (Schlüsselmoment 1) und Umbau (Schlüsselmoment 2) beziehen, wird nicht zwischen Neubau- und Bestandsblöcken unterschieden.

Abbildung 53: Aufschlüsselung der konzeptionellen Zuordnung der Handlungsfelder für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien zu den Schlüsselakteuren



8.3. Handlungsempfehlungen für den Schlüsselmoment 1: Der Einbau von innovativen Technologiesystemen bei Gebäudeplanung und -errichtung

■ *Schlüsselakteurinnen und -akteure:*

- Handlungsebene 1: Kommunen
- Handlungsebene 2: Planende, Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk
- Handlungsebene 3: Anlagenherstellende, Versorgungsunternehmen, Wohnungswirtschaft

■ *Bandbreite des Technologieeinsatzes:*

uneingeschränkt, da bisher keine Pfadabhängigkeiten auf Baublockebene bestehen

■ *Bandbreite der Systemkopplung:*

außerhalb des Gebäudebestands durch die Verfügbarkeiten externer Versorgung sowie die klimatischen und geographischen Gegebenheiten vor Ort sowie Strategien wie der kommunalen Energieleitplanung und Wärmeplanung definiert, innerhalb des Gebäudebestands durch Nutzungskonzepte bzw. rechtliche Vorgaben der Nutzungs- oder Funktionsunterbringung definiert

Bei der Gebäudeplanung und -errichtung ergibt sich der erste Schlüsselmoment zum Einbau von innovativen Technologiesystemen. Mit der Neuplanung eines Gebäudes ergibt sich der optimale Zeitpunkt zur Implementierung eines integrierten innovativen Technologiesystems. Da die Gebäudeplanung weitgehend auf die Anforderungen der technischen Lösungen reagieren kann, kann Raum für auch (mehrere) alternative Lösungen mit verhältnismäßig überschaubarem Aufwand in die räumlich-technische Gesamtplanung vorbereitet werden. Die Ressourcenkreisläufe (Energie und Wasser) können so von Beginn an gekoppelt gedacht werden.

Im Neubau-Baublock erfolgt die Errichtung der einzelnen Gebäude meist zu einem einheitlichen Zeitpunkt. Innovative Technologiesysteme können gebäudeübergreifend im Planungsprozess bedacht werden. Damit werden notwendige Mindestauslastungen oder Skaleneffekte für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb neuer Technologien erreicht. Gleichzeitig wird in dieser Phase der Herausforderung später sich ausprägenden Einzelinteressen der Nutzenden vorgegriffen und die betrieblich bedingten Abhängigkeiten vertraglich gesichert (unter anderem städtebaulicher Vertrag). Risiken und Eingrenzung bestehen dabei durch die Baukosten und Finanzierbarkeit von energetischen Maßnahmen im Gesamtbudget der Investition, die über dem bisherigen Neubaustandard liegen und somit ihrer Finanzierung und den entsprechendem planerischen und baulichen Aufwand, wie auch in der Vorbereitung zumeist vertraglicher Regelung des Betriebs gemeinsamer technischer Anlagen. Ziel ist allerdings stets, die Emissionen und den Energieverbrauch zu senken und somit die Umwelteinflüsse zu minimieren und die Wirtschaftlichkeit für die Gebäudenutzenden zu verbessern.

In der folgenden Abbildung 54 werden die Handlungsempfehlungen des „Schlüsselmoments 1: Der Einbau von innovativen Technologiesystemen bei Gebäudeplanung und -errichtung“ zunächst gekürzt zur Übersicht dargestellt. Es wird unterschieden zwischen internen Handlungsempfehlungen, die nur die jeweilige handelnde Person oder Organisation betreffen (äußerer Kreis) und kooperativen Handlungsempfehlungen, die sich an einen Akteur zur Aktivierung eines anderen richten (innerer Kreis). Darauf folgend werden die einzelnen Handlungsempfehlungen textlich ausführlich erläutert.

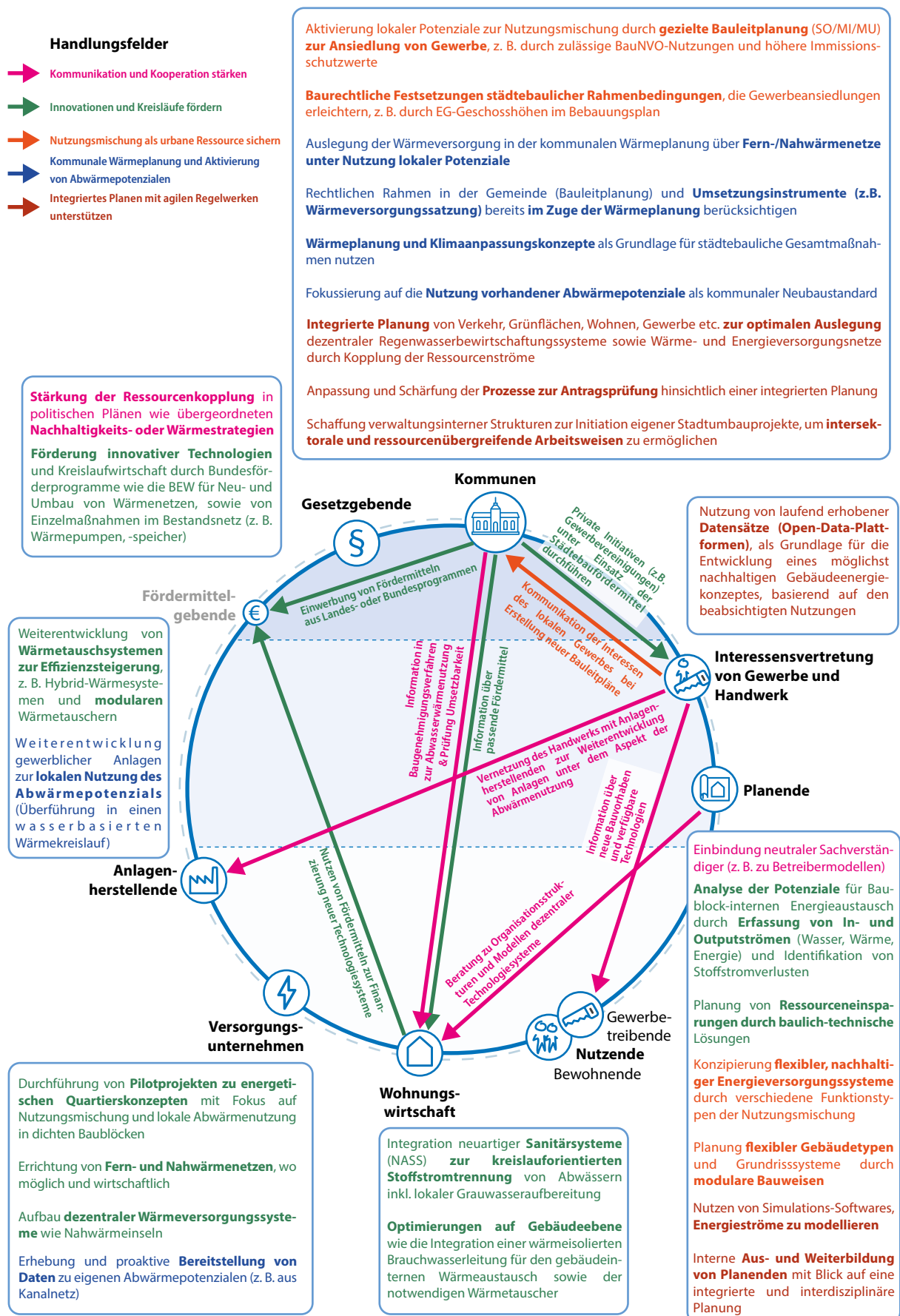


Abbildung 54: Übersicht der Handlungsempfehlungen in Zuordnung ihres spezifischen Akteurs (interne Handlungsempfehlungen) und in Zuordnung der jeweils kooperierenden Akteure (kooperative Handlungsempfehlungen) im Schlüsselmoment 1

Handlungsfeld: Kommunikation und Kooperation stärken

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Information von Investierenden/Bauherrinnen und Bauherren (Wohnungswirtschaft) in Baugenehmigungsverfahren, welche Informationen zur Abwasserwärmenutzung im anvisierten Gebiet zur Verfügung gestellt werden können (z.B. Potenzialatlanten, Machbarkeitsstudien)
- Information der Interessenvertretungen des Gewerbes und Handwerks zu neuen Bauprojekten mit Raum für Gewerbenutzungen
- Bereitstellungen von relevanten Informationen für Abwasserwärmeprojekte (z.B. Kanalleitungsnetz mit ausreichendem Trockenwetterabfluss, Distanz zu öffentlichen und privaten Wärmesenken) für Investierende (Wohnungswirtschaft) zur vorläufigen Prüfung der Umsetzbarkeit

Gesetzgebende

- Bewusstseinsbildung durch die Stärkung der Ressourcenkopplung in politischen Plänen wie übergeordneten Nachhaltigkeits- oder Wärmestrategien

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Planende

- Beratungsangebote zu möglichen Organisationsstrukturen und vertraglichen Modellen zu dezentralen Technologiesystemen für die Wohnungswirtschaft und Nutzende
- Integration neutraler sachverständiger Personen, die den Planungsprozess von Machbarkeitsstudien mitgestalten und für Rückfragen zur Verfügung stehen (z.B. zu möglichen Betreibermodellen)

Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

- Information des Handwerks über neue Bauvorhaben und verfügbare Technologien
- Vernetzung des Handwerks mit Anlagenherstellenden zur Weiterentwicklung von Anlagen unter dem Aspekt der Abwärmenutzung

Weitere Interessenvertretungen

- Bildung von Arbeitskreisen zu unabhängiger Beratung von interessierten Kommunen als Anlaufstelle zur Information (beispielsweise der Arbeitskreis „Abwasserwärmenutzung“ in Bayern (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2022: 12)).
- Entwicklung von Leitfäden, die von Kommunen als Vorlagen genutzt werden können (wie beispielsweise die Berliner Wasserbetriebe (Gürtler et al. o. J.)).

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Anlagenherstellende

- Demonstration von Anlagen
- Austausch mit Handwerk zur Initiation von Systempartnerschaften

Versorgungsunternehmen

- Stärkere Kommunikation der Rolle von Abwasserwärme stärker nach außen (Nutzende), um durch Wissen Akzeptanz und Bewusstsein zu stärken
- Initiation von systematischem Austausch zwischen Kanalnetzbetreibenden und anderen involvierten Akteurinnen und Akteuren (zum Beispiel Anlagenbetreibende), um Lerneffekte zu erzielen und so einfacher Projekte initiieren zu können

Handlungsfeld: Innovationen und Kreisläufe fördern

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Bewerbung und Einwerbung von Fördermitteln aus Landes- oder Bundesprogrammen: zum Beispiel KfW-Förderungen wie das Umweltinnovationsprogramm
- Information der Wohnungswirtschaft über entsprechende Fördermittel
- Private Initiativen (z.B. Gewerbevereinigungen) zur Stadtentwicklung erwägen, vorbereiten und unter Einsatz der Städtebaufördermittel durchführen

Gesetzgebende

- Förderung innovativer Technologien unter Berücksichtigung verschiedener Ressourcenaspekte und der Kreislaufwirtschaft durch Bundesprogramme wie die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) zur Förderung von Neu- und Umbau von Wärmenetzen, jedoch auch die Förderung von Einzelmaßnahmen im Bestandsnetz wie Wärmepumpen und -speichern

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Planende

- Analyse und Aufzeigen der Potenziale zum baublockinternen Energieaustausch zwischen den Nutzungen durch die Aufnahme der In- und Outputströme (Wasser, Wärme, Energie) und der entsprechenden Identifikation von Stoffstromverlusten

- Planung von aktiven und passiven Ressourceneinsparungen durch baulich-technische Lösungen wie zum Beispiel der Weiterverwendung von Oberflächenwasser durch Speicher und Aufbereitungsanlagen oder des sommerlichen Wärmeschutzes (unter anderem Gebäudestellung, adiabate Gebäudekühlung)

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Anlagenherstellende

- Weiterentwicklung von Wärmetauschsystemen zur Effizienzsteigerung zum Beispiel hinsichtlich Hybrid-Wärmesystemen (Integration von erneuerbaren Energien in konventionelle Heizsysteme zur Optimierung von Bestandssystemen) und modularer Wärmetauscher, um Flexibilität in dezentralen Energiesystemen mit wechselnden Nutzungen und damit Ansprüchen an die Energieversorgung zu erzeugen

Versorgungsunternehmen

- Durchführung von Pilotprojekten zu energetischen Quartierskonzepten mit Fokus auf Nutzungsmischung und lokale Abwärmenutzung in dichten Baublöcken wie beispielsweise dem Quartier Jenfelder Au in Hamburg mit einem Konzept zur ganzheitlichen Abwasserentsorgung und Energieversorgung besonders durch gekoppelte Wasserkreisläufe
- Errichtung von Fern- und Nahwärmenetzen im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung, wo möglich und wirtschaftlich
- Aufbau von dezentralen Wärmeversorgungssystemen wie Nahwärmeinseln, die mit lokalen, gekoppelten Anlagen begrenzte, räumliche Einheiten (wie einen Block, ein Quartier) versorgen und damit großflächige Wärmesysteme entlasten

Wohnungswirtschaft

- Integration Neuartiger Sanitärsysteme (NASS) zur kreislauforientierten Stoffstromtrennung von Abwässern einschließlich lokaler Grauwasseraufbereitung (Kapitel 6.2.2.2.)
- Optimierungen auf Gebäudeebene wie die Integration einer wärmeisolierten Brauchwasserleitung für den gebäudeinternen Wärmeaustausch sowie der notwendigen Wärmetauscher
- Nutzen von Fördermöglichkeiten und -mitteln zur Finanzierung neuer Technologiesysteme (Informationsangebote des Bundes, der Länder und der einzelnen Kommunen sowie der fördermittelgebenden Institutionen)

Handlungsfeld: Nutzungsmischung als urbane Ressource sichern

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Aktivierung der lokalen räumlichen Potenziale zur Nutzungsmischung mit Ressourcenpotenzialen durch gezielte Bauleitplanung als SO/MI / MU, um durch die entsprechende Gebietsausschreibung die Ansiedlung von Gewerbe möglich zu machen (z.B. durch entsprechend zulässige BauNVO-Nutzungen und höhere zulässige Immissionsschutzwerte) (siehe Kapitel 6.2.)
- Baurechtliche Festsetzungen von städtebaulichen Rahmenbedingungen, die Gewerbeansiedlungen erleichtern zum Beispiel durch EG-Geschosshöhen-Festsetzungen im Bebauungsplan (siehe Kapitel 6.4.4.3.)

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Planende

- Konzipierung von flexiblen, nachhaltigen Energieversorgungssystemen im Baublock durch unterschiedliche Funktionstypen (nach In- und Outputströmen) der Nutzungsmischung (siehe Kapitel 4.3.), um bei späterem Wechsel der Handwerke eine geeignete Nachfolgenutzungen zu finden
- Planung von flexiblen Gebäudetypen und Grundrissystemen durch modulare Bauweisen, die diverse Nutzungen und spätere bauliche Anpassungen zulassen (siehe Kapitel 6.5.)

Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

- Bündelung (zum Beispiel durch Bedarfsanalysen etwa durch die Fachverbände des Handwerks) und Kommunikation der Interessen des lokalen / regionalen Gewerbes an die Kommune bei Erstellung neuer Bauleitpläne durch die lokalen Kreishandwerkerschaften sowie die lokalen Handwerksinnungen und ihre jeweiligen Obermeisterinnen und -meister als Vertretung der lokalen Gewerbe

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Wohnungswirtschaft

- Herstellung von diversen, modularen Gebäude- und Grundrisstypen, die eine vielfältige vertikale Nutzungsmischung auf Gebäudeebene zulassen (siehe Kapitel 6.5.)

Handlungsfeld: Kommunale Wärmeplanung und Aktivierung von Abwärmepotenzialen

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Auslegung der Wärmeversorgung im Zuge der kommunalen Wärmeplanung möglichst über Fern-/ Nahwärmenetze unter Nutzung lokaler Potenziale wie lokalen Wärmequellen durch industrielle Abwärme
- Rechtlichen Rahmen in der Gemeinde (in der kommunalen Bauleitplanung) und Umsetzungsinstrumente (z.B. Wärmeversorgungssatzung) bereits im Zuge der Wärmeplanung berücksichtigen
- Wärmeplanung und Klimaanpassungskonzepte als Grundlage für städtebauliche Gesamtmaßnahmen (Sanierungsmaßnahmen, Stadtumbau, private Initiativen) heranziehen
- Fokussierung auf die Nutzung vorhandener Abwärmepotenziale (unter anderem Industrie/Gewerbe, Abwasser) als kommunaler Neubaustandard

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Anlagenherstellende

- Weiterentwicklung gewerblicher Anlagen zur lokalen Nutzung des Abwärmepotenzials (Überführung in einen wasserbasierten Wärmekreislauf)

Versorgungsunternehmen

- Erhebung und proaktive Bereitstellung von Daten zu eigenen Abwärmepotenzialen (z.B. aus Kanalnetz in z.B. das Block- oder Quartierswärmenetz)

Handlungsfeld: Integriertes Planen mit agilen Regelwerken unterstützen

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Integrierte Planung von Verkehr, Grünflächen, Wohnen, Gewerbe etc., um dezentrale Regenwasserbewirtschaftungssysteme sowie Wärme- und Energieversorgungsnetze durch Kopplung der Ressourcenströme optimal auszulegen
- Prozesse zur Antragsprüfung mit Blick auf eine integrierte Planung vielfach anpassen und schärfen
- Schaffung von verwaltungsinternen Strukturen bei der Initiation von eigenen Stadtumbauprojekten, um intersektorale und ressourcenübergreifende Arbeitsweisen zu ermöglichen (ein Beispiel der Stadt Berlin ist der Praxis-Leitfaden für die Berliner Verwaltung zur Ausschreibung und Vergabe eines integrierten energetischen Quartierskonzepts (Stadt Berlin 2024))

- Etablierung eines Systems zur Erfolgskontrolle, zum Monitoring und zur Evaluierung durch Datenerfassungs- und Managementsysteme, um sicherzustellen, dass die eingesetzten Technologien und Maßnahmen die erwarteten Ergebnisse liefern und kontinuierlich verbessert werden können

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Planende

- Nutzen von Simulationssoftwares wie nPro bereits in ersten Planungsphasen, um Erschließungssysteme anhand der zu erwartenden Nutzungen auslegen und Energieströme modellieren zu können
- Interne Aus- und Weiterbildung von Planenden mit Blick auf eine integrierte und interdisziplinäre Planung zum Beispiel durch die Architektenkammern

Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

- Nutzung laufend erhobener Datensätze (siehe Schlüsselmoment 3) als Grundlage für die Entwicklung eines möglichst nachhaltigen Gebäudeenergiekonzeptes, basierend auf den beabsichtigten gewerblichen Nutzungen; die Kommunikation neuer Konzepte kann in den Betriebsberatungen der Fachverbände des Handwerks zur Energieoptimierung in der Werkstatt erfolgen

8.4. Handlungsempfehlungen für den Schlüsselmoment 2: Der Umbau zu innovativen Technologiesystemen bei Gebäudesanierung

■ *Schlüsselakteurinnen und -akteure:*

- Handlungsebene 1: Kommunen
- Handlungsebene 2: Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk
- Handlungsebene 3: Anlagenherstellende, Wohnungswirtschaft (insbesondere Eigentümerinnen und Eigentümer), Nutzende (Bewohnende, Gewerbetreibende)

■ *Bandbreite des Technologieeinsatzes:*

bedingt durch die baulichen und funktionalen Gegebenheiten des Bestands sowie die Pfadabhängigkeiten und Konsensprozesse zwischen den einzelnen Akteurinnen und Akteuren vor Ort

■ *Bandbreite der Systemkopplung:*

außerhalb des Gebäudebestands durch die Verfügbarkeiten externer Versorgung sowie die klimatischen und geographischen Gegebenheiten sowie Strategien wie der kommunalen Energieleitplanung und Wärmeplanung vor Ort definiert, innerhalb des Gebäudebestands durch Nutzungskonzepte bzw. rechtliche Vorgaben der Nutzungs- oder Funktionsunterbringung definiert, sowie die baulichen und funktionalen Gegebenheiten des Bestands sowie die Pfadabhängigkeiten und Konsensprozesse zwischen den einzelnen Akteurinnen und Akteuren vor Ort

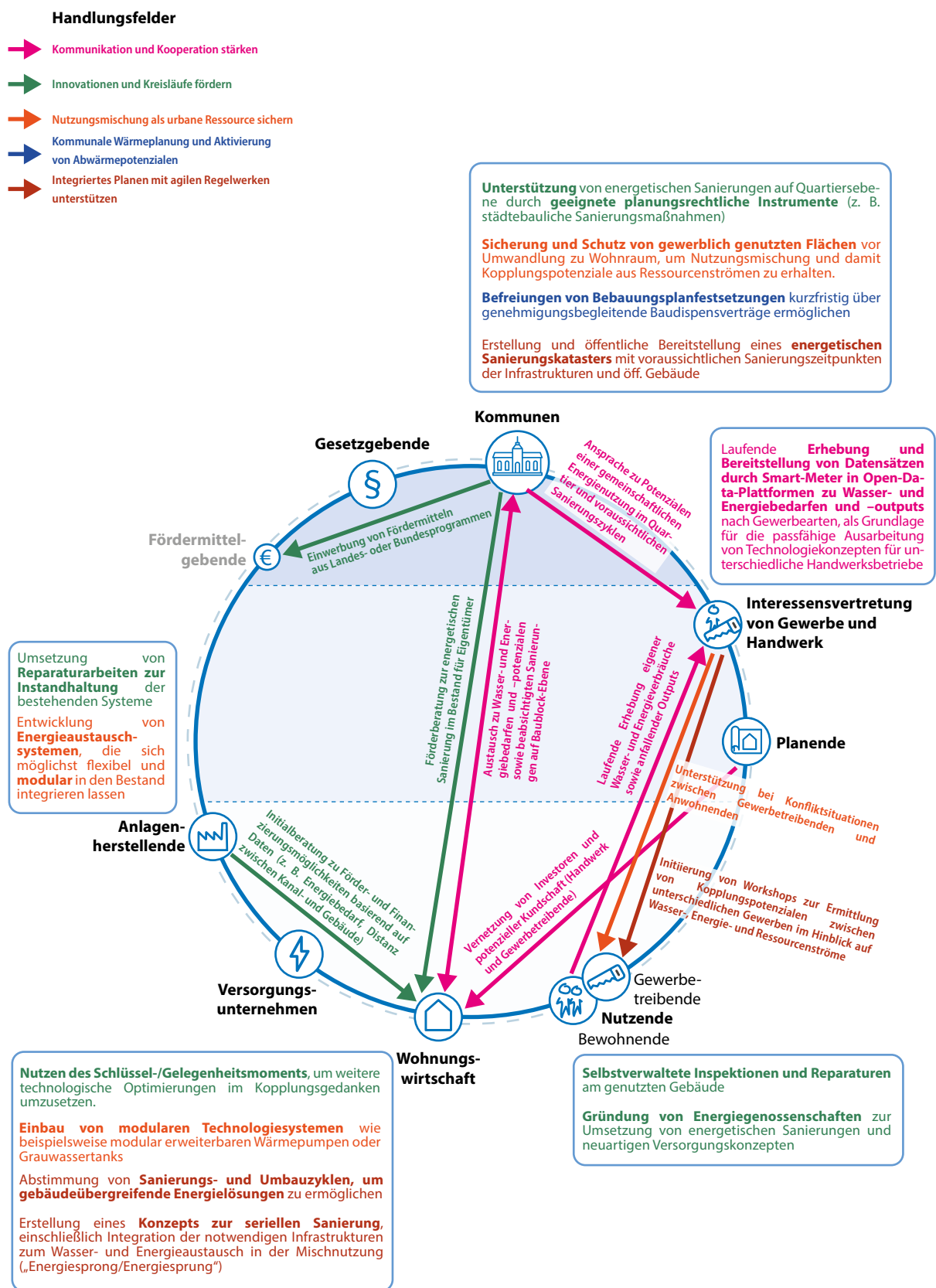
In Bestands-Baublöcken ergeben sich bei der Gebäudeplanung und -errichtung die Herausforderungen besonders durch die notwendige Integration in das komplexe räumliche und technische System des angrenzenden Bestands und die somit bestehenden Pfadabhängigkeiten. Auch werden neue Techniken durch die begrenzte Flächenverfügbarkeit räumlich limitiert. Im Neubau-Baublock ist durch den zumindest anfänglich homogenen Gebäudezyklus der Gebäude mit einem annähernd einheitlichen Zeitpunkt zur Sanierung der Infrastrukturen und Gebäudeteile und damit zum Einbau-Zeitfenster für neue Technologien zu rechnen. Dies erleichtert das Einbauen eines gebäudeübergreifenden Systems. Je diversifizierter die Eigentumsstrukturen und damit die Interessen, aber auch der Umgang mit den Immobilien in der Zeit, desto komplexer wird die Abstimmung und der Einsatz neuer Technologien.

Wesentliche Zeitfenster zur Integration innovativer Technologiesysteme im Bestand ergeben sich im Gebäudezyklus bei einer umfangreichen Sanierung der Gebäude oder ihrer Bauteile. Darauf zielen auch die gesetzlich verankerte Pflichtmaßnahmen mit ihren Übergangsfristen (unter anderem GEG 2024). Die technische Erneuerung bzw. auch räumliche Neustrukturierung der Substanz ermöglicht im Zuge der Sanierung die Optimierung der bestehenden Technologiesysteme und Gebäudeeigenschaften. Auch können in diesem Zuge bisher nicht gekoppelte Energie- und Wasserkreisläufe im Bestand verbunden werden. Der Zeitpunkt zur Gebäudesanierung ist zeitlich vorhersehbar, die (technische) Sanierung kann vorausschauend finanziell vom Gebäudebesitzenden geplant werden. In Bezug auf die Möglichkeiten und die Auswahl der Technik werden diese stark durch die bereits bestehenden Gegebenheiten des Gebäudes beeinflusst. Umfangreichen Sanierungen werden Gebäude je nach Nutzung im verschiedenen Zeitabstand unterzogen; dieser beträgt bei Wohngebäuden zumeist 40 bis 70 Jahre, bei Büro- und Einzelhandelsgebäude ist die Zeitspanne bis zur Hälfte kürzer. Die Gesetzgebung nutzt bereits den Schlüsselmoment wesentlicher Sanierung an einzelnen Bestandteilen des Gebäudes (Dach, Fassade) zum Erzwingen von Maßnahmen, so etwa mit Sanierungsfahrplänen für öffentliche Gebäude (§9 Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz – EWG vom 22.03.2016) sowie Sanierungspflichten aufgrund des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), der Energieeinsparverordnung (EnEV) sowie des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG). Auch die Landesgesetzgebung wie etwa das Berliner Solargesetz verbinden notwendige Sanierung von Gebäudeteilen mit dem zwingenden Einsatz neuer Technologien, so etwa der Errichtung von Photovoltaik-Anlagen bei wesentlichen Umbauten wie Dachaufstockung oder Dachsanierung.

Im Bestands-Baublock sind die Momente zur Sanierung durch die heterogenen Gebäudezyklen nicht einheitlich. Dies schränkt die Möglichkeit der Integration eines gebäudeübergreifenden Systems ein. Die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen müssen sich allerdings dennoch nicht auf alle Bestandteile des Gebäudes erstrecken, oder nicht auf alle, die für den Einsatz von Kopplungstechnologien umgebaut oder ausgetauscht werden müssten. Folglich werden aus Kosten- und Aufwandsgründen seltener sektorenintegrierende Maßnahmen umgesetzt, wie etwa eine solare Erwärmung des Warmwassers in Kombination mit Abwasserrückgewinnung in einem Wassertauscher, da diese Maßnahme Eingriffe in mehrere Technologiesysteme an verschiedenen Stellen des Bestandsgebäudes bedeutet. Bei einer Kopplung über das Gebäude hinaus müssen entsprechende Zeitfenster zumindest deutlich aneinanderlegen, was in der Praxis ohne eine starke Moderation und Anreize sowie entsprechende Umbaumaßnahmen in den einzelnen Gebäuden selbst kaum zu bewerkstelligen zu sein mag. Hier wirken auch die ansonsten notwendigen Übergangsfristen kontraproduktiv, da sie die Zeitfenster einzelner Sanierungen innerhalb eines oder verschiedener Gebäude im Block zeitlich unabhängig voneinander ermöglichen.

In der folgenden Abbildung 55 werden die Handlungsempfehlungen des „Schlüsselmoments 2: Der Umbau zu innovativen Technologiesystemen bei Gebäudesanierung“ zunächst gekürzt zur Übersicht dargestellt. Es wird unterschieden zwischen internen Handlungsempfehlungen, die nur die jeweilige handelnde Person oder Organisation betreffen (äußerer Kreis) und kooperativen Handlungsempfehlungen, die sich an einen Akteur zur Aktivierung eines anderen richten (innerer Kreis). Darauf folgend werden die einzelnen Handlungsempfehlungen textlich ausführlich erläutert.

Abbildung 55: Übersicht der Handlungsempfehlungen in Zuordnung ihres spezifischen Akteurs (interne Handlungsempfehlungen) und in Zuordnung der jeweils kooperierenden Akteure (kooperative Handlungsempfehlungen) im Schlüsselmoment 2



Handlungsfeld: Kommunikation und Kooperation stärken

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Aktive Ansprache von Stakeholdern der Wohnungswirtschaft und Ressourcenversorgung sowie der Interessenvertretungen des Handwerks und Gewerbes (z.B. Beratungsstellen für Innovation und Technologie) zu Potenzialen einer gemeinschaftlichen Energienutzung im Quartier und voraussichtlichen Sanierungszyklen

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

- Vernetzung der Anlagenherstellenden und potenzieller Kundschaft (Handwerk und Gewerbetreibende) zur Integration innovativer Technologien in bestehende Betriebe und ihre Technologiesysteme. Ansprechpartner für die Anlagenherstellenden können die Beratungsstelle für Innovation und Technologie der Fachverbände des Handwerks sein; die Fachverbände wiederum können in den etablierten Angeboten der Betriebsberatung die Betriebe aktiv auf innovative Technologielösungen (und entsprechende Fördermöglichkeiten wie das KfW-Programm 263 für Nicht-Wohngebäude hinweisen). Auch können Veranstaltungen der Handwerkskammern zur Informationsweitergabe genutzt werden.
- Laufende Erhebung und Bereitstellung von Datensätzen durch Smart-Meter in Open-Data-Plattformen zu Wasser- und Energiebedarfen und –outputs nach Gewerbearten, als Grundlage für die passfähige Ausarbeitung von Technologiekonzepten für unterschiedliche Handwerksbetriebe

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Wohnungswirtschaft

- Regelmäßiger Austausch mit Kommune und Nutzenden zu Wasser- und Energiebedarfen und –potenzialen sowie beabsichtigten Sanierungen auf Baublock-Ebene (ggf. mit Unterstützung der Kommune)
- Unterschiedliche Eigentums- und Betreiberformen (WEGs, Genossenschaften, Einzeleigentümerinnen und -eigentümer, Investierende) müssen berücksichtigt werden, im Sinne dass lokale Maßnahmen besonders in Bereichen mit übersichtlichen und gut koordinierten Eigentumskonstellationen (größere WEGs oder Eigentümerstrukturen mit weitgehend homogenen Beständen) unter der Kooperation mit kommunalen Akteurinnen und Akteuren lokale Netzwerke etablieren können (Polívka / Cohrs 2025 (i.E.)).

Nutzende

- Laufende Erhebung eigener Wasser- und Energieverbräuche sowie anfallender Outputs und Eintragung in Plattform der Interessenvertretung (siehe Schlüsselmoment 3) – (Kosten)Transparenz und

Wettbewerbsvorteil (letzteres an die Wohnungswirtschaft (Investierende/Bauherrinnen und Bauherren/Betreibende) weitergeben

Handlungsfeld: Innovationen und Kreisläufe fördern

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Unterstützung von energetischen Sanierungen auf Quartiersebene durch geeignete planungsrechtliche Instrumente (z.B. städtebauliche Sanierungsmaßnahmen)
- Einwerbung von Fördermitteln und Schaffung von Förderprogrammen für die Errichtung von nachhaltigen Nahwärmenetzen zur Nutzung lokaler (Ab-)Wärmepotenziale im Bestand zum Beispiel KfW-Förderungen wie das Umweltinnovationsprogramm oder das BAFA und KfW-Programm: Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zu energetischen Modernisierungen und dem Einsatz erneuerbarer Energien bei der Sanierung von Bestandsgebäuden
- Förderberatung zur energetischen Sanierung im Bestand für Eigentümerinnen und Eigentümer

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Wohnungswirtschaft

- Nutzen des Gelegenheitsmoments, um weitere technologische Optimierungen im Kopplungsgedanken umzusetzen, zum Beispiel bei der Sanierung von Gebäudedächern und -fassaden, die parallele Prüfung der Eignung für weitere technologischen Optimierungen wie Solaranlagen, Begrünungsmaßnahmen und die Abkopplung von Niederschlagswasser

Anlagenherstellende

- Initialberatung zu Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten basierend auf (vorläufigen) Daten (z.B. Energiebedarf, Distanz zwischen Kanal- und Gebäude)
- Umsetzung von Reparaturarbeiten zur Instandhaltung der bestehenden Systeme

Nutzende

- Selbstverwaltete Inspektionen und Reparaturen am genutzten Gebäude zur Instandhaltung der bestehenden Systeme
- Gründung von Energiegenossenschaften zur Umsetzung von energetischen Sanierungen und neuartigen Versorgungskonzepten

Handlungsfeld: Nutzungsmischung als urbane Ressource sichern

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Sicherung und Schutz von gewerblich genutzten Flächen vor Umwandlung zu Wohnraum, um Nutzungsmischung und damit Kopplungspotenziale aus Ressourcenströmen zu erhalten (z.B. durch die Milieuschuttsatzung §172 BauGB, vor allem aber durch die Bauleitplanung)

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

- Unterstützung bei Konfliktsituationen zwischen Gewerbetreibenden und Anwohnenden zum Beispiel aufgrund Lärmemissionen durch das Handwerk etwa durch Vermittlung zwischen den Parteien, in starken Konfliktsituationen durch Beratung zur Rechtsunterstützung für Handwerksbetriebe bei Klagen

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Wohnungswirtschaft

- Einbau von modularen Technologiesystemen wie beispielsweise modular erweiterbaren Wärmepumpen oder Grauwassertanks, die auch einen späteren Anschluss weiterer Gebäude- und Baublockteile erlauben (siehe Kapitel 4.6.)

Anlagenherstellende

- Weiterentwicklung von Energieaustauschsystemen, die sich möglichst flexibel im Sinne einer erweiterten Modularität in den Bestand integrieren lassen; d.h. dass auch Technologien unterschiedlicher Hersteller und unterschiedlichen Baualters koppelbar sind und smart dazu- oder abgeschaltet werden können (siehe Kapitel 4.6. und 6.4.)

Handlungsfeld: Kommunale Wärmeplanung und Aktivierung von Abwärmepotenzialen

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Befreiungen von Bebauungsplanfestsetzungen kurzfristig über genehmigungsbegleitende Baudispensverträge ermöglichen. Bebauungspläne sind auf einen langfristigen Zeitraum ausgerichtet. Sind die Bebauungspläne in Kraft, sind sie statisch mit der zum Zeitpunkt des Inkrafttretens geltenden Fassung der Baunutzungsverordnung verbunden (vgl. BVerwG, Beschl. vom 25.03.1996 - 4 B 302/95, NVwZ 1996, 893 [894]). Da die sich die Rahmenbedingungen und Herausforderungen je-

doch mittlerweile gegenüber der Situation beim Inkrafttreten älterer Pläne geändert hat, muss darauf im Rahmen der Planungs- und Genehmigungspraxis reagiert werden. Während Planänderungen und Neuaufstellungen Zeit und Ressourcen beanspruchen, ermöglichen Befreiungen eine schnellere und weniger aufwändige Lösung. Um dabei dennoch die städtebauliche Verträglichkeit zu ermöglichen, bietet sich der Abschluss genehmigungsbegleitender Baudispensverträge im Rahmen der Befreiung als Ermessensentscheidung an. Eine gute Grundlage für die Vertragsinhalte bieten informelle städtebauliche Konzepte.

Handlungsfeld: Integriertes Planen mit agilen Regelwerken unterstützen

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Erstellung und öffentliche Bereitstellung eines energetischen Sanierungskatasters mit voraussichtlichen Sanierungszeitpunkten der Infrastrukturen und öffentlichen Gebäude

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

- Initiierung von Workshops zur Ermittlung von Kopplungspotenzialen zwischen unterschiedlichen Gewerben im Hinblick auf Wasser-, Energie- und Ressourcenströme (z.B. Nutzung von Lebensmittelresten aus Brauereien in einer Bäckerei, energetische Verwertung von Produktionsabfällen)

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Wohnungswirtschaft

- Gebäudeübergreifende Bündelung der Sanierungs- und Umbauzeitpunkte (insbesondere bei heterogen gewachsenen Baublöcken), auch wenn gegebenenfalls bei einzelnen Gebäuden Sanierungen vorgezogen werden müssen, um gebäudeübergreifende Energielösungen zu ermöglichen
- Erstellung eines Konzepts zur seriellen Sanierung, einschließlich Integration der notwendigen Infrastrukturen zum Wasser- und Energieaustausch in der Mischnutzung („Energiesprong/Energiesprung“)
- Abstimmung und Harmonisierung von Sanierungszyklen im Quartier
- Prüfung der Potenziale neuartiger Energieversorgungssysteme unter Nutzung der lokalen Potenziale (insbesondere Abwärme)

8.5. Handlungsempfehlungen für den Schlüsselmoment 3: Der Ein- und Umbau zu innovativen Technologiesystemen durch Anpassung an Regularien und äußere Umstände

■ *Schlüsselakteurinnen und -akteure:*

Handlungsebene 1: Kommunen, Gesetzgebende,

Handlungsebene 2: Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

Handlungsebene 3: Anlagenherstellende

■ *Bandbreite des Technologieeinsatzes:*

bedingt durch die konkret adressierten Regularien, baulichen und funktionalen Gegebenheiten des Bestands sowie die Pfadabhängigkeiten und Konsensprozesse zwischen den einzelnen Akteurinnen und Akteure vor Ort

■ *Bandbreite der Systemkopplung:*

außerhalb des Gebäudebestands durch die Verfügbarkeiten externer Versorgung sowie die klimatischen und geographischen Gegebenheiten vor Ort sowie Strategien wie der kommunalen Energieleitplanung und Wärmeplanung definiert, innerhalb des Gebäudebestands durch Nutzungskonzepte bzw. rechtliche Vorgaben der Nutzungs- oder Funktionsunterbringung definiert, sowie die baulichen und funktionalen Gegebenheiten des Bestands sowie die Pfadabhängigkeiten und Konsensprozesse zwischen den einzelnen Akteurinnen und Akteure vor Ort

Der dritte Schlüsselmoment zum Ein- und Umbau zu innovativen Technologiesystemen ist von den Gebäudezyklen entkoppelt. Er definiert sich als kurz- bis mittel- oder langfristige Notwendigkeit oder auch Möglichkeit zur technischen Anpassung durch die Änderung der äußeren Umstände. Dies kann zum einen eine vorhersehbare und planbare Anpassung sein wie durch die Änderung bestehender Regularien (z.B. das Gebäudeenergiegesetz GEG). Im Sinne der positiven Veränderung der äußeren Umstände werden Förderungen aufgelegt, die den Umbau wirtschaftlich lohnenswert machen. Der Schlüsselmoment 3 kann so durch die Anpassung der Regularien oder Förderprogrammen aktiv von den verantwortlichen Schlüsselakteurinnen und -akteuren leichter initiiert werden (Everding 2022). Inwieweit energiepolitische Instrumente als starke Druckmittel taugen, bleibt allerdings bislang umstritten. Zwar führten sie bisher noch zu keinen bedeutenden Umbausanierungen, es wird allerdings davon ausgegangen, dass sie durchaus mittelfristige Wirkung entfalten können, wenn auch der Ruf nach weiterer Konzeptionierung besteht (vgl. Müller et al. 2017). Zum anderen können die Maßnahmen auch zur Anpassung an plötzliche Änderungen der äußeren Umstände (z.B. Energiekrise) notwendig sein. Die Herausforderungen dieser Schlüsselmomente liegen in der Nicht-Planbarkeit dieser Anpassungsmomente im Zuge einer langfristigen Investitionsplanung. Darüber hinaus zählen Veränderungen in übergeordneten Versorgungsinfrastrukturen (beispielhaft ist die kommunal angestrebte flächige Beendigung des Gasnetzbetriebs in Stuttgart als klimaneutraler Landeshauptstadt bis 2035 (Stuttgart 2021)). Ohnehin zeigen übergeordnete Rahmenbedingungen vor allem in Bezug auf den Bestand eine hohe Relevanz. Denn die komplexen Settings innerhalb gewachsener urbaner Strukturen erlauben nur sehr bedingt vollumfängliche sektorale Systemkopplung und somit eine effektive Energie- bzw. Ressourcengewinnung und -nutzung im Block. Während einzelne sektorale Maßnahmen am Gebäude mit einzelnen gemeinsamen Bausteinen – etwa die Regenwassersammlung und Nutzung am eigenen Grundstück mit einer gemeinsamen Überlauf- bzw. Speicherlösung – noch vorstellbar sind, gelten komplexere gemeinsame Projekte, welche einem mehrseitigen Energieaustausch unter Kopplung mehrerer Energiequellen zugrunde liegen, alleine aufgrund der individuellen lebenszyklischen Situation des Bestands und den komplexen Akteurskonstellationen als deutlich erschwert gegenüber dem Neubau. In einem solchen Fall gewinnt die steuernde Rolle der Kommune sowie das Angebot an klimaneutraler Versorgung außerhalb des Blocks deutlich an Bedeutung. Zur Förderung lokaler Maßnahmen können dabei auch Flächen und Infrastrukturen benötigt werden, die außerhalb des Blockes selbst liegen, und in oder unter den naheliegenden öffentlichen Flächen liegen müssen. Gesetzliche Rahmenbedingungen für die Umsetzung solcher Konzepte, so etwa die Versickerung von Oberflächenwasser auf Fremdgrundstücken, liegen bereits vor (Wasserhaushaltsgesetz WHG). Für die Energieversorgung, auch im Falle der Erdwärme, werden im Bestand

ebenfalls öffentlichen Flächen benötigt, auch wenn die eingeübte Praxis gesetzlicher und vertraglicher Regelungen hierbei noch fehlt (Viernickel 2024).

In der folgenden Abbildung 56 werden die Handlungsempfehlungen des Schlüsselmoments „Schlüsselmoment 3: Der Ein- und Umbau zu innovativen Technologiesystemen durch Anpassung an Regularien und äußere Umstände“ zunächst gekürzt zur Übersicht dargestellt. Es wird unterschieden zwischen internen Handlungsempfehlungen, die nur die jeweilige handelnde Person oder Organisation betreffen (äußerer Kreis) und kooperativen Handlungsempfehlungen, die sich an einen Akteur zur Aktivierung eines anderen richten (innerer Kreis). Darauf folgend werden die einzelnen Handlungsempfehlungen textlich ausführlich erläutert.

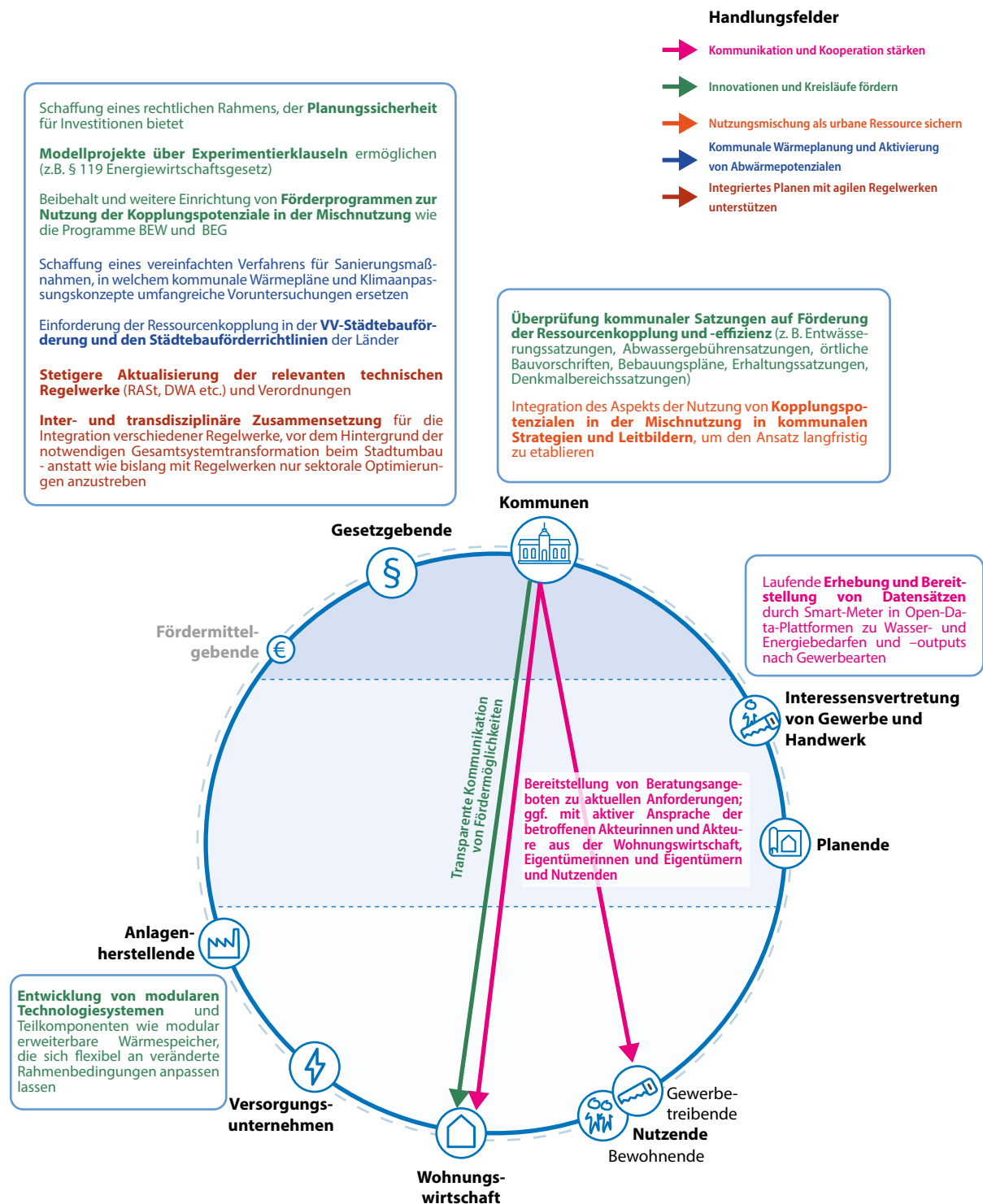


Abbildung 56: Übersicht der Handlungsempfehlungen in Zuordnung ihres spezifischen Akteurs (interne Handlungsempfehlungen) und in Zuordnung der jeweils kooperierenden Akteure (kooperative Handlungsempfehlungen) im Schlüsselmoment 3

Handlungsfeld: Kommunikation und Kooperation stärken

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Bereitstellung von Beratungsangeboten zu aktuellen Anforderungen; ggf. mit aktiver Ansprache der betroffenen Akteurinnen und Akteure aus der Wohnungswirtschaft, Eigentümerinnen und Eigentümer sowie Nutzenden

Handlungsebene 2 (planen und vermitteln)

Interessenvertretungen von Gewerbe und Handwerk

- laufende Erhebung und Bereitstellung von Datensätzen durch Smart-Meter in Open-Data-Plattformen zu Wasser- und Energiebedarfen und –outputs nach Gewerbearten, als Grundlage für die passfähige Ausarbeitung von Technologiekonzepten für unterschiedliche Handwerksbetriebe

Handlungsfeld: Innovationen und Kreisläufe fördern

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Überprüfung kommunaler Satzungen auf Förderung der Ressourcenkopplung und -effizienz (z.B. Entwässerungssatzungen, Abwassergebührensatzungen, örtliche Bauvorschriften, Bebauungspläne, Erhaltungssatzungen, Denkmalbereichssatzungen)
- transparente Kommunikation von Fördermöglichkeiten an potenziell Umsetzende der Wohnungswirtschaft (insbesondere Eigentümerinnen und Eigentümer)

Gesetzgebende

- Schaffung eines rechtlichen Rahmens, der Planungssicherheit für Investitionen bietet
- Modellprojekte über Experimentierklauseln ermöglichen (z.B. § 119 Energiewirtschaftsgesetz)
- Beibehalt und weitere Einrichtung von Förderprogrammen zur Nutzung der Kopplungspotenziale in der Mischnutzung wie die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) und Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

Handlungsebene 3 (umsetzen, erzeugen, nutzen)

Anlagenherstellende

- Entwicklung von modularen Technologiesystemen und Teilkomponenten wie modular erweiterbare Wärmespeicher, die sich flexibel an veränderte Rahmenbedingungen anpassen lassen (siehe Kapitel 4.6. und 6.5.)

Handlungsfeld: Nutzungsmischung als urbane Ressource sichern

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Kommune

- Integration des Aspekts der Nutzung von Kopplungspotenzialen in der Mischnutzung in kommunalen Strategien und Leitbildern, um den Ansatz langfristig zu etablieren

Handlungsfeld: Kommunale Wärmeplanung und Aktivierung von Abwärmepotenzialen

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Gesetzgebende

- Schaffung eines vereinfachten Verfahrens für Sanierungsmaßnahmen, in welche kommunale Wärmepläne und Klimaanpassungskonzepte umfangreiche Voruntersuchungen ersetzen
- Einforderung der Ressourcenkopplung in der VV-Städtebauförderung und den Städtebauförderrichtlinien der Länder

Handlungsfeld: Integriertes Planen mit agilen Regelwerken

Handlungsebene 1 (verwalten und regulieren)

Gesetzgebende

- Stetigere Aktualisierung der relevanten technischen Regelwerke (RASt, DWA etc.) und Verordnungen (häufiger als sie bislang aktualisiert werden), um sicherzustellen, dass technologische Innovationen sowie der aktuelle Stand der Wissenschaft zeitnah in die für die Praxis relevanten Richtlinien überführt werden. Die RASSt ist beispielsweise in ihrer aktuell geltenden Form zum Beispiel aus dem Jahr 2006. Die DWA-A-138 stammt in ihrer ursprünglichen Form von 2005. 2021 folgte dann den Entwurf der Aktualisierung. Zum 01.10.2024 trat dann die Aktualisierung in Kraft (DWA, 2024). Es sind allerdings regelmäßige Erneuerungszyklen (z.B. im Fünfjahresrhythmus) notwendig, um am aktuellen Stand der Technik zu bleiben.
- Eine inter- ggf. sogar transdisziplinäre Zusammensetzung ist zudem ein wichtiger Schritt hin zu einer stärkeren Integration verschiedener bislang häufig disziplinär gedachter Regelwerke. Dieser Schritt erscheint notwendig, da es bei dem notwendigen Stadtumbau immer um eine Gesamtsystemtransformation geht und nicht um eine sektorale Optimierung.

9. Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit

Die folgenden Erkenntnisse reflektieren das Forschungsprojekt mit dem Schwerpunkt auf der Methodik der interdisziplinären Zusammenarbeit. In dieser Reflexion wird deutlich, dass besonders drei Rahmenthemen das Projekt methodisch maßgeblich geformt haben: das interdisziplinäre Zusammenarbeiten, das Herstellen einer Flexibilität im eigenen Forschungsprozess sowie der Austausch mit den Partnerinnen und Partnern aus der Praxis (transformative Forschung).

Interdisziplinäres Zusammenarbeiten

Durch die Interdisziplinarität des Projektkonsortiums entstand zunächst ein weites Spektrum an fachspezifischen Zugängen und angewandten Methoden. Die daraus resultierende Komplexität bedurfte einer neuen Kommunikationsstrategie und einer gemeinsamen „Forschungssprache“, die die Zugänge und Ansätze aller Disziplinen in einem gemeinsamen Projektergebnis einordnen konnte. Aus der Herausforderung der Zusammenführung von quantitativen technischen Daten und Anforderungen und der qualitativen städtebaulichen Vision entstand eine Excel-Tabelle, die mithilfe der Übersetzung beider Ergebnisse in technische beziehungsweise städtebauliche Kennwerte eine gemeinsame „Forschungssprache“ erzeugen konnte, die für den Forschungsprozess in beiden Disziplinen regelmäßig einen wichtigen reflexiven Orientierungspunkt darstellte.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit im intensiven Austausch ermöglichte eine frühzeitige Error-Strategie im Projekt. So wurden beispielsweise Schwachstellen rein technischer Lösungsansätze bereits frühzeitig aufgezeigt und konnten im Entwicklungsprozess mitgedacht werden bzw. einige technologische Ansätze aus dem weiteren Forschungsprozess ausgeschlossen werden. Durch die Bearbeitung der baurechtlichen Aspekte sowie der Berücksichtigung von Akzeptanzhemmnissen konnten außerdem einige potenzielle technische Koppelungsansätze bereits frühzeitig ausgeschlossen werden, da sie sich aus der Perspektive der anderen Disziplinen als wenig erfolgversprechend herausstellten.

Flexibilität im Forschungsprozess durch Research-by-Design

Die Methode des Research-by-Design stellte im Projekt einen zentralen Schritt zum Umgang mit den Herausforderungen der interdisziplinären Zusammenarbeit an integrierten Planungsaufgaben im Raum dar. Im Hintergrund stand unter anderem die Frage nach Geschwindigkeit von Umsetzungsprozessen und ihrer diesbezüglichen Optimierung innerhalb geltender institutioneller und rechtlicher Rahmenbedingungen. Die schrittweise und reflektierende Arbeitsweise vereinfachte den Austausch zwischen den einzelnen Disziplinen bei der Diskussion und Integration einzelner komplexer disziplin-spezifischer bzw. sektoraler Inhalte. Auch war die Übersetzung der theoriebasierten inhaltlichen Ergebnisse auf zwei Fallstudien ein wichtiger Anker- und Orientierungspunkt, da somit die räumlich-funktionale Umsetzung der technischen Maßnahmen von Beginn an mitgedacht wurde und die Praxisbeispiele in der internen sowie externen Kommunikation ein größeres Maß an Anschaulichkeit ermöglichten.

An verschiedenen Punkten des Projekts bedurfte es flexibler Zwischenlösungen im Bearbeitungsprozess, um einen einerseits ergebnisoffenen, aber dennoch abgestimmten, festen Zwischenstand herzustellen, um in die nächste Bearbeitungsphase und -tiefe zu gelangen. So wurde im Städtebau beispielsweise zunächst mit einem Leitbild gearbeitet, das konzeptionelle Nutzungen und räumliche Lösungen umriss und gleichzeitig Spielraum für unterschiedliche städtebauliche Szenarien im Entwurf zuließ. Für das technische Konzept in paralleler Bearbeitung zum Städtebau hat sich die Entwicklung und Anwendung der Funktionstypen als förderlich herausgestellt, da auf dieser Grundlage gegenseitige Abhängigkeiten reduziert werden konnten. Beidseitig war eine Konkretisierung möglich, ohne dass abschließende Ergebnisse von einem Projektpartner benötigt wurden. Erst gegen Projektende wurden die finalen Kennwerte zur Nutzungsstruktur benötigt, um die technischen Systeme – die zu diesem Zeitpunkt bereits konzeptionell angelegt waren – auch konkret auszulegen. Zudem

stellte sich durch die methodische Reflexion der Notwendigkeit der Flexibilität im Arbeitsprozess heraus, dass das Prinzip der Flexibilisierung auch bei technischen und städtebaulichen Lösungen zur langfristigen Nutzbarkeit effizienzsteigernder Konzepte im Water-Energy-Nexus beiträgt.

Austausch mit der Praxis

Die Einbindung der Praxispartner stellte sich im Sinne der transformativen Forschung als ein weiterer zentraler Projektbaustein heraus. Die Reflexion der internen Arbeitsergebnisse des Projekts mit den Fachleuten aus der Praxis in den Workshops förderte die Praxisfähigkeit der Vorschläge allgemein, da unmittelbar auf umsetzungspraktische Fragestellungen hingewiesen wurde. Ergänzend durch das Feedback weiterer externen Forschenden und Interessenvertretungen der Praxis konnte immer wieder der Betrachtungsrahmen und die Aktualität der Lösungsvorschläge erweitert werden. Auch konnte in den bilateralen Gesprächen mit den Fachleuten die relevanten Akteurinnen und Akteure und damit adressierten Personen des Forschungsvorhabens in der Praxis identifiziert werden.

Die reflektierende Einbindung der praktischen und wissenschaftlichen Beiträge in dem Research-by-Design-Prozess wird als unbedingt erforderlich für die spätere Anwendbarkeit der entwickelten Lösungen hervorgehoben; sie trug maßgeblich zur allgemeinen Qualitätssteigerung der Projektergebnisse bei.

10. Ausblick

Das Projekt untersuchte die Ansprüche an die Umsetzungspotenziale und Hindernisse bei Wasserkreisläufen zur gemeinschaftlichen und effizienten Energie- und Ressourcennutzung in nutzungsgemischten Baublöcken hoher Dichte. Generell lassen sich, mit dem Fokus auf die Kommune als zentrale räumliche Einheit für Maßnahmen und - wenn auch indirekter, dennoch wesentlicher - Akteurin bei den Umsetzungsprozessen aufgrund ihrer planerisch-steuernden Rolle, die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

Nachhaltigkeitskontext – wirtschaftlich, ökologisch und sozial sinnvoll

Nutzungsgemischte Baublöcke hoher Dichte bieten ein ausreichendes Potenzial an Ressourcenaustausch, um die technisch und organisatorisch komplexen Maßnahmen aus der Sicht des Nachhaltigkeitsdreiecks von wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Gesichtspunkten zu rechtfertigen. Eine Gegenüberstellung der Verbräuche gegenüber den Technologie- und Umsetzungskosten zeigt, dass Potenziale von Wasserkreisläufen zur gemeinschaftlichen und effizienten Energie- und Ressourcennutzung eindeutig vorliegen. Trotz höherer Investitionen und höherem Aufbau- beziehungsweise Installationsaufwands für die Nutzenden entstehen in den beiden Fallstudien eindeutige wirtschaftliche Vorteile mit positiven ökologischen Effekten. Sie ergeben sich letztlich aus insgesamt sparsamerem Einsatz von Primärenergie. Unter optimalen Bedingungen fallen die Kosten eines innovativen Systems gar geringer aus als die Kosten eines konventionellen Systems, was als starkes Argument für eine Systemtransition – und den damit verbundenen Aufwand – herangezogen werden kann. Der Primärenergieverbrauch und somit CO₂-Ausstoß wird reduziert. Die Förderung der gemeinschaftlichen Ressourcennutzung unterstützt aufgrund höherer Effizienz die kleinteilige urbane Mischnutzung und bildet somit zumindest die Voraussetzung für eine stärkere Toleranz des Nebeneinanders von Wohnen und Gewerbe.

Wirtschaftliche Tragbarkeit ressourcenbezogener Maßnahmen

Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines neuartigen, innovativen Technologiesystems sollen neben den initialen Investitionskosten auch die langfristigen Betriebs- und Reinvestitionskosten der Anlagen berücksichtigt werden. Insbesondere bei neuartigen Systemen zeigen sich ökonomische Vorteile oftmals erst mit Blick auf die Gesamtkosten über die Gesamtprojektlaufzeit (Abschreibungszeitraum oder technische Lebensdauer einer Anlage). Im Falle von POWER wurde zur Kostenberechnung ein Abschreibungszeitraum von 80 Jahren angesetzt, der demzufolge auch für das zu vergleichende konventionelle System anzusetzen ist. Eine reine Betrachtung der initialen Investitionskosten würde überwiegend nachteilig für innovative Systeme ausfallen, da Technologieinnovationen mit Markteintritt meist noch mit hohen Produktionskosten verbunden sind, wohingegen konventionelle Systeme von Kostenoptimierungen und Skalenvorteilen profitieren. Über die gesamte Lebensdauer des Infrastruktursystems ist allerdings davon auszugehen, dass sich das Kostenverhältnis zu Gunsten des innovativen Systems umkehrt, da einerseits die laufenden Betriebskosten geringer ausfallen (können) (siehe Tab. 22-24) als beim konventionellen System. Im Energiesektor ist zudem zu berücksichtigen, dass bei fossilen Versorgungsoptionen steigende Zertifikatskosten für den CO₂-Ausstoß angenommen werden müssen. Nachdem der Zertifikatspreis für eine Tonne CO₂-Äquivalent in den letzten Jahren bei 25 € lag, wurde er schrittweise auf 35 bzw. seit 2024 auf 45 € angehoben. Im Jahr 2025 steigt er um weitere 10 € auf 55 € und ab 2027 wird er auf dem europäischen Zertifikatemarkt frei verhandelt. Auch hier muss von einer weiteren deutlichen Kostensteigerung ausgegangen werden. Demgegenüber stehen Effizienz- und Skalenvorteile beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Das Fraunhofer ISE geht beispielsweise in einer aktuellen Studie zur Entwicklung der Stromgestehungskosten davon aus, dass beispielsweise Strom aus Dachflächen-PV-Anlagen im Jahr 2045 zwischen 5 und 20 ct je kWh kosten wird, wohingegen die Kilowattstunde Strom aus Gas- und Dampfkraftwerken bis zu 40 ct kosten wird (vgl. Fraunhofer ISE 2024: 4). Dieses Beispiel verdeutlicht die Relevanz einer Gesamtkostenbetrachtung zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines innovativen Systems und die Erwartung, dass sich das Kostenverhältnis mit längerem Betrachtungszeitraum zu Gunsten des innovativen

Systems wendet. Auch daher kann davon ausgegangen werden, dass die Anwendung der in den Fallstudien verwendeten Technologien in anderen Fällen ebenfalls positive wirtschaftliche Auswirkungen für die Nutzenden haben wird, wenn auch aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen im Bestand, aber auch im Neubau, eine Einzelfallbetrachtung erforderlich ist.

Ökologischer Nutzen im lokalen und kommunalen Kontext

Aus der Sicht der Kommunen ist zudem zu berücksichtigen, dass die so erreichte Energieeffizienz im lokalen Maßstab das Ziel der Klimaneutralität unterstützt. Positive ökologische Effekte ergeben sich zunächst aus einem sparsameren Umgang mit Wasser beziehungsweise seiner Weiternutzung und Versickerung vor Ort. Die Ressourcenkopplung durch lokale Wassersysteme fördert technologiebedingt einerseits die Rückhaltung und gesteuerte Abgabe von Oberflächenwasser an die Natur, wobei auch blockübergreifende, quartiersweite Systeme für die Verteilung von Wasser etwa zur Bewässerung oder Weiternutzung möglich sind. Projekte der Regenwasseragentur zur Überwindung von Grundstücksgrenzen und öffentlichen Flächen bzw. die Einbindung der letzteren bestätigen die Sinnhaftigkeit und positiven Effekte auf die Stadtnatur und das -klima aufgrund besserer Bedingungen für das Stadtgrün.

Integrierte Maßnahmen zur Prävention von Hitzeinseln durch entsprechende Pflanzungen und langfristige Pflegekonzepte des Stadtgrüns in Verbindung mit passiven Bewässerungskonzepten sind dabei Möglichkeiten, welche langfristig zur Kostensenkung für die Pflege und Erneuerung bei niedrigerem Bedarf an Kühlenergie als Beispiel führen können. Damit zusammenhängend sind ein stärkerer Schutz und Pflege von Böden, unter anderem als Gebot der Minimaleingriffe und dem Schutz vor Verdichtung und Vermeidung der Beeinträchtigung von Bodenfunktionen (als Bestandteil der Umweltprüfung seit 2004). Hierfür ist der Ausbau von Daten zu Bodenqualität und Grundwasserentwicklung bzw. entsprechendes Monitoring notwendig, welches unter anderem durch städtebauliche Verträge abgedeckt werden kann. Größere Städte haben inzwischen Open-Source-Datenplattformen, die durch einzelne Projekte weiter mit räumlichen Daten angereichert werden können. Planungshinweise zum Bodenschutz müssten entsprechend weiterentwickelt werden; für die Bauleitplanung bedeutet dies vor allem den ergänzenden Einsatz von Grünplänen und Pflanzsetzungen. Ein für den Wasserressourcenaustausch erweitertes, lokales Oberflächenwassermanagement senkt nicht nur die Kosten der Grünpflege und das Risiko der Bildung von Hitzeinseln, es trägt zudem zur Resilienz städtischer Infrastrukturen bei Starkregenereignissen und Hitzeperioden bei. Dies alles bedeutet direkte positive Effekte auch für die Kommunen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die positiven ökologischen Effekte übertragbar sind. Die Rolle der Kommune für die Umsetzung wird daher in der Zukunft vor allem in der Definition von Standards, Schaffung von baurechtlichen Voraussetzungen und Beratung bei Prozessschritten zur Nutzung von Oberflächenwasser als Ressource liegen, welche über die bislang gängigen Regeln der Regenwassereinspeisung hinausgehen. Insgesamt geht es weniger um zusätzliche Direktiven, sondern mehr um den (bau)rechtlichen bzw. bauleitplanerischen Fokus und die Ermöglichung von system- und grundstücksübergreifender wasserbasierter Ressourcenlösungen.

Das Wasser erwies sich zudem als ein effektiver Energieträger und -speicher innerhalb des urbanen Baublocks. Die entsprechenden Systemanforderungen bei der Nutzung von Wasser als Medium liegen in der entsprechenden technischen Zusammensetzung, insbesondere dem wasserbasierten Wärmetauscher. An ihn angeknüpft können die meisten Technologien dem gemeinsamen System Energie zuführen – von Solaranlagen bis hin zu Abwasserwärme. Energiebezogen bestehen bereits zahlreiche Regelungen zur Senkung von Primärenergiebedarf in Gebäuden. Diese werden früher oder später im Bestand einen immer stärkeren Zwang zum komplexen Umrüsten der Infrastrukturen nach sich ziehen. Die in diesem Projekt zutage geförderten Hemmnisse technischer, systemischer und psychologischer Art weisen darauf hin, dass ohne eine übergeordnet koordinierender Rolle der Kommunen zwar zu einem unbestimmten Zeitpunkt neue technische Systeme eingebaut werden (müssen), diese allerdings dann energie- und ressourcenbezogen weniger als die in den Fallstudien hier vorgestellten vernetzt und somit auch weniger effektiv und resilient sein werden. Die in den Wärmeplanungen der Städte als Gebiete mit individuellen Energielösungen bezeichneten Bereiche werden bei der Erreichung

von Klimazielen wesentlich von der Senkung des Primärenergiebedarfs abhängig sein. Daher sollten sich die Bemühungen zur Umsetzung der hier behandelten Ressourcensysteme im Block vorrangig darauf fokussieren. Auch Kosten der dann noch notwendigen Maßnahmen zur lokalen Energie-, Wärme- bzw. Kältererzeugung, zu denen nach heutigem Stand der Technik Erd- oder Umgebungswärmepumpen zum Einsatz werden kommen müssen, können so gesenkt werden.

Für die Kommunen bedeutet ein Engagement bei der Unterstützung lokaler wasserbasierter Ressourcensysteme aus ökologischer Sicht folglich drei wesentliche Vorteile: Erstens trägt die Effizienz solcher lokalen Netze, wie bereits erwähnt, wesentlich zur Senkung des Primärenergieverbrauchs, und somit des CO₂-Ausstoßes, bei. Damit umfasst diese auch eine Verminderung des Energie(träger)transportbedarfs durch die Stromnetze. Zweitens zeigen die Simulationsberechnungen darüber hinaus eine erkennbare Senkung des Trinkwasserverbrauchs. Drittens kann damit eine gesamte Senkung der Versorgungsinfrastrukturkosten erzeugt und die Dekarbonisierung der städtischen Energieversorgung unterstützt werden.

Sozial-ökologische Notwendigkeit und Akteure umsetzungsbezogener Prozesse

Die behandelten Ressourcensysteme tragen zur langfristigen Senkung der Energiekosten bei und stellen somit eine der Voraussetzungen sozialökologischer Gerechtigkeit im Siedlungsraum dar. Die Verbesserung von Voraussetzungen von Mischnutzung für inzwischen vulnerable Nutzungen des Wohnens und Gewerbes bzw. Handwerks schaffen günstigere Bedingungen für den Erhalt und Ausbau urbaner Nutzungsmischung, welche nicht nur aufgrund von Flächenkonkurrenzen unter starkem Druck steht. Hierbei werden Verdrängungstendenzen im Bestand vorgebeugt. Im Rahmen des Projekts konnte die Toleranz gegenüber Störungen durch andere Nutzungen nicht befragt oder überprüft werden. Inwieweit die Toleranz durch gegenseitiges ressourcenbezogenes Profitieren weiter gesteigert werden kann, gilt noch zu überprüfen. Die Fallstudien zeigen jedoch durch die Wahrung von städtebaulichen Grundprinzipien Möglichkeiten zur Senkung von Störpotenzialen einzelner Nutzungen.

Die erwähnte Symbiose von Nutzungen weist auf eine zentrale Aufgabe bei der Umsetzung gemeinschaftlicher, effizienter Energie- und Ressourcennutzung in nutzungsgemischten Baublöcken hoher Dichte hin: Für die Effizienz des Prosumierens, des Teilens und der Kopplung von Ressourcensystemen sind übergreifende lokal-kommunale Akteursnetze mit vorhandener Akzeptanz der notwendigen investiven und baulichen Maßnahmen von entscheidender Bedeutung. Die vorliegenden Fallstudien verdeutlichen eine Diskrepanz zwischen den gegenwärtigen zeitlichen, technischen und organisatorischen Anforderungen an die Implementierung energetischer Maßnahmen beim Neubau einerseits und der komplexen Situation im Bestand andererseits. Wesentliche Hemmnisse im Bestand sind die individuellen physischen Merkmale der Gebäudebestände, kombiniert mit den unterschiedlich ausgeprägten Umsetzungsbereitschaften der Eigentümerinnen und Eigentümer. Diese Herausforderungen werden durch gesetzliche Vorgaben wie das Gebäude-Energie-Gesetz (GEG), das Bundes-Klimaschutzgesetz sowie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (WPG) verstärkt. Insbesondere bei den nächsten wesentlichen Erneuerungen von Dächern, Fassaden und Heizungsanlagen wird die Notwendigkeit koordinierter baulich-technischer Maßnahmen evident.

In diesem Kontext erweist sich die oft diskutierte zeitliche Dimension als nur indirekt relevant. Die kommunalen Wärmeplanungen, die bis 2028 abgeschlossen sein sollten, bilden eine grundlegende Voraussetzung. Die zeitliche Zielvorgabe der Bundesregierung für einen weitestgehend klimaneutralen Gebäudebetrieb ist derzeit auf das Jahr 2044 festgelegt. Vielmehr stellt sich die Frage nach den tatsächlichen Verfahren zur Umsetzung dieser Maßnahmen in den Beständen. Vereinfacht gesagt: Aktuelle Szenarien gehen davon aus, dass bei wesentlichen Erneuerungen von Dächern Solaranlagen installiert oder am Ende der Nutzungsdauer von Heizkesseln Wärmepumpen integriert werden. Dabei werden jedoch die damit verbundenen komplexen Maßnahmen wie der Einbau zentraler Heizsysteme, statische Ertüchtigungen oder nachbarschaftliche Interessen häufig nicht ausreichend berücksichtigt. Ähnliches ist entsprechend bei der Umsetzung von wasserbasier-

ten, ressourcenbezogenen Systemen zu erwarten. Innerhalb des Siedlungsgefüges muss dafür generell die bislang getrennte Implementierung von Maßnahmen in einzelnen Teilsystemen, Gebäuden sowie auf Grundstücken und öffentlichen Räumen überwunden werden. In komplexen Beständen kann gegenwärtig nicht davon ausgegangen werden, dass eine solche Bereitschaft spontan entstehen wird, da allein die Komplexität der Rahmenbedingungen für das Handeln innerhalb der einzelnen Eigentumsstrukturen und die komplexe Verwebung technischer, baulicher, investiver, zeitlicher und psychologischer Hemmnisse erheblich ist. Es lässt sich lediglich vermuten, dass lokale Maßnahmen in Bereichen mit klar strukturierten und gut koordinierten Eigentumskonstellationen – wie größeren WEGs oder Eigentümerstrukturen mit weitgehend homogenen Beständen – in Kooperation mit kommunalen Akteurinnen und Akteuren einfacher zur Etablierung lokaler Netzwerke führen werden. Auch hier rücken jedoch Lücken in den Prozessen zur Umsetzung solcher Maßnahmen zunehmend in den Vordergrund und stellen eine Herausforderung dar, die über die eigentlichen gesetzlichen und fördertechnischen Rahmenbedingungen hinausgeht. Aufgabe der Kommunen wird daher sein, die hier identifizierten Lücken entlang der Akteurskette zwischen ihnen selbst, den Intermediären in Innungen und Kammern, einzelnen Versorgern, Technologiezulieferern und schließlich auch den Eigentümerinnen und Eigentümern durch die oben identifizierten prozessbezogenen Maßnahmen prozessbegleitend zu schließen, um so die Umsetzung im Neubau wie auch im Bestand wesentlich zu befördern. Die Rolle der Kommune wird bei der Hebung von Potenzialen gemeinschaftlicher, effizienter Energie- und Ressourcennutzung in nutzungsgemischten Baublöcken hoher Dichte künftig in drei Feldern liegen:

Zunächst ist es die Rolle der Kommune als Initiatorin, die aufgrund ihrer Vorplanungen und technischer Vorbereitungen rechtliche und materielle Voraussetzungen schafft, um Maßnahmen der Privaten effektiv umsetzen zu können. Hierzu gehören zunächst raumbezogene Informationen und Daten zu und aus den Versorgungsinfrastrukturen, welche auf die Zeitfenster der Erneuerung schließen lassen, die Priorisierung räumlicher Bereiche bzw. von Siedlungsstrukturen mit Hinblick auf Maßnahmeneffizienz und Dringlichkeit. Darüber hinaus gehören dazu Informationskampagnen, die nicht nur an Eigentümerinnen und Eigentümer, sondern vor allem an intermediär agierende Institutionen, unter anderem Immobilienverwaltungen und Handwerks- und Innungsververtretungen, gerichtet sind. Aus den Ergebnissen der Studie lässt sich darauf schließen, dass diese Tätigkeitsfelder zwar zu den zentralen Hemmnissen des Umbaus gehören, bei den meisten Kommunen jedoch noch nicht im ausreichenden Maße koordiniert und strategisch angegangen werden.

Zweitens ist es die Rolle der Kommune als Beraterin für ebendiese Akteurinnen und Akteure: wieder nicht nur in Richtung der Eigentümerinnen und Eigentümer und Nutzenden, sondern auch und vor allem in Kommunikation mit der gesamten Umsetzungskette. Einerseits erleichtert dies die Aufgabe für die Kommunen, da Intermediäre in der Regel leichter zu erreichen sind als einzelne Eigentümerinnen und Eigentümer sowie Nutzende. Andererseits werden gut beratene und informierte Dienstleistungsorganisationen auch gute Beratende der Endkunden.

Drittens ist es die Kommune als Vernetzerin, insbesondere zwischen den Intermediären und ihren eigenen Ämtern und Betrieben, die die Basis schafft, die Grundlagen- und Beratungsangebote effektiv nutzen zu können. Die Ausführung der einzelnen Aufgaben muss dabei die Kommune nicht allein übernehmen; Wirtschaftsförderung, Kammern und Innungen können diese als Partnerinnen und Partner mit ihrer Arbeit in Kooperation stützen.

Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Jan Polívka (ILS Research gGmbH)
Dr. Steven März (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH)
Dr. Antonia Rubarth (RWTH Aachen University)
Dr. Martin Schulwitz (Technische Universität Dortmund)
M.A. Thomas Adisorn (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH)
M.Sc. Alena Cohrs (ILS Research gGmbH)
M.Sc. Sarah Frieze (Technische Universität Dortmund)
M.Sc. Pauline Jegen (Technische Universität Dortmund)
M.Sc. Jonas Marschall (ILS Research gGmbH)
Dipl.-Ing. Anne Söfker-Rieniets (RWTH Aachen University)

Weitere Mitwirkende

Prof. em. Dr. J. Alexander Schmidt (Universität Duisburg-Essen)
Runrid Fox-Kämper (ILS Research gGmbH)
Theresa Milde (ILS Research gGmbH)
Mona Heitwerth (ILS Research gGmbH)

Praxispartner und Mitwirkende

- Gemeinde Kall (Wirtschaftsförderung)
- Verband der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft Rheinland Westfalen
- Fachverband des Tischlerhandwerks Nordrhein-Westfalen
- Planungsbüro Reicher Haase Assoziierte
- Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.
- Architektenkammer NRW

Fachliche Betreuung

Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“ (BBSR)

Dr. Michael Brüggemann
Brüggemann Kisseler Ingenieure, Wuppertal

Administrative Betreuung

Marlo Milch (ILS Research gGmbH)

Literaturverzeichnis

- Abfallwirtschaft Landkreis Lörrach, o.J.: Wie wird der Einwohnergleichwert berechnet?, Abfallwirtschaft Landkreis Lörrach | Einwohnergleichwert. Zugriff <https://www.abfallwirtschaft-loerrach-landkreis.de/einwohnergleichwert> [abgerufen am 17.05. 2024].
- Ahlbrink, M.; Schomerus, T., 2017: Öffentlich-rechtliche Fragen der Errichtung von Fernwärmenetzen unter kommunaler Beteiligung. ER Energierecht, 6. Jg. (4): 143-149.
- Albrecht, J. 2023: Klimaanpassung im Städtebaurecht, ZUR Zeitschrift für Umweltrecht, 34. Jg. (5): 273-283.
- Aldi Nord, 2022: Zwischenbericht 2022. Zugriff: https://www.aldi-nord.de/content/dam/aldi/corporate-responsibility/de/nachhaltigkeitsbericht/2017/sonstige/downloads-und-archiv/de/ALDI_Nord_Zwischenbericht_2022_DE.pdf.res/1695642973320/ALDI_Nord_Zwischenbericht_2022_DE.pdf [abgerufen am 11.06.2024].
- Aydemir, A.; Doderer, H.; Hoppe, F.; Braungardt, S., 2019: Abwärmenutzung in Unternehmen. Fraunhofer ISI, IKEM, BBHC, Öko-Institut. Zugriff: <https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2019/06/Abw%C3%A4rmenutzung-in-Unternehmen-Final-25.06.2019.pdf> [abgerufen am 11.07.2024].
- Baars, A.; Roscher, M., 2020a: Handlungs- und Steuerungsinstrumente für den Ausbau der Photovoltaik (Teil 1), KommJur Kommunaljurist, 20. Jg. (1): 8-12.
- Baars, A.; Roscher, M., 2020b: Handlungs- und Steuerungsinstrumente für den Ausbau der Photovoltaik (Teil 2), KommJur Kommunaljurist, 20. Jg. (2): 41-45.
- BAFA - Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2023: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze— Technische Anforderungen der Module 1 bis 4. Zugriff: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html [abgerufen am 11.07.2024].
- BAK - Bundesarchitektenkammer, 2023: Positionspapier der Bundesarchitektenkammer zum seriellen, modularen und systemischen Bauen, Bundesarchitektenkammer. Positionspapier, September 2023, Berlin: 3.
- Balling, V.; Benz, S.; Boinski, O.; Senders, J.; v. Gneisenau, C.; Kamm, J.; Kahles, M.; Antoni, O.; Wegner, N., 2023: Kommunale Wärmeleitplanung, Würzburger Studien zum Umweltenergierecht Nr. 30 vom 17.07.2023. Zugriff: https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2024/02/Stiftung_Umweltenergie-recht_WueStudien_35_Die-Beschleunigungsgebiete-nach-der-Erneuerbare-Energien-Richtlinie.pdf [abgerufen am 26.04.2024].
- Barankay, T., 2016: Modulare Bauformen – Trend oder Zukunftsmodell? Zugriff: <https://www.detail.de/de/modulare-bauformen-trend-oder-zukunftsmodell-28818?srltid=AfmBOooWJEctUsprMeOuT1mcd-Z2XCiKFu-O0sOxqfeda1HuV0xi31yv9> [abgerufen am 08.10.2024].
- Battis, U; Mitschang, S.; Reidt, O., 2017: Das Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie 2014/52/EU im Städtebaurecht und zur Stärkung des neuen Zusammenlebens in der Stadt (BauGB-Novelle 2017), NVwZ Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht, 26. Jg. (12): 817-826.
- Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2017: Projekt: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäude. Zugriff: https://www.lbb-bayern.de/fileadmin/quicklinks/Quick-Link-Nr-98300000-LfU-Gesamtstudie_Lebenszyklusanalyse.pdf [abgerufen am 15.07.2024].

Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2022: Energie aus Abwasser – Ein Leitfaden für Kommunen. Zugriff: https://www.wwa-wen.bayern.de/abwasser/doc/energie_aus_abwasser.pdf [abgerufen am 11.07.2024].

BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (o.J.): Voll im Saft: Energieeffiziente Fleischherzeugung. Zugriff: <https://www.gewerbegas.info/gas-im-gewerbe/fleischerei> [abgerufen am 28.08.2023].

Berliner Wasserbetriebe, o. J.: Abwasserwärme. Ein Leitfaden. Zugriff: <https://www.bwb.de/de/assets/downloads/leitfaden-abwasserwaerme.pdf> [abgerufen am 07.08.2023].

Benz, V; Boinski, O., 2023: Die Umsetzung kommunaler Wärmepläne durch das Bauleitplanungsrecht – Status Quo und mögliche Fortentwicklung, ZUR Zeitschrift für Umweltrecht, 34. Jg. (6): 330-338.

Berkemann, J., 2021: Die Gebietsverträglichkeit im Bauplanungsrecht, ZfBR Zeitschrift für deutsches und internationales Bau- und Vergaberecht, 44. Jg. (4): 374 -384.

Berliner Regenwasseragentur, 2023: Studie Grundstücksübergreifende Lösungen der Regenwasserbewirtschaftung. Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt. Berlin.

Bettencourt, L., 2023: The Origins of Scaling in Cities.Science340:1438-1441.

Beuth, A.; Hamann, A., 2019: Hemmnisse und Potenziale der Abwasserwärmenutzung zur Gebäudeheizung—Technische, wirtschaftliche, planerische und rechtliche Aspekte. Fraunhofer IRB Verlag. Zugriff: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/19049002216.pdf> [abgerufen am 11.07.2024].

Bezirksregierung Düsseldorf, 2024: Überschwemmungsgebiete. Zugriff: <https://www.brd.nrw.de/themen/umwelt-natur/wasserwirtschaft/hochwasserrisiken-und-hochwasserschutz/ueberschwemmungsgebiete> [abgerufen am 15.07.2024].

Bieker, S., 2021: InnoA2-Up: Umsetzungsplanung für Pilotanlagen zur innovativen Abwärmenutzung und -verteilung über die Kanalisation.

Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (Hrsg.), 2002: Das Experteninterview: Theorie, Methode, Anwendung. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Bosch, o.J.: Wasserverbrauch deiner Waschmaschine: So sparst du beim Waschen! Zugriff: <https://www.bosch-home.com/de/bosch-erleben/magazin/haushaltstipps/wasserverbrauch> [abgerufen am 12.04.2024].

Bringezu, S., 2023: Nachhaltiger Ressourcen-Verbrauch in der Stadt. In: Forschung und Lehre, Ausgabe 1/23. Zugriff: <https://www.forschung-und-lehre.de/heftarchiv/ausgabe-1/23> [abgerufen am 02.05.2024].

Buchert, M., 2014: Reflexives Entwerfen? In: Buchert, M. (Hrsg.): Reflexives Entwerfen. Entwerfen und Forschen in der Architektur. Berlin:24-49. Zugriff: <https://www.jovis.de/de/book/9783868592986> [abgerufen am 11.05.2024].

Bücken, M.; Holler, K.; Kraft, D. A.; Kroemer, S.; Mühlbach, J., 2015: Gestaltung Deckblatt: Manuela Bücken – EEB ENERKO GmbH. Zugriff: https://www.gelsenkirchen.de/de/infrastruktur/umwelt/klima/klimaschutz/klimaschutzkonzepte/doc/abschlussbericht_integrierte_w%C3%A4rmenutzung_gelsenkirchen.pdf [abgerufen am 11.07.2024].

BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2020: Neue Leipzig Charta: Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Zugriff: https://www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/NSPWeb/SharedDocs/Publikationen/DE/Publikationen/die_neue_leipzig_charta.pdf;jsessionid=0EB220CC49CE2D-D5F4DAAA4D4ACE12F6.live11291?__blob=publicationFile&v=7 [abgerufen am 10.05.2024].

BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) . Zugriff: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Laborgebaeude/L_123_trinkwasserbedarf.pdf [abgerufen am 10.05.2024].

BMUV - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2023: Nationale Wasserstrategie. Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023. Zugriff: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nationale_wasserstrategie_2023_bf.pdf [abgerufen am 03.05.2024].

BMW i - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2014: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand. Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. Zugriff: https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Kommunaler_Klimaschutz/Wissensportal/Bauen_und_Sanieren/BMWi_sanierungsbedarf-im-gebäudebestand.pdf [abgerufen am 07.10.2024].

BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2019: Evaluierung der Kraft-Wärme-Kopplung. Analysen zur Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Zugriff: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/evaluierung-der-kraft-waerme-kopplung.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [abgerufen am 07.10.2024].

BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2024: Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen aus dem „Programm für Rationelle Energieverwendung, Regenerative Energien und Energiesparen“ (progres.nrw) – Programmbereich Klimaschutztechnik (Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik). Zugriff: <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/NRW/progres-nrw-programmbereich-klimaschutztechnik.html> [abgerufen am 11.07.2024].

BMZ - Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2024: Integriertes Wasserressourcenmanagement und Nexus-Ansatz, 13.02.2024 (letzte Aktualisierung). Zugriff: <https://www.bmz.de/de/themen/wasser/wasserpolitik/integriertes-wasserressourcenmanagement-und-nexus-ansatz-20636> [abgerufen am 13.02.2024].

Brandt, M.; Gärtner, S.; Meyer, K., 2017: Urbane Produktion - ein Versuch einer Begriffsdefinition.

Bundeskartellamt 2012: Sektoruntersuchung Fernwärme. Abschlussbericht gemäß § 32e GWB. Zugriff: https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Publikation/DE/Sektoruntersuchungen/Sektoruntersuchung%20Fernwaerme%20-%20Abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [abgerufen am 26.04.2024].

Buri, R.; Kobel, B., 2004: Leitfaden Wärmenutzung aus Abwasser. Zugriff: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/Abwasserwaermenutzung/Leitfaden_Ratgeber/Leitfaden_Waerme_aus_Abwasser.pdf [abgerufen am 11.07.2024]

Cagno, E.; Trianni, A.; Spallina, G.; Marchesani, F., 2017: Drivers for energy efficiency and their effect on barriers: Empirical evidence from Italian manufacturing enterprises. Energy Efficiency, 10(4), 855–869. <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9488-x> [abgerufen am 01.07.2024]

- Chini, B., 2019: Energiemanagement im Einzelhandel. EHI Retail Institute GmbH. Zugriff: <https://www.stores-shops.de/technology/ehi-studie-der-handel-bleibt-auf-energiesparkurs/> [abgerufen am 11.06.2024]
- Däuper, O.; Braun, F., 2022: Städtebauliche Gestaltungsoptionen für eine nachhaltige Quartiersentwicklung, KommJur Kommunaljurist, 22. Jg. (5): 165-170.
- Davis, F. D.; Bagozzi, R. P.; Warshaw, P. R., 1989: User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. Management Science, 35(8), 982–1003. Zugriff: <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982> [abgerufen am 11.06.2024].
- Davoudi, A.; Milosevic, D.; Scheidegger, R.; Schramm, E.; Winker, M., 2016: Stoffstromanalyse zu verschiedenen Wasserinfrastruktursystemen in Frankfurter und Hamburger Quartieren, 30. Zugriff: <https://backend.repository.difu.de/server/api/core/bitstreams/9e7ecd98-935d-4c18-a5d4-adc4a22dd025/content> [abgerufen am 08.08.2023].
- DBU, BVW, & Institut Energie in Infrastrukturanlagen, 2009: Heizen und Kühlen mit Abwasser. Zugriff: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/07_Publikationen/bwp-Heizen_und_Kuehlen_mit_Abwasser.pdf [abgerufen am 13.06.2024].
- Dena, 2015: Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen – Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Zugriff: https://www.suhl.ihk.de/fileadmin/Redakteure/01_UNTERNEHMEN/Innovation_und_Umwelt/Dena_Broschuere_Abwaermenutzung.pdf [abgerufen am 24.08.2023].
- DIN EN 12056-1 | 2001-01: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen
- DIN 2014: EN 16323, Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik.
- Difu - Deutsches Institut für Urbanistik, 2018: Klimaschutz in Kommunen: Praxisleitfaden. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Zugriff: <https://repository.difu.de/spui/handle/difu/248422> [abgerufen am 14.05.2024].
- Dissanayake, K.; Kurugama, K.; Ruwanthi, C., 2020: Ecological Evaluation of Urban Heat Island Effect in Colombo City, Sri Lanka Based on Landsat 8 Satellite Data.
- Duque Villarreal, N., 2023: Transitions in Urban Networks: Towards Decentralised Wastewater Infrastructure.
- DWD - Deutscher Wetterdienst, 2021: Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1991 – 2020. Zugriff: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_9120_fest.html.html?view=nasPublication [abgerufen am 24.04.2024].
- DVGW - Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, 2019: Regenwassernutzungsanlagen. Zugriff: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/twin14-1908.pdf> [abgerufen am 24.04.2024].
- Eawag - Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, 2007: Novaquatis. Ein Querprojekt der Eawag zur Urinseparation. Nova 3 – Lagerung und Transport. 6.3.2007. Zugriff: www.novaquatis.eawag.ch/arbeitspakete/nova3/index.html [abgerufen am 24.05.2024].
- ENGIE Impact, o.J.: Gastronomie. Zugriff: <https://www.engieimpact.com/de/branchen/gastronomie> [abgerufen am 10.06.2024].

Enervis energy advisors, 2020: Energie aus Abwasser. Bisher unentdeckte Potenzial für die Wärmewende. Zugriff: <https://www.uhrig-bau.eu/wp-content/uploads/2020/11/enervis-studie-energie-aus-abwasser.pdf> [abgerufen am 15.07.2024].

Everding, D., Genske, D.D., 2023: Ordnungsrechtlicher und politischer Rahmen des energetisch-ökologischen Stadtumbaus. In: Energiestädte. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. Zugriff https://doi.org/10.1007/978-3-662-44703-1_7-1 [abgerufen am 10.06.2024].

Europäische Kommission, 2019: The European Green Deal. Zugriff: https://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF [abgerufen am 27.05.2024].

EU Umweltbüro, o.J.: Niederlande: Entsiegeln um die Wette. Zugriff: <https://www.eu-umweltbuero.at/inhalt/niederlande-entsiegeln-um-die-wette> [abgerufen am 09.10.2024].

Franßen, Y., 2017: „Urbane Gebiete“ und Auswirkungen auf Stadtentwicklung und Umwelt, ZUR Zeitschrift für Umweltrecht, 33. Jg. (10): 532-539.

Fraunhofer-IGB, 2024: Der Nexus Wasser – Energie – Ernährung – Rohstoffe, 13.02.2024 (letzte Aktualisierung). Zugriff <https://www.igb.fraunhofer.de/de/ueber-uns/fokusthemen/nexus-wasser-energie-ernaehrung-rohstoffe.html> [abgerufen am 13.02.2024].

Fraunhofer ISE, 2024: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Zugriff: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2024_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf [abgerufen am 02.10.24].

Friedrich, J., 2020: Nachhaltigkeitsbewertung von Systemalternativen zur Transformation des Wasser-Energie-Nexus im städtischen Gebäudebestand. Zugriff <https://scholar.archive.org/work/hoiacvqxgneodprczjrlp-qwhwi/access/wayback/https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000126918/94567423> [abgerufen am 13.02.2024].

Fritz, S., & Butz, J., 2015: Realisierte Abwasserwärmenutzungsanlagen—Recherche im Rahmen des Initialisierungsprogrammes in Baden-Württemberg. Zugriff: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/Abwasserwaermenutzung/Bericht_realisierte_Abwasserwaermeanlagen.pdf [abgerufen am 13.06.2024].

Fritz, C.; Pehnt, M., 2018: Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende? Zugriff: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/ifeu-bmu_Abwaermepotenzial_Abwasser_final_update.pdf [abgerufen am 10.06.2024].

Gärtner, S.; Meyer, K.; Schlieter, D., 2021: Produktive Stadt und Urbane Produktion: Ein Versuch der Verortung anhand der Neuen Leipzig-Charta. Forschung Aktuell, 04/2021.

Ganzenmüller, S., o. J.: Wissensforum Backwaren. Zugriff: <https://wissensforum-backwaren.de/bierbrauen-mit-rest-brot-fluessige-loesungsansaeetze-zur-reduktion-der-lebensmittelverschwendung/> [abgerufen am 25.04.2024].

Geels, F., Kemp, R., Dudley, G., Geels, F. W., & Kemp, R. (Hrsg.), 2011: The Multi-Level Perspective as a New Perspective for Studying Socio-Technical Transitions. In *Automobility in Transition?: A Socio-Technical Analysis of Sustainable Transport*. 49–82.

Golden, J. S., 2004: The Built Environment Induced Urban Heat Island Effect in Rapidly Urbanizing Arid Regions – A Sustainable Urban Engineering Complexity. *Environmental Sciences*, 1. Jg. (4): 321–349.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2008: Leitfaden Nachhaltige Gebäudesysteme. Zugriff: https://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/webredaktion/universitaet/publikationen/gebaeudesysteme/leitfaden_gebaeudesysteme.pdf [abgerufen am 15.07.2024].

Gürtler, H.; Dunkelberg, E.; Gunkel, M.; Kurc, H.; Gnirß, R., o. J.: Abwasserwärme—Ein Leitfaden.

Hackenbruch, J.; Schulwitz, M.; Hagemann, R., 2017: Hitze in städtischen Quartieren: Messergebnisse der Karlsruher AERO-TRAM und die Implikationen für die Stadtplanung. *Transforming Cities*, (1), 58-62.

Hackenbruch, J., 2018: Anpassungsrelevante Klimaänderungen für städtische Baustrukturen und Wohnquartiere. Herausgeber: Prof. Dr. Ch. Kottmeier, Institut für Meteorologie und Klimaforschung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Karlsruhe.

Haas-Arndt, D., 2017: Wasserkreislauf im Gebäude. Herausgeber: Birkhäuser Verlag GmbH. 2. Auflage. Basel.

Hamburg Wasser, o.J.: Aufbereitung von Grauwasser. Zugriff: <https://www.hamburgwasser.de/umwelt/vorsorge/hamburg-water-cycle/grauwasserrecycling> [abgerufen am 25.04.2024].

Hamburg Wasser o.J.b: Schwarzwasser. Zugriff: <https://www.hamburgwasser.de/umwelt/vorsorge/hamburg-water-cycle/schwarzwasser> [abgerufen am 25.04.2024].

Hanke 2016: Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen. In: Forschungsverbund netWORKS – Papers. Zugriff: <https://backend.repository.difu.de/server/api/core/bitstreams/760e19a5-2b6c-4818-afb4-0268c9a593e2/content> [abgerufen am 26.04.2024].

Hanson, G. H., 2001: Scale economies and the geographic concentration of industry. *Journal of Economic Geography*, 1(3), 255–276. Zugriff: <http://www.jstor.org/stable/26160387> [abgerufen am 10.06.2024].

Hargassner Ges. mbH, 2023: Effizient heizen in holzverarbeitenden Betrieben. Zugriff: <https://www.hargassner.com/de-de/heizungen-fuer-tischlerei/> [abgerufen am 24.08.2023].

Heider, B.; Polívka, S.; Siedentop, S., 2024: Großstädte als Wohnorte. Nutzungsmanagement unter Wachstumsbedingungen. Projektbericht. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/refo/staedtebau/2021/grossstaedte-wohnrorte/01-start.html> [abgerufen am 11.05.2024].

Henger, R. M.; Voigtländer, M., 2011: Einflussfaktoren auf die Rentabilität energetischer Sanierungen bei Mietobjekten. Institut der Deutschen Wirtschaft Köln: IW-Trends : Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung aus dem Institut der Deutschen Wirtschaft Köln, 38 Jg. (1): 49–66.

Henschel, S.; Antoni, O., 2023: Das neue Bundes-Wärmeplanungsgesetz - Überblick und Einordnung der wesentlichen Regelungen, . *ER Energierecht*, 12. Jg. (6): 223-228.

Hesse, M., Hoffschröer, H., Mecklenbrauck, I., Polívka, J., Reicher, C., 2013: Suburbaner Raum im Lebenszyklus. Bonn.

Hirzel, S.; Sonntag, B.; Rohde, C., 2013: Industrielle Abwärmenutzung: Kurzstudie. Zugriff: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf [abgerufen am 26.04.2024].

Hofer, J., 2019: Bierbrauen mit (Rest-)Brot: Flüssige Lösungsansätze zur Reduktion der Lebensmittelverschwendung - Das Wissensforum, 22.08.2023 (letzte Aktualisierung). Zugriff: <https://wissensforum-backwaren.de/bierbrauen-mit-rest-brot-fluessige-loesungsansaetze-zur-reduktion-der-lebensmittelverschwendung/> [abgerufen am 22.08.2023].

Houseful, o. J.: Schwarzwasser- und Bioabfallbehandlung für Biogaserzeugung. Zugriff: <https://houseful.eu/de/solutions/schwarzwasser-und-bioabfallbehandlung-fuer-biogaserzeugung/> [abgerufen am 08.08.2023].

Hörnschemeyer, B.; Kleckers, J.; Stretz, C. J.; Klemm, C.; Budde, J.; Arendt, R.; Lewe, M.; Albers, F., 2023: Leitfaden RessourcenPlan – Teil 3.3: Maßnahmen des Quartiersmanagements: Maßnahmensteckbriefe. Ergebnisse des Projekts R2Q RessourcenPlan im Quartier. Herausgeber: FH Münster, IWARU Institut für Infrastruktur-Wasser-Ressourcen-Umwelt. Münster.

Hoyer, J.; Dickhaut, W. ; Kronawitter, L. ; Weber, B., 2011: Water sensitive urban design. Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the future. Herausgeber: Jovis. Hamburg.

HPS AG, 2020: HPS Home Power Solutions startet Serienproduktion des Wasserstoff-Stromspeichersystems picea bei Zollner Elektronik. Zugriff: <https://www.homepowersolutions.de/events-news/serienproduktion-des-wasserstoff-stromspeichersystems-picea-bei-zollner-elektronik/> [abgerufen am 23.08.2023].

Hüsing, B.; Bierhals, R.; Bührlen, B.; Friedewald, M.; Kimpeler, S.; Menrad, K.; Wengel, J.; Zimmer, R.; Zoche, P., 2002: Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil. Zugriff: <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/291511> [abgerufen am 19.04.2024].

HWK Hamburg, 2021: Standortanforderungen des Handwerks. Zugriff: <https://www.hwk-hamburg.de/93,0,-search.html?search-filter-ctx=2&search-searchterm=standortanforderungen&offset=0> [abgerufen am 07.05.2024].

integraTE., o.J.: Hocheffizientes Heizsystem: PVT-Kollektoren versorgen Wärmepumpe mit Solarenergie. Zugriff: https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/integrate/images/divers/PVT_Flyer_Maerz23_ES.pdf [abgerufen am 24.04.2024].

INTEWA, 2020: INTEWA Wiki. Wasseraufbereitung und Grauwassernutzung. Zugriff: https://wiki.intewa.net/index.php/Wasseraufbereitung_und_Grauwassernutzung [abgerufen am 24.04.2024].

IPCC, 2014: Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups 1, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hg. v. Core Writing Team, R.K Pachauri und LA Meyer. Genf.

Jacobshagen, U.; Kaspers, J.; Maiworm, C., 2022: Rechtliche Gestaltung der Wärmewende in der Fernwärmeversorgung, ZUR Zeitschrift für Umweltrecht, 33. Jg. (10): 395 523 (525).

Kahl, W., 2010: Klimaschutz durch die Kommunen – Möglichkeiten und Grenzen, ZUR Zeitschrift für Umweltrecht, 21. Jg. (9): 395 – 403.

Kapsalis, V.; Kyriakopoulos, G. L.; Aravossis, K. G., 2019: Investigation of Ecosystem Services and Circular Economy Interactions under an Inter-organizational Framework. In: Energies, 12(9), Artikel 1734.

Karmann, D., 2021: Brauereien brauen Bier aus altem Brot. geo.de, 07.07.2021 (letzte Aktualisierung). Zugriff: <https://www.geo.de/wissen/ernaehrung/brauereien-brauen-bier-aus-altem-brot-30606326.html> [abgerufen am 23.08.2023].

Kerner, M.; Hindersin, S., 2018: Entwicklung und Testung der Anlagen- und Steuerungstechnik für eine speicherfreie Nutzung der Wärme aus einer Bioreaktorfassade in einem Wohnhaus. Zugriff: <https://www.zukunftbau.de/projekte/forschungsfoerderung/1008187-1605>.

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg, 2024: Abwärme in Wärmenetzen. Zugriff: https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/abwaerme-in-waermenetzen?header2=1&tx_indexedsearch_pi2%5Baction%5D=form&tx_indexedsearch_pi2%5Bcontroller%5D=Search&tx_indexedsearch_pi2%5Bsearch%5D%5BextendedSearch%5D=1&cHash=de9136ae5b32ec13d3d430c4db08e263 [abgerufen am 19.04.2024].

Klinski, S.; Köhler, B.; Bürger, V., 2023: Abwasserwärme—Ad-hoc-Papier. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/uba_ad_hoc_papier_abwasserwaerme.pdf [abgerufen am 11.06.2024].

Klitzsch, C; Lanzerath P., 2022: Energiekrise beherrscht den Handel. Zugriff: <https://www.ehi.org/presse/energiekrise-beherrscht-den-handel/> [abgerufen am 11.06.2024].

Kloth, 2023: Die Hackschnitzelheizung: für nachhaltiges Heizen. Zugriff: <https://www.energieheld.de/heizung/holzheizung/hackschnitzelheizung> [abgerufen am 24.08.2023].

Kollmann, T., 1998: Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme. Gabler Verlag. Zugriff: <https://doi.org/10.1007/978-3-663-09235-3> [abgerufen am 25.04.2024]

Kossmann, B.; Wangenheim, G.; Gill, B., 2016: Wege aus dem Vermieter—Mieter—Dilemma bei der energetischen Modernisierung: Einsparabhängige statt kostenabhängige Refinanzierung. Zugriff: https://www.uni-kassel.de/fb07/fileadmin/datas/fb07/5-Institute/IWR/Deckert/EnWorks_Dateien/Einsparabhaengeriger-Mietaufschlag-Langfassung.pdf [abgerufen am 13.05.2024].

Kunert, J., 2019: Erste Ansätze zur Gestaltung eines neuen Instruments für die Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in Wohngebiete. In: Altrock, U.; Kurth, D.; Kunze, R.; Schmidt, H.; Schmitt, G. (Hrsg.), Programmatik der Stadterneuerung. Jahrbuch Stadterneuerung 2019. Wiesbaden: 203-221.

KURAS, 2017a: Steckbrief 4: Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung. Zugriff: http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente_Verwaltung/pdf/Steckbrief_04_Gebaeudekuehlung.pdf [abgerufen am 11.06.2024].

KURAS, 2017b: Steckbrief 6: Mulden- und Flächenversickerung. Zugriff: http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente_Verwaltung/pdf/Steckbrief_06_Mulden_Flaechenversickerung.pdf [abgerufen am 13.05.2024].

Kuttler, W., 2004: Stadtklima. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, 16. Jg. (3): 187–199.

Landeshauptstadt Stuttgart, 2023: Bericht zur Erstellung der kommunalen Wärmeplanung der Landeshauptstadt Stuttgart. Zugriff: <https://www.stuttgart.de/leben/umwelt/energie/energie-projekte/energieleitplanung-und-waermewende.php.media/395714/Bericht-kommunale-Waermeplanung-LHS.pdf> [abgerufen am 16.05.2024].

Larsen, T., 2020: Urine Source Separation for Global Nutrient Management. In: O'Bannon, D. (Hrsg.): Women in water quality. Investigations by prominent female engineers. Cham: 99–111.

Lehn, F.; Goossens, Y.; Kuntscher, M., 2023: Nachhaltigkeitsbewertung von Demonstrationsprojekten zur Reduzierung von Lebensmittelverlusten und -abfällen in den Sektoren Primärproduktion und Verarbeitung, Thünen Working Paper, No. 211, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, <https://doi.org/10.3220/WP1682325526000> [abgerufen am 10.10.2024].

Libbe, J.; Bock, S.; Nickel, D.; Langer, M.; Wilhelm, C., 2017: Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt. Beiträge aus der INIS-Forschung. Berlin. Zugriff: <https://repository.difu.de/items/e9825755-75cf-41fb-a07d-09f0ff63d5bf> [abgerufen am 21.04.2024].

Libbe, J.; Nickel, D., 2016: Wasser in der Stadt der Zukunft: Planerische Herausforderungen und politische Aufgaben. *disP - The Planning Review*, 52 Jg. (3): 110-115.

Lutter, S.; Kreimel, J.; Giljum, S.; Dittrich, M.; Limberger, S.; Ewers, B.; Schoer, K.; Manstein, C., 2022: Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2022. Ressourcenbericht für Deutschland 2022. Spezial: Rohstoffnutzung der Zukunft. Umweltbundesamt, Bonn, online Publikation, 122 S.

Magazowski, C., 2017: Neuartige Tarifsysteme (NATS) für neuartige Sanitärsysteme (NASS). Dissertation, HafenCity Universität Hamburg, Zugriff: <https://repos.hcu-hamburg.de/handle/hcu/468> [abgerufen am 11.06.2024].

Mahler, B.; Guigas, M., 2013: Wärmeversorgung mit Wärmepumpe und Abwasserkanal-Wärmetauscher. Zugriff: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-27080.pdf> [abgerufen am 11.06.2024].

Marschall, J., 2022: Städtebaurechtliche Instrumente zur Erhaltung und Förderung Urbaner Manufakturen im Rahmen der Innenentwicklung und Nachverdichtung. ILS-Working Paper 7. Dortmund.

März, S., 2018: Beyond economics—Understanding the decision-making of German small private landlords in terms of energy efficiency investment. *Energy Efficiency*, 11. Jg. (7): 1721–1743.

März, S., 2019: Warum sollte ich meine Mietimmobilie energetisch sanieren? : Analyse und Multi-Level-Governance quartiersbezogener und individueller Rahmenbedingungen zur Steigerung der energetischen Sanierungstätigkeit privater Kleinvermieter [Universität Duisburg-Essen]. Zugriff: <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7439> [abgerufen am 11.06.2024].

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2013: Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung. Kurzbericht. Zugriff: https://www.badenova.de/mediapool/media/dokumente/unternehmensbereiche_1/stab_1/innovationsfonds/abschlussberichte/2002_1/2002-6_KanalwaermeAbschlussbericht.pdf [abgerufen am 26.04.2024].

Mitschang, S., 2010: Die Umsetzung klimaschützender und energieeinsparungsbezogener Anforderungen in der Bauleitplanung und im Besonderen Städtebaurecht – Sachstand und Perspektiven, *ZfBR Zeitschrift für deutsches und internationales Bau- und Vergaberecht*, 33. Jg. (6): 534-550.

Mitschang, S., 2020: Klimaschutz und Klimaanpassung im Besonderen Städtebaurecht, *ZfBR Zeitschrift für deutsches und internationales Bau- und Vergaberecht*, 43. Jg. (6): 613-628.

Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz, 2017: Der energieeffiziente Friseursalon, Handwerkskammer Münster. Zugriff: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.hwk-muenster.de/adbimage/5363/asset-original//energiespaartipps-friseure.pdf&ved=2ahUKEwjhk4j-bydOGAxUWg_0HHUHBAUYQFnoECCAQAQ&usq=AOvVaw2JKmypo7QYE4UpFEn5AEA [abgerufen am 28.06.2023].

Mittsdoerffer, Christ, Gebert, 2022: Energie aus Abwasser. Ein Leitfaden für Kommunen. S. 10. Energie aus Abwasser – Ein Leitfaden für Kommunen (bayern.de) Bayerisches Landesamt für Umwelt).

Müller, K.; Billmaier, K.; Müller, E. A.; Graf, E.; Kobel, B.; Roth, Y.; Beyert, J.; Vosen, G.; Weilandt, M.; Treis, A.; Lorenz, U., 2012: Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung. Zugriff: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/forschung/Abschlussbericht_Abwasserw%C3%A4rme_1.pdf [abgerufen am 10.06.2024].

Müller, N.; Pfnür, A., 2017: Konzeptionelle Ansätze zur Umsetzung der Energiewende im Gebäudesektor: Systematisierung und Diskussion alternativer Steuerungsindikatoren für die Energie- und Klimapolitik im Gebäudesektor, Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis, No. 34, Technische Universität Darmstadt, Forschungscenter Betriebliche Immobilienwirtschaft, Darmstadt.

nPro, o.J.: Planungstool für Gebäude & Quartiere. Zugriff: <https://www.npro.energy/main/de/> [abgerufen am 11.06.2024].

Neitzel, M., 2011: Wege aus dem Vermieter-Mieter-Dilemma. Konzeptstudie. InWIS Forschung & Beratung GmbH. Zugriff: <http://web.gdw.de/uploads/pdf/InWIS-Vermieter-Mieter-Dilemma.pdf> [abgerufen am 26.03.2024].

Pehnt, M.; Nast, M.; Götz, C.; Blömer, S.; Barckhausen, A.; Schröder, D.; Miljes, R.; Pottbäcker, C.; Nabe, C.; Braier, H.; Linder, S.; Dannemann, B., 2017: Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen“. Zugriff: <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/W%C3%A4rmenetze-4.0-Endbericht-final.pdf> [abgerufen am 25.03.2024].

Pelzeter, A., 2006: Lebenszykluskosten von Immobilien. Zugriff: <https://epub.uni-regensburg.de/6081/6/36.pdf> [abgerufen am 15.07.2024].

Polívka, J., 2016: Maturity, Resilience and Lifecycles in Suburban Residential Areas. In: city@region, Vol. 1, Dortmund.

Polívka, J.; Rappen, H.; Çelik, C.; Dorner, S., 2020: Gewerbe und Wohnen – ein Tauziehen um die Nachverdichtung. . Zugriff: https://www.researchgate.net/publication/347557905_Gewerbe_und_Wohnen_-_ein_Tauziehen_um_die_Nachverdichtung [abgerufen am 11.05.2024].

Polívka, J.; Cohrs, A., 2025: Energiewende und Klimaanpassung im Bestand: machbar? Planung Neu Denken, 2025 (1) (i.E.).

Preuß, N.; Schöne, L.B., 2003: Lebenszyklus der Immobilie. In: Real Estate und Facility Management. Springer, Berlin, Heidelberg. Zugriff: https://doi.org/10.1007/978-3-662-09686-4_2 [abgerufen am 15.07.2024].

PVT SOLAR, o.J.: Triple solar power. Zugriff: <https://www.pvt.solar/> [abgerufen am 24.04.2024].

Queitsch, P., 2006: Haftungsbestände im Bereich der Abwasserbeseitigung, UPR Umwelt- und Planungsrecht, 20. Jg. (9.): 329-337.

Reidt, O., 2023: Darf man eine Gemengelage planen?, BauR Zeitschrift für das gesamte öffentliche und private Baurecht, 54. Jg. (12): 2019-2029.

REWATEC, 2021: Berechnung der Tankgröße. Zugriff: <https://www.rewatec.de/wp-content/uploads/2021/08/Webseite-Berechnung-der-Tankgroesse-2022.pdf> [abgerufen am 24.04.2024].

Roedl & Partner, 2019: Abwasserwärmenutzung als Komponente regenerativer Wärmeversorgungskonzepte. Zugriff: <https://www.roedl.de/themen/kursbuch-stadtwerke/september-2019/abwasserwaermenutzung-als-komponente-regenerativer-waermeversorgungskonzepte> [abgerufen am 13.05.2024].

Roggema, R., 2017: Research by Design: Proposition for a Methodological Approach. urban Science, 1. Jg. (2).

Rogers, E. M., 2003: Diffusion of Innovations. Herausgeber: Free Press. 5. Auflage.

Roskamm, N. 2011: Dichte: Eine transdisziplinäre Dekonstruktion. Diskurse zu Stadt und Raum, Bielefeld: transcript Verlag, 2011. Zugriff: <https://doi.org/10.1515/transcript.9783839418710> [abgerufen am 25.04.2024].

Sartorius, C.; Lévai, P.; Nyga, I.; Sorge, C.; Menger-Krug, E.; Niederste-Hollenberg, J.; Hillenbrand, T., 2017: Multikriterielle Bewertung von Wasserinfrastruktursystemen am Beispiel des TWIST-Modellgebietes in Lünen. Korrespondenz Abwasser, Abfall 64, Nr. 11. Zugriff: <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/250432> [abgerufen am 11.06.2024].

Sauer, A.; Luz, F.; Suda, M.; Weiland, U., 2005: Steigerung der Akzeptanz von FFH-Gebieten (BfN Schriften 144). Bundesamt für Naturschutz. Zugriff: <https://www.bfn.de/publikationen/bfn-schriften/bfn-schriften-144-steigerung-der-akzeptanz-von-ffh-gebieten> [abgerufen am 24.05.2024]

Schäfer, M.; Keppler, D., 2013: Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung. Zugriff: <https://deposition.tu-berlin.de/items/urn:nbn:de:kobv:83-opus4-66312> [abgerufen am 24.05.2024].

Schiller, G. (Hrsg.), 2017: Wege zur Umsetzung von Ressourceneffizienzstrategien in der Siedlungs- und Infrastrukturplanung. IÖR-Schriften 74. Berlin.

Scheidler, A., 2016: Abweichungen vom Bebauungsplan für Handwerks-, Gewerbe- und Industriebetriebe, Gewerearchiv Zeitschrift für Wirtschaftsverwaltungsrecht, 62. Jg. (2): 65 – 101.

Schulwitz, M.; Adisorn, T.; Cohrs, A.; Fries, S.; Jegen, P.; März, S.; Polívka, J.; Rubarth, A., 2024: POWER für die Wärmewende. Potenziale von Wasserkreisläufen zur Wärmenutzung. Transforming Cities, 2024 (1): 21 – 26.

SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin), 2010: Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung: Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Herausgeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Kommunikation. Berlin.

Sigglow, J., 2011: Ressourcenbewirtschaftung im Siedlungsraum. Rahmenbedingungen neuartiger Sanitärsysteme im urbanen Umfeld. Dissertation. Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte 11. Aachen.

Spierer/Muffler, 2023: juris PraxisReport – Umwelt- und Planungsrecht, Ed. 9/2023 Anm. 2.

Söfker-Rieniets, A.; Schmidt, A., 2022: Handwerksbetriebe in zentralen Bezirken des Stadt Düsseldorf. Projektbericht. HWK Düsseldorf. Düsseldorf.

Stadt Berlin, 2021: Klimaschutz im Quartier: Konzepte für gebäudeübergreifende energetische Sanierung. Berliner Energieagentur GmbH. Berlin.

Stadt Berlin, 2024: Ausschreibung und Vergabe eines integrierten energetischen Quartierskonzepts. Praxisleitfaden für die Berliner Verwaltung. Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt. Berlin.

Stadt Düsseldorf, 2024: Starkregengefahrenkarte Düsseldorf. Zugriff: <https://www.duesseldorf.de/kanal/kunden/starkregen-ueberflutungsschutz/starkregengefahrenkarte> [abgerufen am 11.05.2024].

Stadt Essen, 2002: Klimaanalyse Stadt Essen. Beiträge zum Umweltschutz Nr. 29. Zugriff: <https://transiti-ontown-essen.de/wp-content/uploads/Klimaanalyse-Stadt-Essen-2002.pdf> [abgerufen am 27.03.2023].

Stadt Freiburg, 2019: Energiebericht 2019 für den Gebäudebestand des Gebäudeenergiemanagements Freiburg. Zugriff: https://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params_E-1357783551/1630590/Energiebericht%202019.pdf [abgerufen am 09.10.2024].

Stadt Hamburg, 2019: Öffentliche Plandiskussion. Bebauungsplan Altona-Nord 28 „Holsten-Quartier“. Zugriff: <https://www.hamburg.de/resource/blob/51768/81bab44e126a7e302319926dfff595fb/praesentation-oeffentliche-plandiskussion-data.pdf> [abgerufen am 15.07.2024].

Stadt München, 2024: Wärmewende für München. Zugriff: <https://stadt.muenchen.de/infos/waermewende-muenchen.html> [abgerufen am 07.10.2024].

Statistisches Bundesamt, 2008: Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008). Zugriff: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html> [abgerufen am 24.04.2024] Statistisches Bundesamt, 2019: Produzierendes Gewerbe. Unternehmen, tätige Personen und Umsatz im Handwerk - Jahresergebnisse, 4 (7.2). Zugriff: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Handwerk/Publikationen/publikationen-in-nen-handwerkszaehlung.html> [abgerufen am 11.06.2024].

Statistisches Bundesamt, 2022: Zahl der Woche Nr. 09 vom 1. März 2022. Zugriff: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_09_p002.html [abgerufen am 24.04.2024].

Statistisches Bundesamt, 2023a: Anzahl der Mikrobrauereien in Deutschland in den Jahren 2005 bis 2022. In Statista. Zugriff: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/294674/umfrage/mikrobrauereien-in-deutschland/> [abgerufen am 12.07.2023].

Statistisches Bundesamt, 2023b: Produzierendes Gewerbe: Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden.

Statistisches Bundesamt, 2023c: Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. Umweltökonomische Gesamtrechnungen, Fachserie 4 Reihe 6. Zugriff: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html> [abgerufen am 24.04.2024].

Statistisches Bundesamt, 2024: 61111-0001- Verbraucherpreisindex: Deutschland, Jahre. Zugriff: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=find&suchanweisung_language=de&query=61111-0001#abreadcrumb [abgerufen am 11.06.2024]

Steiner, F., 2015: Kombinationsmöglichkeiten städtischer Infrastrukturen zur effektiven Ressourcennutzung im urbanen Kontext unter spezieller Berücksichtigung des Wasser-Energie-Nexus.

Steiniger, S., 2015: Sauber: Waschmaschine recycelt bis zu 95% des Waschwassers. Zugriff: <https://reset.org/sauber-waschmaschine-recycelt-zu-95-des-waschwassers-12012015/> [abgerufen am 24.04.2024].

Stinshoff, P., Helmreich, B., Eben, P., Duthweiler, S., Moning, C., Knoll, S., Prügl, J., 2020: Multi-funktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum. Bayrisches Landesamt für Umwelt. Zugriff: https://www.cee.ed.tum.de/fileadmin/w00cbe/sww/my_direct_uploads/LfU_Abschlussbericht_2023_Versickerungsmulden.pdf [abgerufen am 02.10.2024].

Stokman, A. (Hrsg.); Deister, L.; Brenne, F.; Henrichs, M.; Jeskulke, M.; Hoppe, H.; Uhl, M., 2016.: Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung - Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie. Stuttgart.

Süwag, 2022: Bier aus Brotresten | Süwag-Kundenmagazin (letzte Aktualisierung). Zugriff: <https://suewag-kundenmagazin.de/besser/bier-aus-brotresten> [abgerufen am 23.08.2023].

Tejkl, J.; Sauter, A. 2023: Das neue Wärmeplanungsgesetz – der langersehnte Katalysator für die Wärmewende?, EnWZ Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft, 12. Jg. (11): 403-410.

Timilsina, K., 2023: PVT-Wärmepumpensysteme für optimale Nutzung von Solarenergie und Umweltwärme. Zugriff: <https://www.sfv.de/pvt-waermepumpensysteme-fuer-optimale-nutzung-von-solarenergie-und-umweltwaerme> [abgerufen am 17.06.2024].

Trojan + Trojan, 2004: Heidelberg BahnStadt. Zugriff: <https://www.german-architects.com/de/trojan-and-trojan-darmstadt/project/heidelberg-bahnstadt> [abgerufen am 15.07.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2009: Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen. Dessau-Roßlau. Zugriff <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3855.pdf> [abgerufen am 13.05.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2019.: Innenentwicklung in städtischen Quartieren: Die Bedeutung von Umweltqualität, Gesundheit und Sozialverträglichkeit. Dessau-Roßlau.

UBA - Umweltbundesamt, 2020: Gute Praxisbeispiele kompakter und zugleich lärmarmer städtischer Quartiere. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gute-praxisbeispiele-kompakter-zu-gleich-laermarmer> [abgerufen am 03.05.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2020: Praxishilfe – Klimaanpassung in der räumlichen Planung. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/klimaanpassung_in_der_raeumlichen_planung_praxishilfe_02-2020.pdf [abgerufen am 03.05.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2020: Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten: Kostensätze. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-12-21_methodenkonvention_3_1_kostensaetze.pdf [abgerufen am 24.04.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2022: Wassernutzung privater Haushalte. . Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wassernutzung-privater-haushalte> [abgerufen am 24.04.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2023: Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen. Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen> [abgerufen am 24.04.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2023: Abwasserwärme Adhoc Papier. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/uba_ad_hoc_papier_abwasserwaerme.pdf [abgerufen am 26.04.2024].

UBA - Umweltbundesamt, 2024: Energieverbrauch privater Haushalte. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte> [abgerufen am 24.04.2024].

Venkatesh, V.; Davis, F. D., 2000: A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2): 186–204.

Venkatesh, V.; Morris, M. G.; Davis, G. B.; Davis, F. D., 2003: User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3): 425–478.

VertiKKA, o. J.: Funktion. Komponenten, Funktionsweise und Synergieeffekte der VertiKKA. Zugriff: <https://vertikka.de/vertikka-entwicklung/funktion> [abgerufen am 18.08.2023].

Viernickel, M., Vortrag Difu 2024: Ganzheitliche Quartierssanierung und geothermische saisonale Wärmespeicherung, am 15. Mai 2024.

Vogt, A.; Treeck, C. van., 2018: Optimierung von Abwasserwärmetauschern für den gebäudetechnischen Einsatz: Abschlussbericht. Fraunhofer IRB Verlag. Zugriff: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/17129007174.pdf> [abgerufen am 03.06.2024].

Vondung, F.; Adisorn, T.; Carpentier, R.; Kaschuba-Holtgrave, A.; Moore, C.; Moser, R.; Schüwer, D., 2018: Lüftungsinnovationen - vom Nischenphänomen zum Mainstream: Entwicklung eines Diffusionskonzepts für innovative Lüftungstechnologien auf Basis einer Hemmnisanalyse ; Abschlussbericht. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Zugriff: <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7180> [abgerufen am 03.06.2024]

Vondung, F.; Adisorn, T.; Schüwer, D.; Witte, K., 2019: Hemmnisanalyse zu Änderungen des Nutzerverhaltens und Optimierung der Organisationsprozesse zur Schaffung von Flexibilität in gewerblich und industriell genutzten Gebäuden. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Zugriff: <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/7963> [abgerufen am 14.05.2024]

Vorsteher, J., 2023: Private Initiativen für eine gerechte, grüne und produktive Stadt § 171f BauGB als Grundlage für Stadterneuerung durch unternehmerische ESG-Strategien, *ZfBR Zeitschrift für deutsches und internationales Bau- und Vergaberecht*, 45. Jg. (8), 750 – 754.

Winkler, D.; Zeccola, M.; Tejkl, J., 2022: Die Wärmeplanung als rechtlicher Flickenteppich, *EnWZ Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft*, 11. Jg. (10) 339-346.

Witzel, A., 1985: Das problemzentrierte Interview. In G. Jüttemann (Hrsg.), *Qualitative Forschung in der Psychologie*: 227–255.

WBGU, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 2016: *Der Umzug der Menschheit: die transformative Kraft der Städte*. Berlin.

Wißmann, I.; Middendorf, V.; Schulz, M.; Vesper, S., 2019: VertiKKA – Multifunktionale Fassadenbegrünungsmodule für die Städte der Zukunft. Korrespondenz Abwasser, Abfall, (66. Jg.), (12).

WKO, 2023: Abwärmenutzung - Wärmerückgewinnung. Zugriff: <https://www.wko.at/netzwerke/info-point-abwaermenutzung> [abgerufen am 11.06.2024].

Wörten, C.; Heldwein, C.; Hoffmann, F.; Zell, C.; Grünig, M.; Naumann, S.; Wunder, S.; Brischke, L.; Lehmann, F.; Paar, A.; Brohmann, B.; Repenning, J., 2013: Strategische Weiterentwicklung der Nationalen Klimaschutzinitiative. Arbeitspaket 1.1. Metastudie Potenzial- und Hemmnisanalyse. Teil 2 – HEMMNISANALYSE.

Yillia, P., 2016: Water-Energy-Food nexus: framing the opportunities, challenges and synergies for implementing the SDGs. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 68 (3-4). S. 86–98.

Kommentare

Battis/Krautzberger/Löhr: Baugesetzbuch, Kommentar, 15. Aufl. 2022, München: C. H. Beck.

Bönker/Bischopink: Baunutzungsverordnung, Kommentar, Baden-Baden, Nomos.

Brügelmann: Baugesetzbuch, Kommentar, 128. EL Oktober 2023, Stuttgart: W. Kohlhammer.

Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger: Baugesetzbuch, Kommentar, 153. EL Januar 2022 152. EL Oktober 2023, München: C. H. Beck.

Fickert/Fieseler: Baunutzungsverordnung, Kommentar, 14. Auflage 2023, Stuttgart: W. Kohlhammer.

Grigoleit/Otto: Baunutzungsverordnung, 8. Auflage 2021, München: Hüthig Jehle Rehm.

Jäde/Dirnberger: Baugesetzbuch, Kommentar, 10. Auflage 2022, München: C. H. Beck.

Rechtsprechung

BGH, Urteil vom 9.Juli 2002 - KZR 30/00, NJW 2002, 3779.

BVerfG, Beschluss vom 24.03.2021 – 1 BvR 2656/18, 1 BvR 78/20, 1 BvR 96/20, 1 BvR 288/20, NVwZ 2021, 951

BVerwG, Beschluss vom 11.04.1975 – IV B 37.75, BeckRS 1975, 31270617.

BVerwG, Urteil vom 7.02.1986 – 4 C 49/82, NVwZ 1986, 642.

BVerwG, Urteil vom 22.05.1987 - 4 C 77/84, NVwZ 1987, 1074.

BVerwG, Beschluss vom 31.01.1995 - 4 NB 48/ 93, NVwZ 1995, 696.

BVerwG, Beschluss vom 11.04.1996 - 4 B 51/96, NVwZ-RR 1997, 463.

BVerwG, Beschluss vom 27.07.1998 - 4 BN 31–98, NVwZ-RR 1999.

BVerwG, Beschluss vom 18.08.1998 - 4 B 82–98, NVwZ-RR 1999, 107.

BVerwG, Beschluss vom 05.06.2014 - 4 BN 8.14, ZfBR 2014, 574.

BVerwG, Beschluss vom 27.06.2018 – 4 B 10/17, ZfBR 2018, 685 [686], Rn. 8.

BVerwG, Urteil vom 26.03.2009 – 4 C 21/07 –, BVerwG 133, 310-320, ZfBR 2009, 463 [464]

BVerwG, Urteil vom 17.10.2019 – 4 CN 8/18, NVwZ 2020, 399.

Rechtsquellen

Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394) geändert worden ist.

Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 3. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176) geändert worden ist.

Bekanntmachung der Neufassung des Wassergesetzes für das Land Nordrhein-Westfalen (Landeswassergesetz - LWG -) vom 25. Juni 1995, zuletzt geändert am 29.12.2021 durch Artikel 3 des Gesetzes vom 17. Dezember 2021 (GV. NRW. S. 1470).

Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist

Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), das zuletzt durch Artikel 34 Absatz 3 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 411) geändert worden ist.

Fernwärme- oder Fernkälte-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung vom 28. September 2021 (BGBl. I S. 4591, 4831), die durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 9) geändert worden ist.

Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. Oktober 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 280) geändert worden ist.

Wärmeplanungsgesetz vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394).

Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 409) geändert worden ist

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2498), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2512) geändert worden ist.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht des methodischen und inhaltlichen Projektaufbaus und -vorgehens	12
Abbildung 2: Luftbild der Fallstudie Kall (Foto: Uwe Grützner)	14
Abbildung 3: Kall - Analysekarte der Bestandssituation (ohne Maßstab)	15
Abbildung 4: Luftbild der Fallstudie Kall (Foto: Uwe Grützner)	16
Abbildung 5: Glasmacherviertel - Analysekarte der Bestandssituation (ohne Maßstab)	17
Abbildung 6: Projektverlauf und Arbeitspakete	18
Abbildung 7: Exemplarischer Steckbrief ausgewählter Handwerksarten (Wärmerückgewinnung aus dem Kanalnetz)	31
Abbildung 8: Pro-Kopf-Energieverbrauch für Wohnen und Heizen im Jahr 2019 (Statistisches Bundesamt 2022)	33
Abbildung 9: Wassereinsatz im verarbeitenden Gewerbe im Jahr 2016 (Statistisches Bundesamt, 2023b)	35
Abbildung 10: Abwassernetz im Gebäude (Haas-Arndt, 2017, S.55)	36
Abbildung 11: Handlungsbereiche der Nutzungsmischung und des Ressourcenaustauschs	38
Abbildung 12: Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts	41
Abbildung 13: Funktionsschema Abwasserwärmenutzung	45
Abbildung 14: Funktionsschema Grauwasseraufbereitung	45
Abbildung 15: Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäudekühlung	46
Abbildung 16: Kopplung der Wasser- und Energieströme zwischen den Nutzungen	47
Abbildung 17: Schematische Darstellung des Funktionstyps 1	48
Abbildung 18: Schematische Darstellung des Funktionstyps 2	48
Abbildung 19: Schematische Darstellung des Funktionstyps 3	48
Abbildung 20: Übersicht der Hemmnisdimensionen	59
Abbildung 21: Atmosphärische Perspektive Kall	85
Abbildung 22: Szenarioplan Kall (ohne Maßstab)	86
Abbildung 23: Funktionsschema Gesamtkonzept Kall (ohne Maßstab)	87
Abbildung 24: Funktionsschnitt Kall (ohne Maßstab)	88
Abbildung 25: Darstellung der Monatswerte des Wärme- und Kältebedarfs (Quelle: nPro)	92
Abbildung 26: Kall - Technologiesystem (Quelle: nPro)	92
Abbildung 27: Kall - Erdgasbasiertes System (Quelle: nPro)	95
Abbildung 28: Kall - Diagramm CO ₂ -Emissionen	96
Abbildung 29: Kall - Diagramm Wirtschaftlichkeit	97
Abbildung 30: Kall - Wassernutzungen (eigene Darstellung, erstellt mit Circular Sankey, Industrial Ecology Freiburg)	99
Abbildung 31: Atmosphärische Perspektive Glasmacherviertel	102
Abbildung 32: Funktionsschnitt Glasmacherviertel (ohne Maßstab)	103
Abbildung 33: Szenarioplan Glasmacherviertel (ohne Maßstab)	104
Abbildung 34: Funktionsschema Gesamtkonzept Glasmacherviertel (ohne Maßstab)	105
Abbildung 35: Glasmacherviertel - Darstellung der Monatswerte des Wärme- und Kältebedarfs	109
Abbildung 36: Glasmacherviertel - Technologiesystem (Quelle: nPro)	110
Abbildung 37: Glasmacherviertel - Erdgasbasiertes System (Quelle: nPro)	111
Abbildung 38: Glasmacherviertel - Diagramm CO ₂ -Emissionen	113

Abbildung 39: Glasmacherviertel - Diagramm Wirtschaftlichkeit des Energiesystems	113
Abbildung 40: Wassernutzungen im Glasmacherviertel, (eigene Darstellung, erstellt mit Circular Sankey, Industrial Ecology Freiburg)	114
Abbildung 41: Kall - Geschlossene Bauweise an der Trierer Straße (ohne Maßstab)	124
Abbildung 42: Glasmacherviertel - Geschlossene Bauweise innerhalb der Erschließungsstraßen (ohne Maßstab)	124
Abbildung 43: Kall - Integrierte Gewerbestrukturen im Hinterhof (ohne Maßstab)	125
Abbildung 44: Glasmacherviertel - Gewerbehof im Südteil des Baublocks (ohne Maßstab)	125
Abbildung 45: Kall - Oberflächenwassermanagement im Kreislaufgedanken mit Retentionsgärten (ohne Maßstab)	126
Abbildung 46: Glasmacherviertel - Oberflächenwassermanagement im Kreislaufgedanken im urbanen Kontext (ohne Maßstab)	126
Abbildung 47: Glasmacherviertel - Beispielsystematik für ein modulares Gesamtsystem im Glasmacherviertel (ohne Maßstab)	127
Abbildung 48: Kall - Modulares, gebäudeübergreifendes Technologiesystem (ohne Maßstab)	127
Abbildung 49: Schlüsselmomente ("Windows of opportunity") des Transformationsprozesses in Bestand und Neubau	132
Abbildung 50: Der Lebenszyklus eines Gebäudes	133
Abbildung 51: Phasen zur Implementierung innovativer Technologiesysteme	135
Abbildung 52: Abstrahierte Darstellung der Handlungsempfehlungen	142
Abbildung 53: Aufschlüsselung der konzeptionellen Zuordnung der Handlungsfelder für die Integration und Stärkung von urbanen Ressourcenkreisläufen durch innovative Technologien zu den Schlüsselakteuren	143
Abbildung 54: Übersicht der Handlungsempfehlungen in Zuordnung ihres spezifischen Akteurs (interne Handlungsempfehlungen) und in Zuordnung der jeweils kooperierenden Akteure (kooperative Handlungsempfehlungen) im Schlüsselmoment 1	145
Abbildung 55: Übersicht der Handlungsempfehlungen in Zuordnung ihres spezifischen Akteurs (interne Handlungsempfehlungen) und in Zuordnung der jeweils kooperierenden Akteure (kooperative Handlungsempfehlungen) im Schlüsselmoment 2	154
Abbildung 56: Übersicht der Handlungsempfehlungen in Zuordnung ihres spezifischen Akteurs (interne Handlungsempfehlungen) und in Zuordnung der jeweils kooperierenden Akteure (kooperative Handlungsempfehlungen) im Schlüsselmoment 3	161

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Konzeptionelle Übersicht der Tabelle der städtebaulichen und technischen Kennzahlen	13
Tabelle 2: Übersicht der Ausgangssituation der Nutzungen und der angestrebten städtebaulichen Leitziele in den Fallstudienräumen	29
Tabelle 3: Tabellarische Übersicht der begründeten Auswahl der betrachteten Handwerke	30
Tabelle 4: Bewertungsmatrix der Technologiesysteme	43
Tabelle 5: Übersicht Handwerke der jeweiligen Funktionstypen	50
Tabelle 6: Vergleich unterschiedlicher Alternativsoftwares zu nPro zur Energiesystemmodellierung	52
Tabelle 7: Übersicht relevanter Akteursgruppen und deren Rollen bei der Akzeptanz und Marktdiffusion neuer Technologien und Produkte	57
Tabelle 8: Übersicht relevanter Akteursgruppen und deren Rollen bei der Akzeptanz und Marktdiffusion neuer Technologien und Produkte (Fortsetzung)	58
Tabelle 9: Literaturübersicht Akzeptanz- und Hemmnisanalyse	59
Tabelle 10: Übersicht der Interviewten	61
Tabelle 11: Kall - Übersicht der Eingangsdaten für das Energiekonzept	89
Tabelle 12: Kall - Energetische Eingangsdaten der Handwerke/ Gewerke	90
Tabelle 13: Kall - Berechnung des Wärmebedarfs	91
Tabelle 14: Kall - Berechnung des Kältebedarfs	91
Tabelle 15: Kall - Berechnung des Strombedarfs	91
Tabelle 16: Kall - Technologiesystem: Dimensionen der Anlagen	93
Tabelle 17: Kall - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des Technologiesystems	94
Tabelle 18: Kall - Erdgasbasiertes System: Dimensionierung der Anlagen	95
Tabelle 19: Kall - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des erdgasbasierten Systems	96
Tabelle 20: Kall - Grauwassernachfrage	98
Tabelle 21: Kall - Grauwasserangebot	98
Tabelle 22: Exemplarische Kostendaten der untersuchten NASS-Modellvorhaben (Magazowski 2017: 135)	100
Tabelle 23: Kostenvergleich des i.WET-Konzepts mit einem konventionellen Abwassersystem (Hochrechnung auf 2023)	100
Tabelle 24: Vergleich der Kostenhochrechnung aller Projektkosten für das POWER-Abwassersystem und ein konventionelles System	101
Tabelle 25: Glasmacherviertel - Übersicht der Eingangsdaten	106
Tabelle 26: Glasmacherviertel - Übersicht der Eingangsdaten	107
Tabelle 27: Glasmacherviertel - Berechnung des Wärmebedarfs	108
Tabelle 28: Glasmacherviertel - Berechnung des Kältebedarfs	108
Tabelle 29: Glasmacherviertel - Berechnung des Strombedarfs	108
Tabelle 30: Glasmacherviertel - Technologiesystem: Dimensionierung der Anlagen	110
Tabelle 31: Glasmacherviertel - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des Technologiesystems	111
Tabelle 32: Glasmacherviertel - Erdgasbasiertes System: Dimensionierung der Anlagen	112
Tabelle 33: Glasmacherviertel - Zusammenfassung der Energiebedarfe und -erzeugung sowie Deckungsgrad des erdgasbasierten Systems	112
Tabelle 34: Grauwassernachfrage Glasmacherviertel	114
Tabelle 35: Grauwasserangebot Glasmacherviertel	114
Tabelle 36: Vergleich der Kostenhochrechnung für das POWER-Abwassersystem und ein konventionelles System	115
Tabelle 37: Übersicht der Akteurinnen und Akteure im Prozess der Implementierung innovativer Technologiesysteme	131

Anhang

- Anlage 1: Handwerksliste und Berechnungen

digital verfügbar unter: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12699503>

- Anlage 2: Nutzungssteckbriefe
- Anlage 3: Technologiesteckbriefe
- Anlage 4: Erfahrungen aus der Praxis

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Bäckerei, Seite 1

Bäckerei/ Konditorei



Typische Tätigkeiten

Bäckereien verarbeiten Rohstoffe und Vorprodukte nach Rezepten zu Teigmischungen. Dazu werden Grundnahrungsmittel sowie Hefe und Konservierungsstoffe verwendet. Die Gärung und Entstehung des Teigs werden überwacht. Backwaren werden ansprechend gestaltet, mit Glasur garniert oder gefüllt. Bäckerinnen und Bäcker arbeiten beispielsweise mit Rühr- und Schlagbesen, Spritzbeuteln und Rollhölzern. Sie warten und bedienen Anlagen und Maschinen, wie beispielsweise elektronisch gesteuerte Backöfen, zur Herstellung. Bäckerinnen und Bäcker produzieren frische Brötchen, verschiedene Brotsorten, Kuchen und feine Backwaren. Die fertigen Backwaren werden verpackt und gelagert.



Typische Emissionen



Geräuschemissionen

- durch uneingehauste Anlieferungsbereiche (IZU o.J.)



Wärmeemissionen

- Backöfen emittieren viel Wärme



Geruchsemissionen

- Jedoch meist nicht als störend empfunden



Luftverunreinigung/ Treibhausgasemissionen

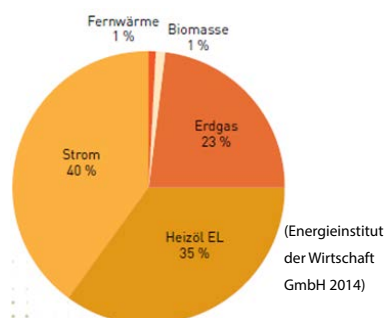
- direkte durch Belieferung und indirekte CO₂-Emissionen durch Nutzung von Strom aus fossilen Brennstoffen (EnEff Bäckerei 2014)
- Luftverunreinigungen mit CO₂- und NO_x-Emissionen durch mit Heizöl betriebene Backöfen (Kötter 2005)



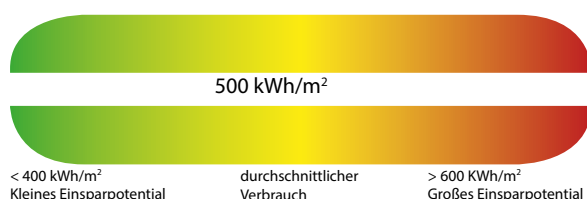
Typische Energieverbräuche

Der Strom in einer Bäckerei wird vor allem für die Teig- und Massenbereitstellung, sowie für elektrische Öfen, Kaffeemaschinen, Geschirrspüler und Kühlung sowie Beleuchtung benötigt (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH 2014). Strom hat einen Anteil von 40 % am Gesamtenergieeinsatz, dicht gefolgt von Heizöl mit 35 % (ebd.).

Energieanteile am Gesamtenergieeinsatz



Energiekennzahl Betriebsfläche



Energiekennzahl Mehlmenge

Energiekennzahl K_{EL}

$$K_{EL} = \frac{\text{Gesamtverbrauch in kWh}}{\text{Betriebsfläche in m}^2} = \text{kWh/m}^2 \text{ (pro Jahr)}$$

eigene Darstellung nach (Stadtwerke Gießen)

Energiekennzahl K_{EL}

$$K_{EL} = \frac{\text{Gesamtverbrauch in kWh}}{\text{verarbeitete Mehlmenge in kg}} = \text{kWh/kg (pro Jahr)}$$

eigene Darstellung nach (Stadtwerke Gießen)

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Bäckerei, Seite 2



Typische Wasserverbräuche

In einer Bäckerei wird Wasser primär für die Produktion und Reinigungsarbeiten gebraucht (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH 2014). Im Schnitt werden drei Liter Warmwasser für die Verarbeitung von einem Kilogramm Mehl benötigt (Stadtwerke Gießen). Im Mittel fließen pro Betriebsstunde 150 bis 200 Liter Wasser (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH 2014).



Best-Practice-Maßnahmen



Nutzung der Abwärme

- Backöfen geben viel Wärme ab, sodass eine Wärmerückgewinnung aus dem Backofen zur Heizungsunterstützung und/oder Warmwasseraufbereitung möglich ist (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH 2014)
- Wärme kann auch aus den Kälteanlagen als Heizungsunterstützung und Luftvorwärmung in der Lüftungsanlage zurückgewonnen werden (ebd.).
- eine luftgekühlte Wärmepumpe kann zur Nutzung der Abwärme aus dem Heizhaus zur Brauchwasserbereitung eingesetzt werden und der Einsatz eines Pufferspeichers zur Optimierung des Heizungssystems ist möglich (ebd.)



Reduktion des Wasserverbrauchs

- Installation von Zählern überprüft den Wasserverbrauch (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH 2014)
- Installation von wassersparenden Wasserhähnen und Mischern reduziert Verbrauch (ebd.)



Energieeinsparung

- vor allem bei der Nutzung der Backofen gibt es große Einsparpotenziale

Icons:
The Noun Project

Quellen:
EnEff Bäckerei (2014): Energieeffizienz in Bäckereien. Energieeinsparung in Backstube und Filialen. Bremerhaven.
Energieinstitut der Wirtschaft GmbH (2014): Effiziente Bäckerei. Wien.
Kötter, Andreas (2005): Einrichtung einer Ökobäckerei mit ganzheitlichem Konzept. Abschlussbericht „Öko-Bäckerei mit ganzheitlichem Konzept“. Etting. UBA-FB-AP UBA-FB-AP-20054. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2986.pdf>.
Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz (2017): Die energieeffiziente Bäckerei. Leipzig.
Stadtwerke Gießen: Information für das Bäcker- und Konditorhandwerk. Optimaler Einsatz von Energie. Gießen. Verfügbar unter https://www.energiessen.de/fileadmin/user-upload/PDF/06_energiessen/04_Broschueren/SWG-Broschuere_Baecker.pdf.

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Brauerei, Seite 1

Brauerei



Typische Tätigkeiten

In einer Brauerei werden Produktionsanlagen für die Herstellung von Bier- und Malzgetränken sowie alkoholfreien Getränken betrieben, gereinigt, gepflegt und gewartet. Für den Prozess des Bierbrauens muss Malz mit Wasser erhitzt werden, in einen Läuterbottich gepumpt werden und in einer Sudpfanne gekocht werden. Zuletzt wird das Getränk in Flaschen abgefüllt, welche dann vertrieben werden (Bundesagentur für Arbeit 2020).



Typische Emissionen



Geräuschsemissionen
• Flaschenreinigung



Geruchsemissionen
• Durch Würzekochung / Brauprozess



Luftverunreinigung/ Treibhausgasemissionen
• 230 kg CO₂ pro Hektoliter Bier



Wärmeemissionen
• Wärmeentwicklung durch Kochprozesse

Quelle: Fraunhofer IWU 2016



Typische Energieverbräuche

- Brauereien als verhältnismäßig energieintensiv
- Gesamtenergieverbrauch aller Brauereien in Deutschland im Jahr 2009 mit 3,8 TWh auf siebtem Platz der Ernährungsindustrie
- Energieverbrauch pro Flasche Bier bei ca. 0,15 kWh pro Hektoliter zwischen 40 kWh – 50 kWh
- rund Dreiviertel der Energie in Brauereien wird für Prozess-Raumwärme und Warmwasser verwendet
- 74 % der Energie wird für Wärmeenergie verwendet und 26 % für elektrische Energie
- spezifischen Energieverbräuche sind dabei bei kleineren Brauereien meist höher als bei großen Brauereien
- elektrische Energie: Größter Anteil für Kälteproduktion benötigt; 23 % allgemeiner Energieanteil (z.B. Beleuchtung)
- Wärmeenergie: Größter Anteil für Sudhaus mit 43 % aufgrund wärmeintensiver Prozesse; 25 % Anteil für Flaschenauffüllung

(Fraunhofer IWU 2016)



Typische Wasserverbräuche

- im Brauprozess werden für 1 Hektoliter Bier ca. 5 Hektoliter Frischwasser benötigt
- auch zur Reinigung der Braugeräte wird Wasser benötigt

(Ifu Institut 2010)



Best-Practice Maßnahmen



Nutzung der Abwärme

- Entwicklung eines ressourcenschonenden Systems zur effizienten Senkung des Energieverbrauchs
- Durch spezielle Verfahren soll Energie im Brauprozess entzogen werden und an passender Stelle wieder zurückgeführt werden. Abwärme wird dabei nicht als Primärwärme, sondern als „Wärmetauscher“ genutzt

(Messe München GmbH 2017)

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Brauerei, Seite 2



Reduktion des Wasserverbrauchs

- Beispiel einer Good-Practice: eine dänische Brauerei hat eine neue Anlage in Betrieb genommen, bei der Wasser wiederverwendet wird

- Recycling von rund 750.000 Kubikmetern Wasser pro Jahr

(Blue Foot Membranes NV o.J.)



Energieeinsparung

- Beispiel einer Good-Practice: Bayerische Brauerei: Reduzierung der CO₂-Emissionen um 99,5 % unter anderem durch verminderter Verwendung von fossiler Primärenergie

- Ziel der energieautarken Produktion
- Nutzung des Abwassers für eine Biogasanlage: Antrieb einer Mikrogasturbine, welche Strom und Hochdruckheißwasser für den Brauereiprozess bereitstellt
- Wiederverwendung des Heißwassers aus der Würzekühlung und Rückgewinnung der Wärme aus der Würzekochung

(Umweltbundesamt 2023, Fraunhofer IWU 2016)

Icons:
The Noun Project

Quellen:
Blue Foot Membranes NV (o.J.): Carlsberg strebt Halbierung des Wasserverbrauchs bei der Bierherstellung an. Verfügbar unter: <https://www.bluefootmembranes.com/cases/carlsberg-strebt-halbierung-des-wasserverbrauchs-bei-der-bierherstellung-an/?lang=de> [abgerufen am 31.05.2024].
Bundesagentur für Arbeit (2020): Brauer/in und Mälzer/in, 28.06.2023 (letzte Aktualisierung). Verfügbar unter <https://web.arbeitsagentur.de/berufenet/beruf/3789> [abgerufen am 28.06.2023].
Fraunhofer IWU (2016): Energieeffizienzpotenzial in der Planung am Beispiel der Brauerei-Industrie. Studie im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft. Verfügbar unter https://www.luft.sachsen.de/download/luft/4_2_Brauereien.pdf. [abgerufen am 28.08.2023].
Ifo Institut (2010): Kurz zum Klima: Bier – mehr drin, als man denkt. Verfügbar unter: https://www.ifo.de/DocDL/ifosd_2010_18_4.pdf [abgerufen am 28.08.2023].
Messe München GmbH (2017): Themenwoche Energieeffizienz: Die Brauerei wird grüner. Verfügbar unter: <https://blog.drinktec.com/de/bier/die-brauerei-wird-gruener/> [abgerufen am 28.08.2023].
Umweltbundesamt (2023): Brauerei, 28.06.2023 (letzte Aktualisierung). Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/natuerliche-kaeltemittel-in-stationaeren-anlagen/aus-der-praxis/beispiele-aus-der-praxis/brauerei#karmeliten-brauerei-traubing> [abgerufen am 31.05.2024].

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Fleischerei, Seite 1

Fleischerei



Typische Tätigkeiten

Fleischerinnen und Fleischer (oft auch Metzgerinnen und Metzger genannt) schlachten Tiere (Rinder, Schweine und Geflügel) oder nehmen Schlachtware an. Daraus stellen sie Fleischerzeugnisse wie Wurstwaren, Pasteten, Feinkost, Fleisch- und Wurstkonserven her. Dieser Prozess beinhaltet Transport, Lagerung, Verpackung, Haltbarmachung von Fleisch- und den daraus entstehenden Fleischerzeugnissen. Der Prozess zeichnete sich früher durch schwere körperlich Arbeit aus. Heute unterstützen Maschinen die Fleischerin und den Fleischer bei der Ausführung der Tätigkeiten. Neben der Herstellung und dem Verkauf der reinen Fleischerzeugnisse sind die Metzger auch im Catering für Veranstaltung und der Imbissgastronomie tätig (Berufe-Lexikon o.J.).



Typische Emissionen



Geräuschsemissionen
• Anlieferung von Tieren durch LKW-Verkehr



Geruchsemissionen
• Lagerung und Verarbeitung tierischer Produkte



Luftverunreinigung/ Treibhausgasemissionen
• Entstehung von Gasen durch Sterilisation und Trocknung



Wärmeemissionen

Quelle: Umweltbundesamt 2021



Typische Energieverbräuche



< 0,6 kWh/kg
Kleines Einsparpotential

durchschnittlicher
Verbrauch

> 0,9 kWh/kg
Großes Einsparpotenzial

Energiekennzahl K_{EL}

$$K_{EL} = \frac{\text{Gesamtverbrauch in kWh}}{\text{verarbeitete Menge in kg}} = \text{kWh/kg (pro Jahr)}$$

eigene Darstellung nach (Stadtwerke Gießen)

Der Stromverbrauch in einer Fleischerei hat einen durchschnittlichen Anteil von rund 40 %. Die größten Stromverbräuche machen dabei Kälteanlagen mit rund 50 Prozent aus. Auch die Weiterverarbeitung bspw. durch den Kutter macht rund 300 % des Stromverbrauchs aus. Insgesamt machen Fleischverarbeitungsprozesse wie das Kochen oder Backen jedoch den größten Anteil am Energieverbrauch in Form von Prozesswärme aus. Weitere typische Verbräuche entstehen durch die Beheizung und Lüftung der Fleischerei (Stadtwerke Gießen o.J.).



Typische Wasserverbräuche

Charakteristisch für Fleischereien ist der hohe Bedarf an Warmwasser, sei es zum Brühen und Kochen oder für die Reinigung. Da der Wasserbedarf häufig stoßweise auftritt, ist für viele Betriebe ein Warmwasserspeicher sinnvoll.

Die Auswertungen der Ergebnisse des ÖkoBusinessPlan Wien sowie der KMU Checks ergaben, dass in Fleischereien durchschnittlich 15 Liter Wasser pro Kilogramm Rohmaterial eingesetzt werden. Pro Betriebsstunde fließen im Mittel etwa 300 bis 1.500 Liter Wasser (BDEW o.J.).

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Fleischerei, Seite 2



Best-Practice Maßnahmen



Nutzung der Abwärme

- Beispiel einer Good-Practice: Fleischerei aus Thüringen:
 - Modernisierung der Heizungsanlage in 2009
 - Ersetzen der Erdgastherme durch ein BHKW, eine Wärmerückgewinnung der Kältekompressoren
 - Nutzung einer Heizpatrone zur Warmwassererzeugung aus dem BHKW
 - Einsparung von 9.500 kWh Strom pro Jahr

Quelle: Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V. o.J.



Reduktion des Wasserverbrauchs

keine Referenzen vorhanden



Energieeinsparung

- Beispiel einer Good-Practice: Fleischerei in Hamburg:
 - Ersetzen von sechs einzelnen Gefriertruhen durch eine Kühlzelle.
 - Nutzung von Wärmerückgewinnung der Kälteanlagen
 - Nutzung der Abwärme zur Warmwassererzeugung anstelle der Nutzung eines energieintensiven Durchlauf-erhitzers

Quelle: ZEWUmobil o.J.

Icons:
The Noun Project

Quellen:
BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (o.J.): Voll im Saft: Energieeffiziente Fleischerzeugung. Verfügbar unter: <https://www.gewerbegas.info/gas-im-gewerbe/fleischerei> [abgerufen am 28.08.2023].
Berufe-Lexikon (o.J.): Berufsbild Fleischer/in. Verfügbar unter: <http://www.berufe-lexikon.de/berufsbild-beruf-fleischer-metzger.htm> [abgerufen am 28.08.2023]
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (o.J.): Maschinen in der Fleischwirtschaft. Verfügbar unter: https://vorschriften.bgn-branchenwissen.de/daten/pdf/Maschinen_Fleischwirtsch.pdf [abgerufen am 28.08.2023].
Stadtwerke Gießen (o.J.): Informationen für das Fleischerhandwerk. Verfügbar unter: https://www.energiessen.de/fileadmin/user_upload/PDF/06_energiessen/04_Broschueren/SWG-Broschuere_Fleischerhandwerk.pdf [abgerufen am 31.05.2024].
Umweltbundesamt (2021): Schlachtbetriebe und Verwertung tierischer Nebenprodukte. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriestrukturen/nahrungs-futtermittelindustrie-tierhaltungsanlagen/schlachtbetriebe-verwertung-tierischer/1000#auswirkungen-auf-die-umwelt> [abgerufen am 31.05.2024].
Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V. (o.J.): Juli 2018: Die Fleischerei/Metzgerei Piltz. Verfügbar unter: <https://www.mittelstand-energiewende.de/unsere-angebote/best-practice-des-monats/juli-2018-die-fleischereimetzgerei-piltz.html> [abgerufen am 28.08.2023].
ZEWUmobil (o.J.): Fleischerei Fachgeschäft Martin Göpp. Verfügbar unter: <https://www.zewumobil.de/wp-content/uploads/2018/12/fleischerei-goepp-2011-energieberatung-zewumobil-hamburg.pdf> [abgerufen am 28.08.2023]

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Friseur, Seite 1

Friseurin / Friseur



Typische Tätigkeiten

Die Friseurin und der Friseur unterstützen die Kundschaft bei der Auswahl des passenden Haarschnitts. Anschließend werden die Haare gewaschen, geschnitten und gestylt. Colorationen, Tönungen und Strähnchen bzw. Highlights gehören ebenfalls zum Aufgabenfeld der Friseurinnen und Friseure, genauso wie die Durchführung kosmetischer Behandlungen.



Typische Emissionen



Geräuschemissionen

- Kunden und Lieferverkehr (Handwerkskammer Münster 2008)



Geruchsemissionen

- Geruchsbelästigung und gesundheits-schädlichen Dämpfen (ebd.)



Luftverunreinigung/ Treibhausgasemissionen

- Einsatz von Gefahrenstoffen wie staubenden Haarkosmetika und leicht entzündbaren und klimaschädlichen Treibmitteln (Handwerkskammer Münster 2008 und BAuA 2007)



Typische Energieverbräuche



Kleines
Einsparpotential

durchschnittlicher Verbrauch
mit vier Mitarbeitenden und
96m² Fläche

Großes
Einsparpotential

Energieverbrauch eines Friseursalon (Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, Trockner, Kühlschrank, Föhn, Abluft/ Lüftung/ Klimatisierung) = Richtgröße Energiewert
Jahr

(eigene Darstellung nach Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz 2017)

Den größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch hat dabei die Heizung mit 51 % am Gesamtenergieverbrauch. Durch eine besser Dämmung und effizientere Heizsysteme sind hier Einsparpotenziale zwischen 15 – 20 % möglich. Die Beleuchtung macht ca. 13 % am Gesamtenergieverbrauch und damit 25 % der Energiekosten aus, Lüftung und Klimatisierung sind für 2 % des Energieverbrauchs verantwortlich. Insgesamt liegt der Heizenergieverbrauch pro m² bei 136 kWh und der Stromverbrauch pro m² bei 81 kWh. (Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz 2017)



Typische Wasserverbräuche

In einem durchschnittlichen Salon werden pro Jahr ca. 220 m³ Wasser verbraucht, 60 % davon als Warmwasser für die Haarwäsche. Dabei benötigt das Reinigen der Geräte und das Haarewaschen der Kundschaft Frischwasser und produziert somit Abwasser.

(Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz 2017, Handwerkskammer Münster 2008)



Best-Practice Maßnahmen



Nutzung der Abwärme

- Nutzung der Abwärme von dampferzeugenden Geräten und zur Erwärmung des Wassers nutzen (Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz 2022)

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Friseur, Seite 2



Reduktion des Wasserverbrauchs

- Becken mit thermostatisch geregelten Brauchwassermischern
- Spar-Perlatoren senken den Wasser- und Heizenergieverbrauch bei der Haarwäsche

(Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz 2017, Handwerkskammer Münster 2008)



Energieeinsparung

- Dämmung des Gebäudes, Fenster mit Wärmeschutzverglasung
- Austausch alter Heizkessel gegen moderne Kessel, Wartung der Heizung
- Anpassung des Temperaturniveaus an die Betriebszeiten
- Beleuchtung auf LED-Technik umrüsten, Außenwerbung mit Zeitschalter ausstatten
- Becken mit thermostatisch geregelten Brauchwassermischern
- Geräte mit einer hohen Energieeffizienzklasse verwenden
- Umrüstung des strombetriebenen Warmwasserspeichers auf Luft-Wasser-Wärmepumpen

(Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz 2017, 2022)

Icons:
The Noun Project

Quellen:
BAuA (2007): Technische Regeln für Gefahrstoffe TRG S 530. Friseurhandwerk.
Handwerkskammer Münster (2008): Technischer Branchensteckbrief für das Friseur-Handwerk. Verfügbar unter <https://friseur-news.de/media/articles/downloads/991/bauliche-vorschriften.pdf> [abgerufen am 31.05.2024].
Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz (o.J.): Modellbetrieb im Friseur-Handwerk Energieeffizienz im Hand-werk, Handwerkskammer zu Leipzig. Verfügbar unter <https://www.energieeffizienz-handwerk.de/files/993/208640.pdf> [abgerufen am 28.06.2023].
Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz (2017): Der energieeffiziente Friseursalon, Handwerkskammer Münster. Münster. [abgerufen am 28.06.2023].
Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz (2022): Energieeffizienzmaßnahmen in Handwerksbetrieben – Praxis-beispiele, Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V. (ZDH, Berlin. Verfügbar unter <https://www.energieeffizienz-handwerk.de/files/1095/990127.pdf> [abgerufen am 28.06.2023].

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Lebensmitteleinzelhandel, Seite 1

Lebensmitteleinzelhandel



Typische Tätigkeiten

Im Lebensmitteleinzelhandel werden Lebensmittel angeliefert, gelagert, auf die Verkaufsfläche verteilt, präsentiert und verkauft. Zum Lebensmitteleinzelhandel zählen Supermärkte mit Lebensmittelvollsortimenten und geringen Verkaufsflächenanteilen von sogenannten Nonfood-Artikeln, große Supermärkte, Discounter mit ausschließlicher Selbstbedienung und Fokus auf umschlagstarken Sortiment, und SB-Warenhäuser, die sowohl über ein Lebensmittelvollsortiment als auch viele Nonfood-Artikel verfügen (Handelsverband Deutschland 2018). In Deutschland überwiegen die Discounter mit Stand 2017 16.162 Geschäften gefolgt vom Supermarkt mit 10.895 Geschäften, dem großen Supermarkt mit 1.154 und dem SB-Warenhaus mit 836 Geschäften (ebd.). Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) ermittelte für 2020 62.041 Einzelhandelsunternehmen, die auch mit Lebensmitteln handeln (BMEL 2020). Insgesamt verfügt der Lebensmitteleinzelhandel über 36,2 Millionen Quadratmeter Verkaufsfläche (Handelsverband Deutschland 2018).



Typisch eingesetzte Maschinen

- Kühlanlagen und -geräte
- Kassensysteme
- Gabelstapler
- Aufbackgeräte
- Klimatisierungs- und Lüftungsanlage
- Heizungsanlage
- Beleuchtungssysteme



Typische Emissionen



- Luftverunreinigung/ Treibhausgasemissionen
- 2020 1,4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten durch HFKW-Kältemittel aus Supermarktkälteanlagen (Martens 2022)
 - Verursacht zudem Ausstoß an NO_x (Jungmichel et al. 2017)



- Wärmeemissionen
- Backöfen können Wärme emittieren



- Geräuschemissionen
- durch Anlieferungen

Verteilung der Emissionen entlang der Wertschöpfungskette

Stufen der Wertschöpfungskette	Rohstoffgewinnung	Produktion von Vorprodukten	Direkte Lieferanten	Lebensmitteleinzelhandel	Gesamt
Treibhausgase	56%	12%	27%	3%	110 Megatonnen CO ₂ eq
Luftverschmutzung	54%	9%	34%	3%	0,3 Megatonnen NO _x

(eigene Abbildung nach Jungmichel et al. 2017)

Der größte Anteil der Treibhausgasemissionen und Luftverschmutzung (ca. die Hälfte) entsteht bei der Gewinnung der Rohstoffe und der direkten Anlieferung (ca. ein Drittel) (siehe Abb.), dagegen fallen die Treibhausgasemissionen des Lebensmitteleinzelhandels an sich mit 3% klein aus.

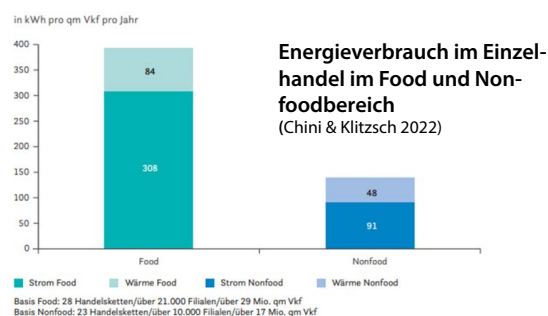
(Jungmichel et al. 2017)



Typische Energieverbräuche

Der durchschnittliche Stromverbrauch im Einzelhandel im Lebensmittelbereich liegt mit 308 kWh je qm Verkaufsfläche pro Jahr, deutlich höher als beim Einzelhandel ohne Lebensmittel. Auch der Heizenergieverbrauch ist mit 84 kWh pro qm Vkf pro Jahr deutlich höher als der durchschnittliche Verbrauch im Nonfood Bereich. In den Filialen fällt viel Abwärme aus der Klimatisierung, Lüftung und Kältetechnik an, die genutzt werden kann.

(Chini & Klitzsch 2022, Chini & Fleischmann 2020).

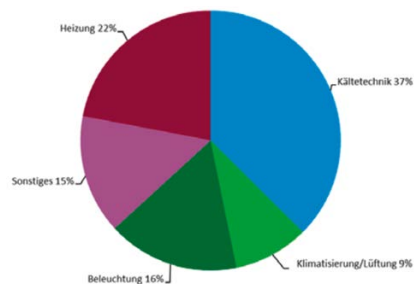


Anlage 2: Nutzungssteckbrief Lebensmitteleinzelhandel, Seite 2

Endenergieverbrauch und Einsparpotenzial im Lebensmitteleinzelhandel

Den größten Energieverbrauch im Lebensmitteleinzelhandel macht die Kältetechnik aus mit 37 % gefolgt von der Heizung (Martens 2022).

Das Energieeinsparpotenzial liegt beim Einzelhandel meist zwischen 15 und 20% des Gesamtenergieverbrauchs (saena 2017).



Endenergieverbrauch im Lebensmitteleinzelhandel (Martens 2022)



Typische Wasserverbräuche

Der höchste Wasserverbrauch entfällt auf die Lieferketten. Im Lebensmitteleinzelhandel wird dabei mit 46,6 Litern pro Euro Umsatz deutlich mehr Wasser als in anderen Branchen verbraucht. Dabei entfällt der größte Teil des Wasserverbrauchs auf die Rohstoffgewinnung mit 65 % gefolgt von der direkten Lieferung mit 33%. Dagegen fällt der Wasserverbrauch der Lebensmitteleinzelhandelsstandorte an sich verschwindend gering aus.

Jungmichel et al. 2017)

Stufen der Wertschöpfungskette	Rohstoffgewinnung	Produktion von Vorprodukten	Direkte Lieferanten	Lebensmitteleinzelhandel	Gesamt
Wasserverbrauch	65%	2%	33%	0%	8.900 Mio. m ³ Wasser

(eigene Darstellung nach Jungmichel et al. 2017)



Best-Practice Maßnahmen



Nutzung der Abwärme

- Durch Abwärmenutzung im besten Fall kein zusätzliches Heizungssystem notwendig und kann auch zur Brauchwassererwärmung genutzt werden
- Kältemittel R744 ist gut für die Wärmerückgewinnung geeignet -> kann diese Wärme für die Heizung des Gebäudes verwenden

(Martens 2022)



Reduktion des Wasserverbrauchs

- Installation von Zählern überprüft den Wasserverbrauch
- Installation von wassersparenden Wasserhähnen und Mischern reduziert Verbrauch



Energieeinsparung

- Permanente Kühlmöbelabdeckung kann eine Energieeinsparung zwischen 40 % und bei Tiefkühlung 70 % ermöglichen

(Martens 2022)

Icons:
The Noun Project

Quellen:

BMEL (2020): Lebensmitteleinzelhandel, 22.06.2023 (letzte Aktualisierung). Verfügbar unter <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/ernaehrungsgewerbe/lebensmitteleinzelhandel> [abgerufen am 22.06.2023].
Chini, Benjamin & Fleischmann, Laura (2020): Energiemanagement im Einzelhandel 2020. Schwerpunkt: Energieeffizienzpotenziale im Lebensmitteleinzelhandel. Köln. Verfügbar unter https://www.ehi.org/wp-content/uploads/Downloads/Lesezeichen/EHI-Studie_Energiemanagement_2020_Lesezeichen.pdf
Chini, Benjamin & Klitzsch, Cathrin (2022): Studie Energiemanagement im Einzelhandel, EHI Retail Institute. Verfügbar unter https://www.ehi.org/wp-content/uploads/Downloads/Lesezeichen/EHI-Studie_Energiemanagement_im_Einzelhandel_Lesezeichen.pdf [abgerufen am 31.05.2024].
Handelsverband Deutschland (2018): Handelsreport Lebensmittel. Fakten zum Lebensmitteleinzelhandel. Verfügbar unter https://einzelhandel.de/images/HDE-Publikationen/HDE_IFH_Handelsreport_Lebensmittel_2018.pdf [abgerufen am 22.06.2023].
Jungmichel, Dr. Norbert; Schampel, Christina; Weiss, Daniel (2017): Umweltatlas Lieferketten. Umweltwirkungen und Hot-Spots in der Lieferkette, adelphi/Systain. Berlin/ Hamburg. Verfügbar unter <https://adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/Umweltatlas%20Lieferkette%20-%20adelphi-Systain.pdf> [abgerufen am 28.06.2023].
Martens, Kerstin (2022): Klimaschutz im Lebensmitteleinzelhandel - Der Blaue Engel für Supermärkte, Umweltbundesamt.
saena (2017): Energieeffizienz im Einzelhandel. Praxisbeispiele aus Sachsen, 2. Aufl., Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH. Dresden. Verfügbar unter https://www.saena.de/download/broschueren/BU_Energieeffizienz_im_Einzelhandel.pdf [abgerufen am 28.06.2023].

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Tischlerei, Seite 1

Tischlerei



Typische Tätigkeiten

Ein Tischler ist ein Handwerker, der sich auf die Bearbeitung von Holz spezialisiert hat. Tischlerinnen und Tischler stellen Möbel, Türen, Fensterrahmen, Treppen, Schränke und andere Holzkonstruktionen her. Ihr Hauptfokus liegt darauf, hochwertige Holzprodukte zu entwerfen, zu konstruieren, anzupassen und zu reparieren.



Typische Emissionen



Geräuschsemissionen
• durch Maschinenlärm



Geruchsemissionen
• leichte Gerüche durch Materialverarbeitung, allerdings nicht wirklich störend



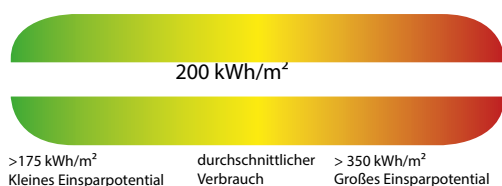
Luftverunreinigung/Treibhausgasemissionen
• Luftverunreinigung durch Staub



Wärmeemissionen



Typische Energieverbräuche

Energiekennzahl K_{EL}

$$K_{EL} = \frac{\text{Gesamtenergieeinsatz in kWh}}{\text{Betriebsfläche in m}^2} = \text{kWh/m}^2$$

(eigene Darstellung nach Energieinstitut der Wirtschaft GmbH 2014)

Der Energieverbrauch einer Tischlerei mittlerer Größe lässt sich in die Sektoren Strom- und Wärmeverbrauch unterteilen.

Der Großteil des benötigten Stroms wird durch die Späneabsaugung sowie durch Holzbearbeitungsmaschinen wie Fräsen oder Sägen verbraucht.

Beim Wärmeverbrauch nimmt die Transmissionswärme den größten Anteil ein, hier wird deutlich, dass es durch gezielte Maßnahmen große Einsparpotenziale gibt. Auch bei der Raumlüftung gibt es einen erhöhten Wärmeverbrauch, der durch Maßnahmen verringert werden kann.

(Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz, 2023)



Typische Wasserverbräuche

Die benötigten Wassermengen sind so gering, dass sie keine Relevanz aufweisen. Der durchschnittliche Wasserbedarf pro Arbeitnehmerin oder Arbeitnehmer und Jahr beträgt 9,98 m³. Bei Wassergebühren von 2 Euro/m³ inklusive Kanalabgaben bzw. Entsorgungskosten werden pro Arbeitnehmerin bzw. Arbeitnehmer ca. 22 Euro pro Jahr ausgegeben. Der Betrag belastet den Umsatz mit ca 0,05 % und kann als nicht signifikant angesehen werden.

(WINergy! 1995)

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Tischlerei, Seite 2



Best-Practice Maßnahmen



Heizung und Wärmeverteilung

- Getrennte Steuerung und Regelung von Heizkreisläufen für Bereiche mit unterschiedlichen Raumtemperaturen (Lager, Werkstatt, Lackierung usw.).
- Zusätzliche Abwärmenutzung aus Druckluftanlagen; Wärmerückgewinnung aus den Abluftströmen der Spritznebel- und Späneabsaugung können die Lüftungswärmeverluste erheblich reduzieren.
- Sofern genügend Resthölzer aus der eigenen Produktion für die ganzjährige Beheizung zur Verfügung stehen, kann Prozesswärme bspw. für den Lacktrockenraum, die Holz Trocknung oder die Furnierpressen ausgekoppelt werden.



Lackierung

- Bei längeren Laufzeiten Wärmerückgewinnung einsetzen, bspw. Kreuzstromwärmetauscher
- Zu- und Abluftanlage nur während der Lackiervorgänge benutzen; für den reinen Trockenbetrieb (ohne Anwesenheit von Personen) kann die Luftleistung reduziert werden, sodass sich Lüftungswärmeverluste verringern.



Staub- und Späne-Absaugung

- Rückführung der abgesaugten, gereinigten Luft in die Betriebsräume (zur Wärmerückgewinnung); dabei sind allerdings die Vorschriften hinsichtlich der Filterklassifizierung und Zulassung sowie des Brand- und Explosionsschutzes einzuhalten.
- Reinluftseitig angeordnete Ventilatoren haben einen besseren Wirkungsgrad und werden in der Regel drehzahlgesteuert (mit IE3- oder IE4- klassifizierten Antrieben)

Icons:
The Noun Project

Quellen:
Energieinstitut der Wirtschaft GmbH (2014): Effiziente Tischlerei
Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz (2023): Die Energieeffiziente Tischlerwerkstatt
WINergy! (1995): Energiekennzahlen und -sparmöglichkeiten für Tischlereien

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Wäscherei / Textilreinigung, Seite 1

Wäscherei/ Textilreinigung



Typische Tätigkeiten

Eine Wäscherei oder Textilreinigung gehört zu den energieintensiven Gewerken und ist ein spezialisierter Betrieb, der sich mit der Reinigung, Pflege und Behandlung von Textilien befasst. Eine Wäscherei nimmt die schmutzige Wäsche der Kundschaft entgegen, führt eine sorgfältige Sortierung nach Kriterien wie Art, Farbe, Material und Reinigungsanforderungen durch und reinigt sie dann entsprechend. Der eigentliche Reinigungsprozess umfasst das Waschen der Wäsche, der in modernen Wäschereien mit Hilfe von hochentwickelten Waschmaschinen oder Industriewaschanlagen durchgeführt wird, um eine effiziente und gründliche Reinigung zu gewährleisten. Nach dem Waschen erfolgt das Bügeln und Finish der Wäsche. Durch den Einsatz von Bügelmaschinen und Dampfbügeleisen wird die Wäsche geglättet und faltenfrei gemacht.

(Zentralverband des Deutschen Handwerks e.V o.J.).



Typische Emissionen



Geräuschemissionen



Geruchsemissionen

- teilweise Verwendung von Bleichmitteln und Tensiden



Luftverunreinigung/ Treibhausgasemissionen

- Häufig Erdgas und Strom als Primärenergiequelle: je nach Energiemix hoher Anteil indirekter Emissionen



Wärmeemissionen

- Verwendung von energieintensiver Heizenergie insbesondere im Wasch- und Trocknungsprozess

Quelle: Umweltbundesamt 2015, Rena Textilpflege GmbH o.J.



Typische Energieverbräuche

Typische Energieverbräuche in einer Wäscherei sind die elektrische Wärmeerzeugung, Klima- und Lüftungsanlagen, Elektromotoren, Energieaufwendung für Druckluft und die Beleuchtung. Der Verbrauch teilt sich im Durchschnitt zu 10 – 15 % für elektrische Antriebsenergie/ Beleuchtung und zu 85 – 90 % für die Erzeugung von Prozesswärme auf. Der größte Wärmeenergiebedarf wird für die Herstellung von Prozessdampf benötigt, welcher in den Prozessen der Reinigung und Trocknung verwendet wird. Insbesondere im Prozess des Waschens und der Trocknung von Textilien wird energieintensive Heizenergie benötigt. Konkret wird die Energie dabei zur Erwärmung des Waschwassers sowie für den Trocknungsprozess benötigt. In der Regel wird in Wäschereien dazu Erdgas als Primärenergiequelle verwendet. Auch effizientere direkt-gasbeheizte Aggregate finden zunehmend Anwendung. Auch Strom wird insbesondere in kleineren Wäschereien als Energiequelle verwendet.

(Rena Textilpflege GmbH o.J., Zentralverband des Deutschen Handwerks e.V. (ZDH) o.J.)



Typische Wasserverbräuche

In einer Wäscherei wird das meiste Wasser beim Waschvorgang verwendet. Dabei werden rund 8 Liter pro Kilogramm Wäsche verbraucht. Wäschereien verbrauchen dabei aufgrund höherer Effizienz bspw. in Form der Wiederverwendung von Wasser durchschnittlich 60 % weniger Wasser als eine Inhouse-Wäscherei. (BDEW o.J.).

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Wäscherei / Textilreinigung, Seite 2



Best-Practice Maßnahmen



Nutzung der Abwärme

- Beispiel einer Good-Practice: Textilservice in Rheinland-Pfalz:
 - Nutzung der im Wasser und Kondensat gebundenen Wärme mit Hilfe von Wärmetauschern
 - Vorwärmen von Frischwasser auf bis zu 50°C und anschließende Speicherung in einem Tank
 - Nutzung des Nachdampfes als Wärmequelle durch Kondensat-Entspanner
 - Minimierung des spez. Energieverbrauchs um 20 % bzw. 0,2 kWh pro kg Wäsche

(BDEW o.J., EuReffuS GmbH o.J.)



Reduktion des Wasserverbrauchs

- Beispiel einer Good-Practice: Bayerischer Wäschereiservice:
 - Entwicklung neuer Verfahrensweisen zur Steigerung der Effizienz: Mehrfachnutzung von Wasser und die Verwertung von Regenwasser
 - Dazu: Reinigung von Schmutzwasser durch Elektrolyseverfahren: Verschmutzung im Wasser aufgetrennt und dem Wasser abgeführt
 - Aufbereitung des Wassers auf Trinkwasserqualität und anschließende Wiederverwendung
 - Senkung des Wasserverbrauchs pro Tonne Wäsche von 24 Kubikmetern im Jahr 1990 auf 2,2 Kubikmeter

(Projektbüro der Partnerschaft für Klimaschutz, Energieeffizienz und Innovation 2013)



Energieeinsparung

- Beispiel einer Good-Practice: Wäschereimaschinenhersteller aus Baden-Württemberg
 - Umluftrückgewinnung der Wäschetrockner
 - ein sogenannter Power-Transmission-Antrieb verbraucht nur so viel Strom wie nötig
 - Wärmeisolierung spart rund 30 % der Heizkosten ein

(Gottlob STAHL Wäschereimaschinenbau GmbH 2022)

Icons:
The Noun Project

Quellen:

BDEW (o.J.): Energieeffizienz durch Wärmerückgewinnung. Verfügbar unter: <https://www.gewerbegas.info/gas-im-gewerbe/waescherei/waermerueckgewinnung-spart-energie> [abgerufen am 28.08.2023].
 EuReffuS GmbH (o.J.): Abwärmenutzung – Wäscherei. Verfügbar unter: <https://www.eureffus.com/best-practice/154-abwaermenutzung-waescherei.html#noajax:3> [abgerufen am 28.08.2023].
 Gottlob STAHL Wäschereimaschinenbau GmbH (2022): Gaseinsparen in der Wäscherei. Verfügbar unter: <https://stahl-waeschereimaschinen.de/wissenswertes/gaseinsparen-in-der-waescherei/> [abgerufen am 28.08.2023].
 Rena Textilpflege GmbH (o.J.): Die CO2 Bilanz der Wäschereien. Verfügbar unter: <https://rena-textilpflege.de/c02-bilanz-waescherei/> [abgerufen am 28.08.2023].
 Projektbüro der Partnerschaft für Klimaschutz, Energieeffizienz und Innovation (2013): Verfügbar unter: https://www.klimaschutz-unternehmen.de/fileadmin/user_upload/Best-Practice_Broschueren/Best_Practice_2013.PDF [abgerufen am 28.08.2023].
 Umweltbundesamt (2015): Sparsam und umweltbewusst Waschen. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/wasch-reinigungsmittel/umweltbewusst-waschen-reinigen/sparsam-umweltbewusst-waschen> [abgerufen am 28.08.2023].
 Zentralverband des Deutschen Handwerks e.V. (ZDH) (o.J.): Leitfaden Energieeffizienz im Handwerk. Verfügbar unter <https://www.energieeffizienz-handwerk.de/gewerke/253/Hauptverbraucher-und-Einsparpotentiale> [abgerufen am 28.08.2023].
 Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V. (ZDH) (o.J.): „Unsere Arbeit benötigt leider nun mal viel Energie“. Verfügbar unter: <https://www.zdh.de/presse/handwerk-stories/unsere-arbeit-benoetigt-leider-nun-mal-viel-energie/> [abgerufen am 28.08.2023].

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Bedarfsfeld Wohnen, Seite 1

Bedarfsfeld Wohnen



Privathaushalte

Als Privathaushalt gilt eine zusammenwohnende und wirtschaftliche Einheit bildende Personengemeinschaft. Dazu zählen auch alleinwohnende Menschen. In Deutschland sind aktuell knapp 41 Millionen Privathaushalte verzeichnet, wobei die durchschnittliche Anzahl der Haushaltsmitglieder 2,03 beträgt. Im Zeitraum zwischen 2000 und 2020 wurde eine Steigerung der privaten Haushalte um 8,5 % verzeichnet. Der Anteil der Ein- und Zweipersonenhaushalte ist mit fast Dreiviertel aller Privathaushalte dabei vergleichsweise hoch. Bezüglich der Inanspruchnahme von Umweltressourcen ist der Anteil pro Haushaltsmitglied in kleineren Haushalten höher als in Haushalten mit mehr Mitgliedern. Dies lässt sich unter anderem an den Energieverbräuchen und Wohnflächen pro Haushaltsmitglied erkennen.

(Umweltbundesamt 2023a, Statistisches Bundesamt 2023)



Stromverbrauch nach Haushaltsgrößenklassen

Haushaltsgrößenklasse	Stromverbrauch in KWh
Durchschnittlich je Haushalt	3.190
1-Personen-Haushalt	1.978
2-Personen-Haushalt	3.252
3 und mehr Personen-Haushalt	5.047

(eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2022)



Typische Emissionen



Geräuschemissionen



Geruchsemissionen



Luftverunreinigung/ Treibhausgasemissionen

- Verbrennung fossiler Energieträger durch Heizprozesse



Wärmeemissionen

- Heizen und Warmwasseraufbereitung

(Umweltbundesamt 2023b)



Typische Energieverbräuche

In der Nutzungsart Wohnen wird der Energieverbrauch über den Stromverbrauch der privaten Haushalte definiert. Dieser wird für die Raumwärme, Warmwasser für Hygienezwecke, Beleuchtung und Elektrogeräte verwendet. Bundesweit wurden 2021 insgesamt 670 Milliarden Kilowattstunden verbraucht.

Dabei unterscheidet sich der Stromverbrauch je Haushaltsgröße. Mehr als zwei Drittel des Endenergieverbrauchs wird durch das Heizen von Räumen verursacht. Verwendet wird dafür aktuell vornehmlich Erdgas und Mineralöl. Auch Fernwärme und erneuerbare Energien spielen eine immer größer werdende Rolle.

Seit 1990 ist der Anteil der Kohlenstoff-Emissionen des Energieträgermix der privaten Haushalte stetig gesunken. Gründe dafür sind eine Erhöhung von energetischen Vorgaben bei Neubauten und die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden.

Diese Entwicklung lässt sich ablesen, obwohl die Zahl der Haushalte und Wohnfläche stetig wächst und gleichzeitig die Personenzahl pro Haushalt sinkt. Der Heiz und Strombedarf ist abhängig von der Haushaltsgröße und der Wohnfläche pro Person.

(Umweltbundesamt 2023b)

Anlage 2: Nutzungssteckbrief Bedarfsfeld Wohnen, Seite 2



Typische Wasserverbräuche

Der direkte Wasserverbrauch in der Nutzungsform Wohnen wird pro Einwohner gemessen. Der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch von Trinkwasser betrug in Deutschland im Jahr 2021 rund 127 Liter. Insgesamt nimmt der Wasserverbrauch pro Einwohner und Tag in Deutschland tendenziell ab. Das Trinkwasser in Haushalten wird dabei zum größten Anteil zur Körperpflege und die Toilettenspülung verwendet. Auch das Wäschewaschen hat mit rund 12 Prozent einen nicht zu unterschätzenden Anteil am Gesamtverbrauch.

(Umweltbundesamt 2022)



Best-Practice Maßnahmen



Nutzung der Abwärme

- Nutzung einer sogenannten kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, bei der die Frischluftzufuhr automatisiert vorgenommen wird und die Abwärme genutzt wird. Dazu übertragen Wärmetauscher die Wärme der Abluft auf die Frischluft
- Nutzung von Abwärme zur Trinkwassererwärmung mit Hilfe einer Wärmepumpe

Quelle: Huss-Medien GmbH 2021



Reduktion des Wasserverbrauchs

- Nutzung von Regenwasser für die Toilettenspülung, das Wäschewaschen oder die Beregnung des Gartens
- Dazu ist ein Wassertank nötig mit einem Volumen von rund 6.000 Litern für einen Vierpersonenhaushalt
- Auf diese Weise können Kosten für Wasser und Abwassergebühren eingespart werden

Quelle: Eigenheimverband Bayern e.V. o.J



Energieeinsparung

- Hersteller von Dämmsystemen aus Sachsen
 - Holzfaserdämmung als natürlicher Dämmstoff und Regulation der Luftfeuchtigkeit im Innenraum, Verhinderung von Schimmel.
 - Hohe spezifische Wärmespeicherkapazität bietet eine angenehme Innentemperatur und spart gleichzeitig Energie ein, da die Dämmung bei sinkender Außentemperatur die gespeicherte Wärme abgibt.

Quellen: Greenhouse Media GmbH 2018, Udidämmsysteme GmbH o.J.

Icons:
The Noun Project

Quellen:

Eigenheimverband Bayern e.V. (o.J.): Wasser sparen: Regenwassernutzungsanlagen machen's möglich. Verfügbar unter: <https://www.eigenheimverband.de/wissenwertes-fachinformationen/haus-wohnung/flyer/regenwassernutzungsanlagen/> [abgerufen am 28.08.2023].

Greenhouse Media GmbH (2018): Udidämmsysteme GmbH: Unger-Diffutherm Holzfaser-Dämmung. Verfügbar unter: <https://www.energie-experten.org/hersteller/unger-diffutherm> [abgerufen am 31.05.2024].

Huss-Medien GmbH (2021): Wärmerückgewinnung in der Wohnraumlüftung. Verfügbar unter: <https://www.vermieter-ratgeber.de/fachmagazin/fachartikel/abwaermenutzung-sollte-ein-muss-sein.html> [abgerufen am 28.08.2023].

Statistisches Bundesamt (2022): Stromverbrauch der privaten Haushalte nach Haushaltsgrößenklassen. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html> [abgerufen am 28.08.2023].

Statistisches Bundesamt (2023): Statistiken zu Haushalten in Deutschland. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/themen/2141/haushalte-in-deutschland/#topicOverview> [abgerufen am 28.08.2023].

Udidämmsysteme GmbH (o.J.): Natürlicher Hitzeschutz mit UdiHolzfaser-Dämmung. Verfügbar unter: <https://www.udidaemmsysteme.de/2023/07/natuerlicher-hitzeschutz-mit-udi-daemmsysteme/> [abgerufen am 31.05.2024].

Umweltbundesamt (2022): Wassernutzung privater Haushalte. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wassernutzung-privater-haushalte#direkte-und-indirekte-wassernutzung> [abgerufen am 28.08.2023].

Umweltbundesamt (2023a): Bevölkerungsentwicklung und Struktur privater Haushalte. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/strukturdaten-privater-haushalte/bevoelkerungsentwicklung-struktur-privater#843-millionen-menschen> [abgerufen am 28.08.2023].

Umweltbundesamt (2023b): Energieverbrauch privater Haushalte. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#endenergieverbrauch-der-privaten-haushalte> [abgerufen am 28.08.2023].

Anlage 3: Technologiesteckbrief Wärmerückgewinnung aus dem Kanalnetz, Seite 1

Wärmerückgewinnung aus dem Kanalnetz

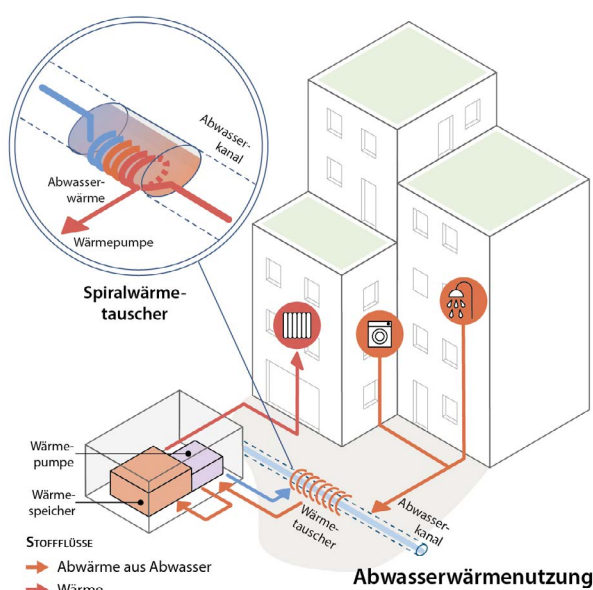


Kurzbeschreibung

Die Abwärme des Abwassers kann mit Hilfe eines Wärmetauschers für die Nutzung von Wärme- und Kälteenergie zurückgewonnen werden. Im Winter hat das Abwasser eine mittlere Temperatur von 10 bis 15 °C und im Sommer von 17 bis 20 °C (Berliner Wasserbetriebe: 4). Das Abwasser wird in der Regel um 1 °C abgekühlt, sodass der Betrieb der Kläranlage nicht eingeschränkt wird (Buri/Kobel 2004: 2). Das Abwasser wird über einen Wärmetauscher geleitet und die gewonnene Energie kann in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist werden. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, sollten die Gebäude nicht weiter als 150 m vom Abwasserkanal entfernt sein (Berliner Wasserbetriebe: 5).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

- Nah- und Fernwärmenetz
- Grauwasser- und Schwarzwasserbehandlung



Nutzungsdauer

mindestens 30 Jahre



Raumbedarf

keine Daten vorhanden



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Wärmerückgewinnung aus dem Kanalnetz, Seite 2



Technische Daten

- Das Kanalrohr muss einen Minstdurchmesser von DN 600 und einen mittleren Trockenwetterabfluss von mindestens 15 l pro Sekunde aufweisen (Buri/Kobel 2004: 2; Berliner Wasserbetriebe o.J.: 5).
- Für einen wirtschaftlichen Betrieb sollte der Wärmebedarf der Gebäude bzw. Gebäudegruppen mindestens 100 kW Heizleistung (entspricht etwa 20 Wohneinheiten) betragen (DBU 2009: 8).
- Mit Abwasserwärmepumpen kann eine Netztemperatur von bis zu 60 °C erreicht werden. Werden höhere Temperaturen benötigt, kann die Abwasserwärmepumpe mit einem Heizkessel kombiniert werden (DBU 2009: 5).



Hemmnisse

- Das Einverständnis des Kläranlagenbetreibers für die Abwärmerückgewinnung muss vorliegen. Durch die Abkühlung des Abwassers wird der Betrieb der Abwasserreinigungsanlage beeinflusst (DBU 2009: 31).
- Der Bauträger muss die sämtlichen Kosten für Änderungen an den Abwasserkanälen übernehmen. Es gilt zudem der Grundsatz, dass die Funktionsfähigkeit von Abwasserkanal und der Abwasserreinigung nicht beeinträchtigt werden darf (DBU 2009: 31).
- Das Verhältnis zwischen einem Bauherrn und dem Betreiber der Kanalisation (beziehungsweise der Kläranlage) wird in der Regel in einem Vertrag geregelt, der in vielen Fällen als Dienstbarkeit im Grundbuch eingetragen wird (DBU 2009: 31).



Vorteile

- Abwasser fällt ganzjährig und mit gleichbleibenden Temperaturen an.
- Abwasserwärmepumpen arbeiten effizient: Kombiniert mit einem Spitzenlastgaskessel benötigt sie 11 % weniger Primärenergie als eine Gas-Brennwertheizung und verglichen mit einer Ölheizung 44 % weniger. Wenn die Abwasserwärmepumpe mit einem Blockheizkraftwerk kombiniert wird, ist der Vorteil noch höher (DBU 2009: 21).
- Im Sommer kann das Abwasser auch zum Kühlen genutzt werden.
- Jahresarbeitszahlen bis über 4 können erreicht werden (DBU 2009: 21).



Nachteile

- Lohnt sich wirtschaftlich oft nicht in Einfamilienhausgebieten, da hier die Abstände zwischen den Bebauungen zu hoch sind (DBU 2009: 8; Buri/Kobel 2004: 2).
- Für industrielle Prozesse, die hohe Temperaturen benötigen, ist die Wärmerückgewinnung aus Abwasser nicht geeignet (DBU 2009: 8).



Praxisbeispiele

- [NeckarPark Stuttgart](#) - Nahwärme aus Abwasserrückgewinnung

Icons:
The Noun Project

Quellen:
Berliner Wasserbetriebe, o. J.: Abwasserwärme. Ein Leitfaden. Zugriff: <https://www.bwb.de/de/assets/downloads/leitfaden-abwasserwaerme.pdf> [abgerufen am 07.08.2023].
Buri, R.; Kobel, B., 2004: Leitfaden Wärmenutzung aus Abwasser. Bern/Zürich. Zugriff: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/Abwasserwaermenutzung/Leitfaden_Ratgeber/Leitfaden_Waerme_aus_Abwasser.pdf [abgerufen am 07.08.2023].
Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2009: Heizen und Kühlen mit Abwasser. Energierückgewinnung aus häuslichem und kommunalem Abwasser. Zugriff: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/07_Publikationen/bwp-Heizen_und_Kuehlen_mit_Abwasser.pdf [abgerufen am 07.05.2023].

Anlage 3: Technologiesteckbrief Grauwasseraufbereitung, Seite 1

Grauwasseraufbereitung

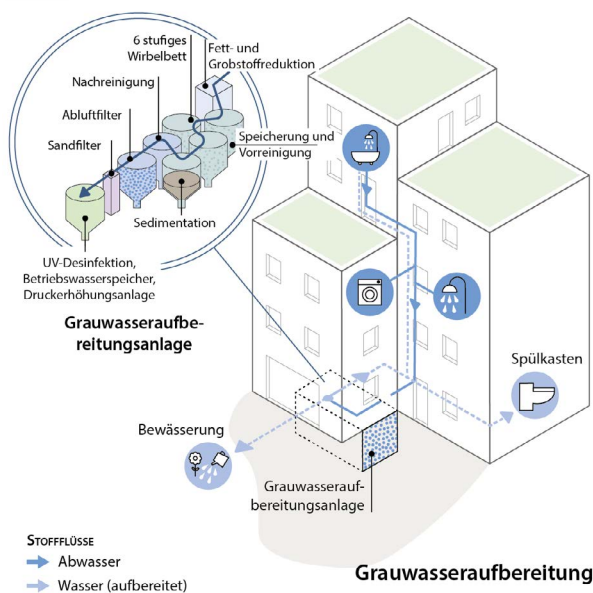


Kurzbeschreibung

Bei Grauwasser handelt es sich um fäkalienfreies und gering verschmutztes Abwasser, das beim Duschen, Baden oder Händewaschen anfällt (EN 12056-1). In der Küche und in der Waschmaschine fällt stärker belastetes Grauwasser an. Je nach individuellem Benutzerverhalten und den vorhandenen sanitären Einrichtungen fallen täglich zwischen 45 und 85 Litern Grauwasser pro Person an (Hörnschemeyer et al. 2023: 118). Dabei stammen etwa 25-35 Liter pro Person pro Tag aus dem eher leicht belasteten Anteil des Grauwasser (Million/Bürgow/Steglich 2018: 33). Das aufbereitete Grauwasser kann anschließend für verschiedene Zwecke genutzt werden, wie beispielsweise für die Toilettenspülung, die Waschmaschine, die Bewässerung des Gartens oder die Versickerung. Es besteht auch die Möglichkeit, das aufbereitete Grauwasser in Aquaponikanlagen und Hydroponikanlagen zu verwenden (ebd.; Libbe et al. 2017: 116).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

- Wärmerückgewinnung
- Schwarzwasseraufbereitung
- Biogaserzeugung
- Regenwasseraufbereitung (stofflich belastetes Regenwasser von befestigten Flächen und Dächern), Pflanzenkläranlagen und bewachsene Bodenfilter



Nutzungsdauer

noch keine Referenzen vorhanden



Raumbedarf

0,1 m²/EW

Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Grauwasseraufbereitung, Seite 2



Technische Daten

- Die Wiederverwendung von Grauwasser als Brauchwasser kann Wassereinsparungen von bis zu 50 % ermöglichen (Hörnschemeyer et al. 2023: 119).
- Je nach Maßstabsebene gibt es verschiedene Verfahren zur Aufbereitung von Grauwasser. Allgemein besteht die Anlage aus Vorbehandlung, biologischer Stufe, Filtration und Desinfektion. Auf Blockebene kann die Aufbereitung über mehrstufige Wirbelbettreaktoren mit Desinfektion erfolgen (Million/Bürgow/Steglich 2018: 35).
- Die Anforderungen der Trinkwasserverordnung gelten nicht für die Toilettenspülung und der Gartenbewässerung, da hier die Wasserqualität keine direkten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat. Für das Waschen von Wäsche gelten die europäische Trinkwasserrichtlinie (98/83/EG) und die deutsche Trinkwasserverordnung (Hanke 2016: 66).
- Die Nutzung von Grauwasser lohnt sich wirtschaftlich ab ca. 35 Einwohnern (Kleckers et al. 2023: 72).
- Gemäß § 17 Abs. 6 S. 1 der Trinkwasserverordnung muss sichergestellt sein, dass kein Wasser aus den Anlagen in das Trinkwassernetz zurückfließen kann.



Hemmnisse

- Grauwasseraufbereitungsanlagen müssen gemäß § 13 Abs. 4 TrinkwV der zuständigen Behörde angezeigt werden.
- Die Nutzung des aufbereiteten Grauwassers als Betriebswasser kann nicht angeordnet werden (BVerwG, Urteil v. 30.08.2001 – 4 CN 9/00).
- Die Leitungen für das Grauwasser müssen getrennt und farblich gekennzeichnet sein und es ist erforderlich, Maßnahmen zur Absicherung gegen bestimmungswidriges Verhalten zu treffen (§ 17 Abs. 6 S. 2 und 3 TrinkwV).
- Für die Verwendung des aufbereiteten Grauwassers zur Gartenbewässerung müssen spezielle Wasserhähne vorhanden sein, die entsprechend gekennzeichnet sind und für Kinder nicht erreichbar sind (Hanke 2016: 70).



Vorteile

- Reduzierung des Trink- und Abwasseraufkommens
- Einsparung von Trink- und Abwasserkosten
- Reduzierung des Abwasserabflusses



Nachteile

- höhere Kosten und Ressourcenverbrauch für ein zweites Leitungsnetz (eignet sich fast nur bei Neubauten)
- Die nachträgliche Trennung der Stoffströme ist mittels Doppel-Inliner-Verfahren möglich (Veser/Londong 2017: 39)
- Neubau Mehrkosten von 10 – 20 €/m² pro Wohnnutzfläche (Nolde 2013: 3)
- Wenn die Mindestfließgeschwindigkeiten im Kanal nicht erreicht wird, besteht die Gefahr von Ablagerungen. Diese müssen mit Trinkwasserspülungen beseitigt werden (Hörnschemeyer et al. 2023: 122)



Praxisbeispiele

- [Hamburger Water Cycle](#)
- [Roof Water Farm](#)

Icons:

The Noun Project

Quellen:

Hanke, S., 2016: Rechtliche Rahmenbedingungen neuartiger Wasserinfrastrukturen. netWORKS-Papers No. 31. Berlin. Zugriff: <https://backend.repositorio.difu.de/server/api/core/bitstreams/760e19a5-2b6c-4818-afb4-0268c9a593e2/content> [abgerufen am 07.06.2024].

Hörnschemeyer, B.; Kleckers, J.; Stretz, C.; Klemm, C.; Budde, J.; Arendt, R.; Lewe, M.; Albers, F., 2023: Leitfaden RessourcenPlan – Teil 3.3: Maßnahmen des Quartiersmanagements: Maßnahmensteckbriefe. Ergebnisse des Projekts R2Q RessourcenPlan im Quartier. Zugriff: https://www.fh-muenster.de/forschungsk Kooperationen/r2q/downloads/3_3_Massnahmensteckbriefe.pdf [abgerufen am 17.08.2023].

Kleckers, J.; Steinkamp, A.; Arendt, R.; Rummler, J.; Bach, V.; Finkbeiner, M.; Haberkamp, J., 2023: Leitfaden RessourcenPlan – Teil 2.2: Ressourcenmanagement Schmutzwasser. Ergebnisse des Projekts R2Q RessourcenPlan im Quartier. Zugriff: https://www.fh-muenster.de/forschungsk Kooperationen/r2q/downloads/3_3_Massnahmensteckbriefe.pdf [abgerufen am 19.04.2023].

Libbe, J.; Bock, S.; Nickel, D.; Langer, M.; Wilhelm, C., 2017: Wasserinfrastrukturen für die zukunftsfähige Stadt. Beiträge aus der INIS-Forschung. Berlin. Zugriff: <https://www.umwelt-bundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projekte-studien/wasserinfrastrukturen-fuer-die-zukunftsfaeihige-0> [abgerufen am 07.06.2024].

Million, A.; Bürgow, G.; Steglich, A., 2018: Roof Water-Farm. Urbanes Wasser für urbane Landwirtschaft.

Nolde, E., 2013: Dezentrale Abwasserwärmerückgewinnung in Kombination mit einer Grauwasserrecyclinganlage. DBU Projekt AZ 28201. Zugriff: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28201.pdf> [abgerufen am 17.08.2023].

Veser, S.; Londong, J., 2017: EVASENS - Einsatz von Vakuum-Inlinern im Bestand. Integration von Unterdruck-Sanitärtechnik im bestehenden Gebäude zur Etablierung von NASS-Systemen. Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 3038. Stuttgart.

Anlage 3: Technologiesteckbrief Schwarzwasseraufbereitung zu Biogas, Seite 1

Schwarzwasseraufbereitung zu Biogas

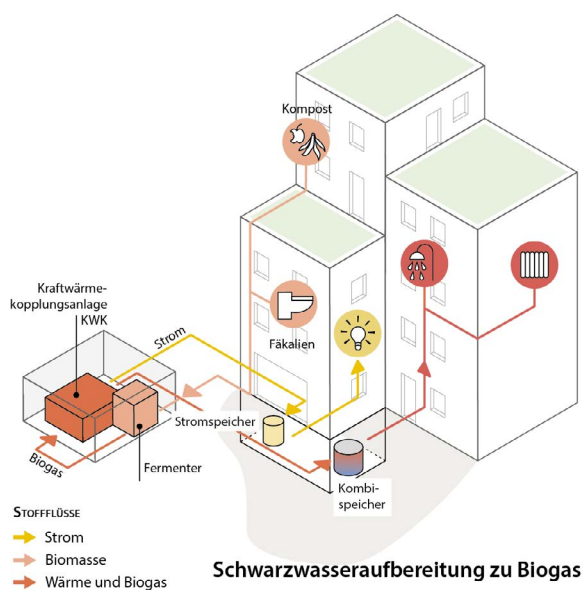


Kurzbeschreibung

Um das Abwasser im Unterdrucksystem effizient zu nutzen, ist es notwendig, die Abwasserströme getrennt zu erfassen und zu behandeln. Schwarzwasser, das aus häuslichem Abwasser ohne Grauwasser und mit fäkalen Feststoffen besteht (SO 6107-7: 1997), enthält ein hohes Nährstoff- und Energiepotenzial (Hamburg Wasser 2012: 10). Es kann zusammen mit organischen Abfällen und Klärschlamm aus der Grauwasserbehandlung in einem CSTR (Continuously stirred tank reactor) und einem UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) behandelt werden (Davoudi et al. 2016: 29). Dabei wird das Schwarzwasser nach Feststoffen und Flüssigkeiten getrennt und entsprechend behandelt. Das dabei gewonnene Biogas kann mithilfe eines Blockheizkraftwerks zur Energieerzeugung im Quartier genutzt werden. Aus den Feststoffen der Gärreste entsteht Kompost, der landwirtschaftlich genutzt werden kann, während die flüssigen Stoffe zusammen mit dem Grauwasser als Betriebswasser verwendet werden können (ebd.).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

- Wärmerückgewinnung auf Gebäudeebene
- BHKW
- Nutzung als Betriebswasser
- Biogasspeicherung in in-situ Gasflaschen (Houseful o.J.)



Nutzungsdauer

noch keine Referenzen vorhanden



Raumbedarf

keine Daten vorhanden



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Schwarzwasseraufbereitung zu Biogas, Seite 2



Technische Daten

- Der Methanertrag aus Schwarzwasser beträgt etwa zwei Liter Methan pro Liter Schwarzwasser (Hamburg Wasser 2012: 10).
- Das herzustellende Biogas muss mit einer Absorptionstechnologie aufbereitet werden, damit eine Biogasqualität für die Netzeinspeisung und die Verbrennung in einem Erdgaskessel gewährleistet wird (Houseful o.J.).
- Nach Abschluss der anaeroben Vorbehandlung verbleibt ein Gärrest, in dem weitere Komponenten enthalten sind. Durch eine Gärrestverwertung soll dieser in stofflich beziehungsweise energetisch nutzbare Produkte transformiert werden (Hamburg Wasser 2012: 10).



Hemmnisse

- Menschliche Fäkalien und Schwarzwasser sind noch nicht als Ausgangsstoff für Dünger genehmigt. Dennoch hat die DIN SPEC 91421 (2020) konkrete Qualitätsanforderungen im Bereich der Verwertung von Fäkalien aus Trockentoiletten für Düngemittel erstellt.
- Abwasser fällt unter den Anschluss- und Benutzungszwang und somit ist der Anschluss an die öffentliche Wasserleitung sowie die Kanalisation und deren Benutzung verpflichtend. Durch die Definition der Teilströme als Nicht-Abwasser können andere Entsorgungswege eingeschlagen werden (Schulz 2018).
- Klimaschädliche Gase dürfen nicht aus dem System entweichen. Bei der Schwarzwasservorbehandlung entsteht unter anderem Methan, das nicht unverbrannt in die Atmosphäre entweichen sollte. Mit Messgeräten kann nach Leckagen gesucht werden (Hamburg Wasser 2012: 11).
- Um die Akzeptanz der Bewohner nicht zu beeinträchtigen, müssen störende Gerüche vermieden werden. Dies betrifft die Luft, die aus dem Unterdrucksystem zur Schwarzwassersammlung abgesaugt wird, sowie die Abluft aus dem Gebäude, in dem die Grauwasserbehandlung erfolgt (Hamburg Wasser 2012: 11).
- Im Endprodukt des Flüssigdüngers ist die Konzentration der Hygieneparameter bei den Werten der Trinkwasserverordnung überschritten worden. Dennoch sind diese nicht gesundheitsschädlich (Raber et al.: 30).



Vorteile

- Erzeugung von unterschiedlichen Endprodukten möglich
- wichtige Nährstoffe können zurückgewonnen werden



Nachteile

- Medikamentenrückstände problematisch (Hamburg Wasser 2012: 10)
- Vakuumtoiletten und Leitungen eignen sich eher für verdichtete Gebiete als für Einfamilienhausgebiete
- Aufbereitung des Schwarzwassers deutlich umfangreicher als Grauwasser, da eine höhere Belastung von organischen Stoffen (CSB > 2000 mg/l), Mikroschadstoffe, Keime und Feststoffe wie Toilettenpapier vorhanden ist (Raber et al.: 27)



Praxisbeispiele

- [Hamburger Water Cycle](#)
- [Roof Water Farm](#)

Icons:

The Noun Project

Quellen:

Davoudi, A.; Milosevic, D.; Scheidegger, R.; Schramm, E.; Winker, M., 2016: Stoffstromanalyse zu verschiedenen Wasserinfrastruktursystemen in Frankfurter und Hamburger Quartieren, 30. Zugriff: <https://backend.repository.difu.de/server/api/core/bitstreams/9e7ecd98-935d-4c18-a5d4-adc4a22dd025/content> [abgerufen am 08.08.2023].

Hamburg Wasser, 2012: Kreis. Versorgung durch Entsorgung. Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung. Zugriff: <https://www.hamburgwasser.de/umwelt/vorsorge/hamburg-water-cycle/schwarzwasser> [abgerufen am 07.06.2024].

Houseful, o. J.: Schwarzwasser- und Bioabfallbehandlung für Biogaserzeugung. Zugriff: <https://houseful.eu/de/solutions/schwarzwasser-und-bioabfallbehandlung-fuer-biogaserzeugung/> [abgerufen am 08.08.2023].

Raber, W.; Nolde, E.; Gehrke, I.; Dott, W.; Dinske, J., o. J.: Roof Water-Farm: Handlungsempfehlungen. Hygienische Aspekte des Wasser- und Nährstoffrecyclings bei gebäudeintegrierter Farmwirtschaft. Sonderpublikation des Instituts für Stadt- und Regionalplanung der Technischen Universität Berlin. Berlin.

Schulz, P.-M., 2018: Rechtlicher Rahmen für die Verwertung von Stoffen aus neuartigen Sanitärsystemen. Zeitschrift für deutsches und europäisches Wasser-, Abwasser- und, 7. Jg. (4): 204–214.

Anlage 3: Technologiesteckbrief Kopplung von PV-Modulen, Fassadenbegrünung und Grauwasser, Seite 1

Kopplung von PV-Modulen, Fassadenbegrünung und Grauwasser

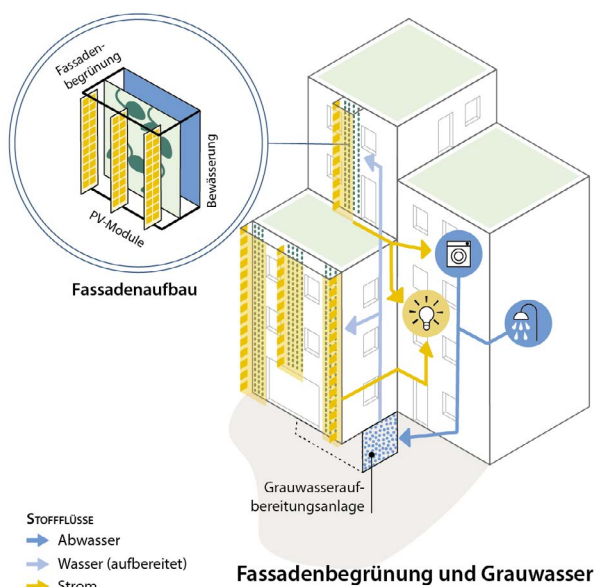


Kurzbeschreibung

Die Fassadenbegrünung kann in zwei Formen angebracht werden: systemgebunden oder erdgebunden. Beide Installationen erfordern eine kontinuierliche Bewässerung. In der Regel wird für die Bewässerung der Pflanzen entweder Trink- oder Regenwasser verwendet. Es gibt erste Forschungsprojekte, die das im Gebäude anfallende Grauwasser zur Bewässerung der Pflanzen nutzen. Auf diese Weise können zum einen die an der Fassade installierten PV-Module die Fassadenbegrünung vor extremen Witterungsbedingungen schützen. Zum anderen kann die Begrünung auch zur Kühlung der PV-Module beitragen, was wiederum höhere Stromerträge ermöglicht (VertiKKA o.J.).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

- Schwarzwasseraufbereitung
- Wärmerückgewinnung
- übriges Grauwasser kann als Betriebswasser für die Toilettenspülung oder für die Bewässerung genutzt werden



Nutzungsdauer

noch keine Referenzen vorhanden



Raumbedarf

keine Daten vorhanden



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Kopplung von PV-Modulen, Fassadenbegrünung und Grauwasser, Seite 2



Technische Daten

- Das Grauwasser wird zunächst einer mechanischen Vorreinigung unterzogen und anschließend kontinuierlich über das Substrat der Fassadenbegrünung gepumpt. Das nicht von den Pflanzen aufgenommene überschüssige Grauwasser sowie Trinkwasser gelangen in einen Zwischenspeicher und können entweder als Betriebswasser für die Toilette oder zur Bewässerung des Gartens genutzt werden. Das aufbereitete Grauwasser kann zusätzlich mittels UV-Lampen hygienisiert werden (VertiKKA o.J.; Eisenberg et al.: 24).
- Die Fassadenbegrünung filtert das Grauwasser mithilfe des Wurzelgeflechts im Substrat und durch den Stoffwechsel der darin lebenden Mikroorganismen. Dabei werden Seife, Shampoo und andere organische Verschmutzungen zu Pflanzennährstoffen umgewandelt (B_I galabau 2020).



Hemmnisse

- Regelmäßige Wartung und Pflege der Bewässerungstechnik und der Vegetation.
- Bei der Nutzung von Grauwasser für extensive Dachbegrünungen ergab sich eine geminderte Evapotranspirationsleistung von 10-20 % gegenüber dem Einsatz von Trinkwasser (Walker et al. 2016: 4).
- Übrige Hemmnisse siehe Steckbrief Grauwasseraufbereitung.



Vorteile

- auch Nutzpflanzen können angepflanzt werden
- Verbesserung des städtischen Mikroklima
- Reduzierung des Trinkwasserverbrauch für die Bewässerung der Fassadenbegrünung
- Reduzierung des Abwasserabflusses
- Gebäudekühlung
- Schadstoffe werden aus der Luft gefiltert
- Lärmreduzierung im Gebäude
- Grauwasser fällt im Gegensatz zu Regenwasser kontinuierlich an



Nachteile

- Im Sommer benötigen die Pflanzen mehr Wasser. Hier ist ggf. die Zufuhr von Trinkwasser notwendig.
- Gebäude sollte eine hohe Nutzerquote aufweisen, da Leerstand zu einem geringerem Grauwasseranfall führt und ggf. Trinkwasser zur Bewässerung nachgespeist werden muss.



Praxisbeispiele

- Hamburger Water Cycle
- Roof Water Farm Vertikka
- Berta in Wien
- Rosensteinviertel Stuttgart

Icons:
The Noun Project

Quellen:

B_I galabau, 2020: Grünfassaden mit Grauwasser versorgen. Zugriff: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/galabau/stadtgruen/gruenfassaden-mit-grauwasser-versorgen-g12824> [abgerufen am 18.08.2023].

Eisenberg, B.; Minke, R.; Steinmetz, H.; Ludwig, F., o. J.: Zu Viel - Zu Wenig: Wie können Lösungen für eine nachhaltige Bewässerung von Stadtgrün aussehen. In: Difu – Deutscher Städte und Gemeindebund (DStGB) und Deutsches Institut für Urbanistik (Hrsg.): Hitze, Trockenheit und Starkregen. Klimaresilienz in der Stadt der Zukunft.

VertiKKA, o. J.: Funktion. Komponenten, Funktionsweise und Synergieeffekte der VertiKKA. Zugriff: <https://vertikka.de/vertikka-entwicklung/funktion> [abgerufen am 18.08.2023].

Walker, R.; Schenk, D.; Jauch, M.; Krummradt, I.; Schmitz, H.-J.; Lohr, D., 2016: Optimierung der Evapotranspirations- und Kühlleistung extensiver Dachbegrünungen durch gezielte Nutzung von Grauwasser. Zugriff: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28577.pdf> [abgerufen am 18.08.2023].

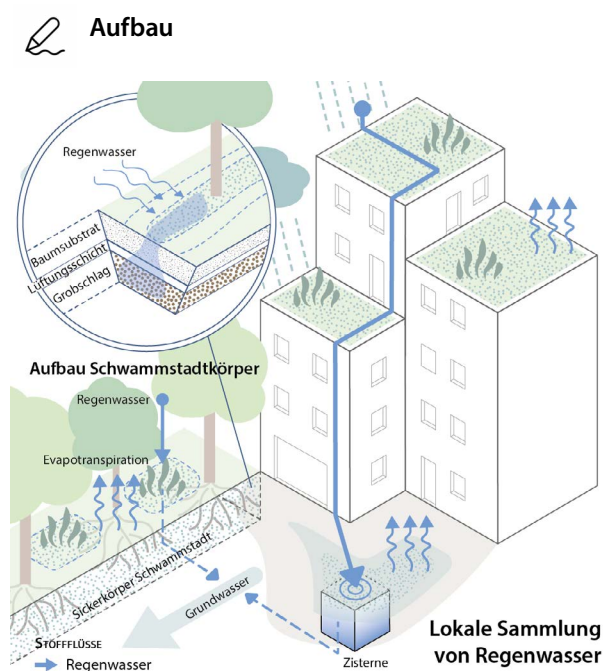
Anlage 3: Technologiesteckbrief Lokale Sammlung und Nutzung von Regenwasser, Seite 1

Lokale Sammlung und Nutzung von Regenwasser



Kurzbeschreibung

Die lokale Sammlung und Nutzung von Regenwasser bezeichnet Systeme und Methoden, die Regenwasser auffangen, speichern und für verschiedene Anwendungen verwenden (Umweltbundesamt Österreich 2016). Diese Anwendungen umfassen die Bewässerung von Gärten, die Nutzung in Haushalten für beispielsweise Toilettenspülungen oder Waschmaschinen (ebd.). Ziel dieser Systeme ist die Schonung von Wasserressourcen, die Verringerung der Abhängigkeit von städtischen Wasserversorgungssystemen und die Entlastung der Umwelt. Gleichzeitig ermöglicht das Schwammstadt-Prinzip durch integrierte Verdunstungs- und Versickerungsflächen (Grüne Fassaden, Dächer, Straßen- und Freiraumgestaltung) die Aufnahme von Niederschlägen und deren größtenteils durch Verdunstung erfolgende Rückgabe an die Umwelt (KURAS, 2017b).



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

- Integration in das häusliche Wassersystem zur Toilettenspülung und für die Waschmaschine (Kolb o.J., Umweltbundesamt Österreich 2016)
- Möglichkeit zur Nutzung für die Gartenbewässerung (Kolb o.J.)
- Entlastung der Entwässerungskanäle (KURAS, 2017b)



Nutzungsdauer

noch keine Referenzen vorhanden



Raumbedarf

- Flächenversickerung: Flächen > 50 % der zu entwässernden Fläche (KURAS, 2017b)
- Muldenversickerung Flächen > 20 % der zu entwässernden Fläche (KURAS, 2017b)



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Lokale Sammlung und Nutzung von Regenwasser, Seite 2



Technische Daten

Für die Auslegung der Regenwasserzisternen kann eine Sicherheitsreserve von 22 Tagen angenommen werden (Rewatec 2021). Für die Nutzung des Grauwassers und des Regenwassers ist zu beachten, dass zusätzliche Leitungen und Wasserspeicher in den Gebäuden eingeplant werden müssen. Wassernutzungen, die für die Grauwasseraufbereitung in Frage kommen, bspw. Handwaschbecken und Waschmaschinen, benötigen Leitungen, welche zur Grauwasserbereitung führen. Gleichzeitig benötigen die Anwendungen, welche Grauwasser nutzen, bspw. die Toilettenspülung, Leitungen, welche das Grauwasser zu der Anwendung transportieren. Außerdem ist eine Regenwasserleitung zum Wasserspeicher zu führen. Das Regenwasser wird vor der Einleitung in den Wasserspeicher gefiltert.



Hemmnisse

- Anfangsinvestitionen für Tanks, Pumpen und Installationen können hoch sein. (Allplan 2018)
- Platzbedarf: Tanks und Leitungen benötigen Platz, dieser muss verfügbar sein. (Allplan 2018)
- Wartung: Regelmäßige Wartung und Reinigung der Systeme sind notwendig, um Verunreinigungen und Verstopfungen zu vermeiden.
- Pflege: Zuläufe von Versickerungsflächen müssen freigehalten werden (KURAS 2017b)
- Große Regenwassernutzungsanlagen rentieren sich eher als kleine (Kolb o.J.)



Vorteile

- Ressourcenschonung: Reduzierung des Verbrauchs von Trinkwasser und Entlastung der städtischen Wasserversorgung (Umweltbundesamt Österreich 2016)
- Kosteneinsparungen: Langfristig können Wasserkosten durch die Nutzung von Regenwasser gesenkt werden.
- Regenwassermanagement: Verringerung der Abwassermenge und Entlastung der Kanalisation bei Starkregen. (KURAS, 2017b, Umweltbundesamt Österreich 2016)
- Umweltschutz:
 - Durch Versickerung wird das Grundwasser angereichert. (Umweltbundesamt Österreich 2016)
 - Das Regenwasser verbleibt im natürlichen Kreislauf. (KURAS, 2017b)



Nachteile

- Qualität des gesammelten Wassers kann variieren
- Verschmutztes Wasser sollte nicht versickert werden (Umweltbundesamt Österreich 2016)
- erhöhter Aufwand und Kosten für die Wartung und Überprüfung der Systeme (Allplan 2018)



Praxisbeispiele

- [Hamburger Water Cycle](#)
- [Roof Water Farm](#)

Icons:
The Noun Project

Quellen:

Allplan 2018: Sinn und Unsinn von Regenwassernutzung. Zugriff: <https://blog.allplan.com/de/regenwassernutzung> [abgerufen am 02.07.2024].
 Kolb, Bernhard o.J.: Regenwassernutzungsanlagen – Ökobilanz. Zugriff: <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Regenwassernutzungsanlagen> [abgerufen am 02.07.2024].
 KURAS, 2017b: Steckbrief 6: Mulden- und Flächenversickerung. Zugriff: http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente_Verwaltung/pdf/Steckbrief_06_Mulden_Flaechenversickerung.pdf [abgerufen am 24.04.2024].
 REWATEC, 2021: Berechnung der Tankgröße. Zugriff: <https://www.rewatec.de/wp-content/uploads/2021/08/Webseite-Berechnung-der-Tankgroesse-2022.pdf>. [abgerufen am 24.04.2024].
 Umweltbundesamt Österreich 2016: Nachhaltiges Regenwassermanagement – Was tun mit dem Regenwasser? Zugriff: <https://www.klimawandelanpassung.at/newsletter/kwa-nl21/kwa-nachh-regenwassermanagement> [abgerufen am 02.07.2024].
 Schulz, P.-M., 2018: Rechtlicher Rahmen für die Verwertung von Stoffen aus neuartigen Sanitärsystemen. Zeitschrift für deutsches und europäisches Wasser-, Abwasser- und, 7. Jg. (4): 204–214.

Anlage 3: Technologiesteckbrief Abwärmenutzung, Seite 1

Abwärmenutzung



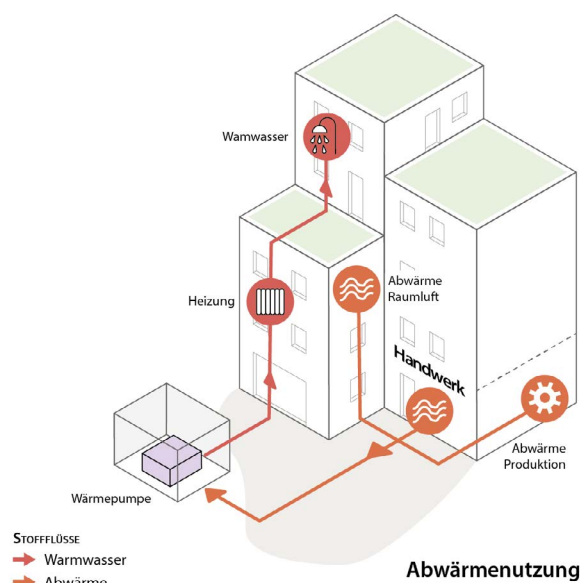
Kurzbeschreibung

Mit der Abwärmenutzung kann die Abwärme oder Kälte aus unterschiedlichen Quellen für unterschiedliche Anwendungen nutzbar gemacht werden. Abwärmequellen können Prozessabluft, Kälteanlagen/Kühlanlagen, Drucklufterzeugung oder raumlufttechnische Anlagen sein (dena 2015: 4). Die gewonnene Abwärme kann zur Erzeugung von Strom, Kälte, Raumwärme und Warmwasser sowie für externe Nutzung (Nah- und Fernwärmenetz) eingesetzt werden (edb.: 5).

Die Einsatzmöglichkeiten sind je nach Temperaturbereich vielfältig. Beispielsweise kann die Wärme mithilfe von Wärmeübertragungen genutzt werden oder eine Temperaturerhöhung durch Wärmepumpen realisiert werden. Kälte kann mithilfe von Kältemaschinen erzeugt werden. Außerdem kann aus der Abwärme auch Strom durch Dampfprozesse oder ORC-Anlagen gewonnen werden (ebd.).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

- Abwärme aus Handwerksbetrieben für das Wohnen und den Handel nutzbar machen
- Kälte aus Handel für das Wohnen nutzbar machen



Nutzungsdauer

unterscheidet sich nach Anwendung



Raumbedarf

unterscheidet sich nach Anwendung



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Abwärmenutzung, Seite 2



Technische Daten

- Abwärmequellen sind im Temperaturbereich (dena 2015):
 - 150 - 600 °C Abgase aus Verbrennungs- und Wärmeprozessen
 - 100 - 150 °C Wasserdampf aus Dampferzeugungssystemen
 - 40 - 90 °C Prozessanlagen, Trocknungsanlagen, Drucklufterzeugungsanlagen, Kälteanlagen, warmes Abwasser/ Kühlwasser
 - 20 - 40 °C Raumluftechnische Anlagen
- Abwärmesenken/ Nutzungsmöglichkeiten sind im Temperaturbereich (dena 2015):
 - 250 - 450 °C Nutzung der Abwärme zur Stromerzeugung mittels Dampfprozessen
 - 70 - 450 °C Nutzung der Abwärme zur Stromerzeugung mittels ORC-Verfahren
 - 125 - 400 °C Speisewasservorwärmung und Verbrennungsluftvorwärmung
 - 125 - 275 °C Produktionsprozesse und Trocknungsprozesse
 - 80 - 160 °C Kälteerzeugung
 - 75 - 125 °C Brauchwassererwärmung, Heizung und Warmwasser, Trocknung (und Eindampfen)
 - 30 - 75 °C Wasservorwärmung, Raumheizung durch Wärmepumpen



Hemmnisse

- Unklarheit bei Handwerken, wie viel Abwärme aus ihrem Betrieb an die Umgebung abgegeben wird (IZES 2015)
- Unklarheit, dass und wie Abwärme nutzbar gemacht werden kann (IZES 2015)
- Ausgestaltung der Wärmepartnerschaften/ unterschiedliche Akteursinteressen (AFGW 2020)
- zusätzliche Genehmigungen können notwendig werden



Vorteile

- erzeugt keine zusätzliche Emissionen (AFGW 2020)
- kaum Einsatz von zusätzlichen Ressourcen und Flächenverbrauch (AFGW 2020)
- Senkung von Energie- und Betriebskosten
- Förderung und Finanzierung



Nachteile

- zusätzliche Ressourcen und Fachkenntnisse für die Beschaffung, Wartung und Betrieb der Anlagen
- durch die Kopplung von Prozessen und Anlagen entstehen Abhängigkeiten, die bei Umstrukturierungen oder Ausfällen zu Problemen führen können
- für den Fall von Ausfällen müssen evtl. Reserveinfrastrukturen bereitgestellt werden
- zusätzlicher Bauraum für die dazukommenden Anlagentechnik wird benötigt



Praxisbeispiele

- [Abwärmenutzung in Bäckerei](#)
- [Abwärmenutzung von Textilreinigern](#)

Icons:
The Noun Project

Quellen:

AFGW, 2020: Leitfaden für die Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung. AGFW e. V.

dena, 2015: Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen – Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Zugriff: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/1445_Broschuere_Abwaermenutzung.pdf [abgerufen am 24.08.2023].

IZES, 2015: Studie Abwärmenutzung - Potentiale, Hemmnisse und Umsetzungsvorschläge.

Anlage 3: Technologiesteckbrief Wasserstoffproduktion und Rückführung des Wassers, Seite 1

Wasserstoffproduktion und Rückführung des Wassers

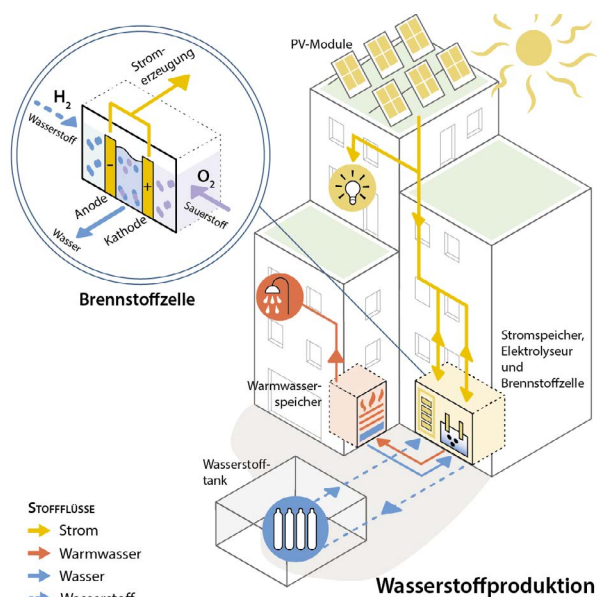


Kurzbeschreibung

Durch Photovoltaik-Module wird Strom erzeugt, der innerhalb des Gebäudes genutzt wird und bei Überschuss im hausinternen Stromspeicher zwischengelagert wird. Sobald die Kapazität des Stromspeichers erreicht ist, wird mit Hilfe eines Elektrolyseurs Wasserstoff aus den überschüssigem Strom produziert und eingelagert. Der Wasserstoff wird dann bei Bedarf in einer Brennstoffzelle verstromt und somit wieder für elektrische Anlagen nutzbar gemacht. Die in dem Prozess entstehende Abwärme kann zur Erzeugung von Warmwasser und Raumwärme genutzt werden.



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

- Nutzung der Dachflächen von Gewerbeeinheiten für PV
- Nutzung des erzeugten Wasserstoffs im Handwerk möglich



Nutzungsdauer

keine Referenzen



Raumbedarf

Raumbedarf: 1,5 m² im Haus, Mindesthöhe 2m (HPS 2023)

Platz außerhalb des Hauses ca. 2 m² für den Wasserstoffspeicher (HPS 2023)



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Wasserstoffproduktion und Rückführung des Wassers, Seite 2**Technische Daten**

- Nutzungsgrad von 90 % (hps 2023)
- Benötigte technologische Bestandteile (hsp 2023):
 - Wasseraufbereitung und Elektrolyseur für die Wasserstoffherzeugung
 - Brennstoffzelle für die Rückverstromung des Wasserstoffs
 - Batterie mit einer Kapazität von 20 kWh für die Kurzzeitspeicherung
 - Wechselrichter und Solarladeregler für den Anschluss an eine Photovoltaik-Anlage
 - Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung für verbessertes Wohnklima und Heizungsentlastung
 - Wasserstoffspeicher

**Hemmnisse**

- kostenintensive Investitionen

**Vorteile**

- Möglichkeit der autarken Energieversorgung
- Einsparmöglichkeit von bis zu 3 Tonnen CO₂ pro Jahr (HPS 2020)
- im Winter Nutzung von überschüssiger Energie aus dem Sommer

**Nachteile**

- hohe Investitionskosten

**Praxisbeispiele**

- [verschiedene Einfamilienhäuser](#)
- [Mehrfamilienhaus in Bad Kissingen](#)
- [Gewerbeimmobilien in Meckenheim \(https://www.tga-fachplaner.de/meldungen/hps-ganzjahres-stromspeicher-mit-bis-zu-15-000-kwh\)](https://www.tga-fachplaner.de/meldungen/hps-ganzjahres-stromspeicher-mit-bis-zu-15-000-kwh)

Icons:
The Noun Project

Quellen:
HPS, 2020: HPS Home Power Solutions startet Serienproduktion des Wasserstoff-Stromspeichersystems picea bei Zollner Elektronik. Zugriff: <https://www.homepowersolutions.de/events-news/serienproduktion-des-wasserstoff-stromspeichersystems-picea-bei-zollner-elektronik> [abgerufen am 23.08.2023].
HPS, 2023: Das erste Solar-Wasserstoff-System für Ihr Zuhause. Zugriff: <https://www.homepowersolutions.de/produkt/> [abgerufen am 23.08.2023].

Anlage 3: Technologiesteckbrief Nutzung von Lebensmittelresten aus Bäckereien in Brauereien, Seite 1

Nutzung von Lebensmittelresten aus Bäckereien in Brauereien

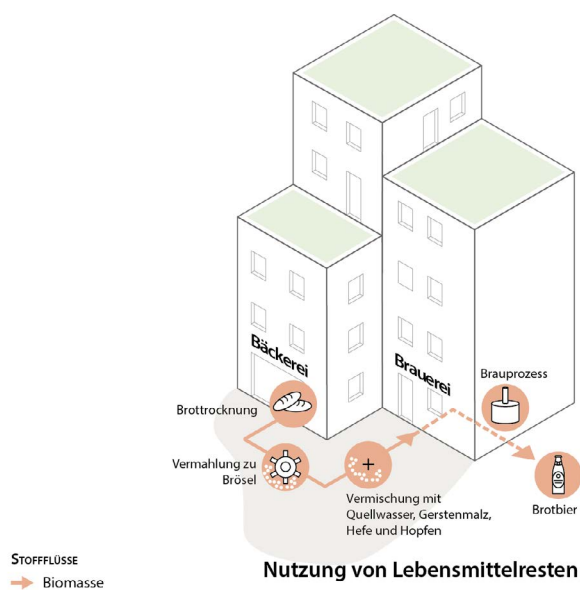


Kurzbeschreibung

Nicht mehr vermarktungsfähige Brotreste von Bäckereien werden verwendet, um Bier zu brauen (Hofer 2019). Die Brotreste werden meist noch am Produktionsstandort der Bäckerei gehäckselt, gekühlt und zur Brauerei geliefert (SÜWAG 2022). Dabei wird im Brauprozess meist das Malz durch Brot ersetzt (Lehn et al. 2023). Es gibt in Deutschland und weltweit einige Brauereien, die Kooperationen zu Bäckereien eingehen und Bier mit Brotresten brauen (Karmann 2021).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

Umgekehrt wird bereits mit Resten aus dem Bierbrauprozess Brot gebacken, etwa mit Biertreber oder dem Einsatz von Bier statt Wasser (Hofer 2019).



Nutzungsdauer

keine Daten vorhanden



Raumbedarf

keine Daten vorhanden



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Nutzung von Lebensmittelresten, Seite 2



Technische Daten

- 25 - 30 % des Malzes wird durch Brotreste ersetzt (Hofer 2019 & Karmann 2021)
- pro 100 Liter Bier werden je nach Brauerei ca 8 kg Brot verarbeitet (Bread Beer 2023)



Hemmnisse

- technische und Lebensmitteltechnologische Herausforderungen Malz durch Brot zu ersetzen (Karmann 2021)
- Brot müsste für größere Produktionsmengen und längere Produktionszeiten eingelagert werden, es ist ein Aufwand, der bis jetzt nur im kleinen Rahmen realisierbar ist (Karmann 2021)



Vorteile

- wirkt Lebensmittelverschwendung entgegen (Lehn et al. 2023)
- wird gut von den Kundinnen und Kunden angenommen (Hofer 2019)



Nachteile

- wird noch nicht im großem Maßstab umgesetzt



Praxisbeispiele

- Knärzje Bier: Bekommt Brot von einer Biobäckerei und ersetzt 25 % des Malzanteils durch Brot (Karmann 2021)
- Gruibinger Brotbier (Lammbrauerei Hilsenbeck 2022) und das Rhein-Neckar Brotbier von CraftCell (Lehn et al. 2023)

Icons:
The Noun Project

Quellen:

Bread Beer, 2023: Bread Beer. Zugriff: <https://www.dgfb.ch/products/bier-hell> [abgerufen am 23.08.2023].

Hofer, J., 2019: Bierbrauen mit (Rest-)Brot: Flüssige Lösungsansätze zur Reduktion der Lebensmittelverschwendung - Das Wissensforum. Zugriff: <https://wissensforum-backwaren.de/bierbrauen-mit-rest-brot-fluessige-loesungsansaetze-zur-reduktion-der-lebensmittelverschwendung/> [abgerufen am 22.08.2023].

Süwag, 2022: Bier aus Brotresten | Süwag-Kundenmagazin. Zugriff: <https://suewag-kundenmagazin.de/inspiration/bier-aus-brotresten> [abgerufen am 23.08.2023].

Lehn et al., 2023: Nachhaltigkeitsbewertung von Demonstrationsprojekten zur Reduzierung von Lebensmittelverlusten und -abfällen in den Sektoren Primärproduktion und Verarbeitung. Zugriff: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/273349/1/1851159576.pdf> [abgerufen am 22.08.2023].

Lammbrauerei Hilsenbeck, 2022: Brotbier - Nachhaltig lecker. Zugriff: <https://www.gruibinger.de/biere/brotbier/> [abgerufen am 28.06.2024].

Karmann, D., 2021: Brauereien brauen Bier aus altem Brot. geo.de. Zugriff: <https://www.geo.de/wissen/ernaehrung/brauereienbrauen-bier-aus-altem-brot-30606326.html> [abgerufen am 23.08.2023].

Anlage 3: Technologiesteckbrief Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäudekühlung, Seite 1

Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäudekühlung

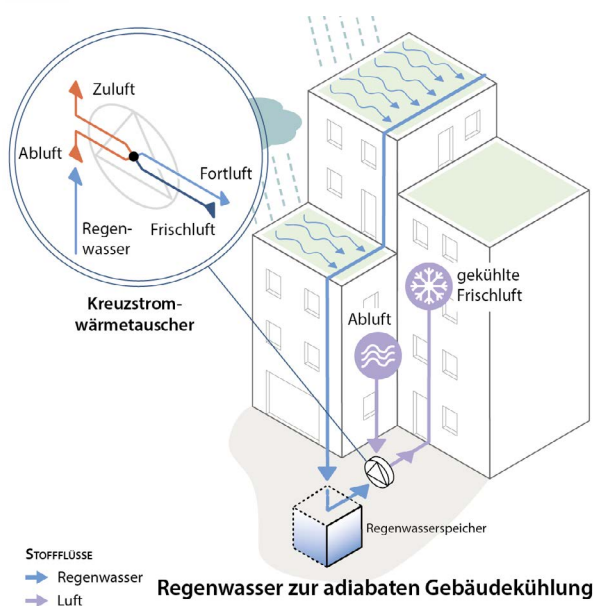


Kurzbeschreibung

Vornehmlich auf Dachflächen wird Regenwasser gesammelt und aufbereitet. Dieses wird innerhalb des Wärmeübertragers in die Abluft gesprüht, um diese zu kühlen. Zumeist über Plattenwärmeübertrager wird die Zuluft mit dieser gekühlten Abluft vorgekühlt, ohne dass diese Luftströme in direkten Kontakt treten (König 2017). Die Zuluft kann nicht direkt befeuchtet werden, da dadurch auch die Luftfeuchtigkeit steigen würde (Lackmann 2019). Diese Art der Gebäudekühlung wird auch als „indirekte adiabate Befeuchtungskühlung“ bezeichnet und kann signifikant zur Kühlung eines Gebäudes beitragen (KURAS 2017).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

Regenwasser kann zentral gesammelt und sowohl für die adiabate Abluftkühlung als auch für Fassadenbegrünung oder als Betriebswasser für Sanitäranlagen genutzt werden.



Nutzungsdauer

noch keine Referenzen vorhanden



Raumbedarf

100 m² Dach benötigt ca. 0,5 - 1 m³ Regenwasserspeicher und ca. 1 - 2 Meter Luftkanal für den Verdunster (KURAS 2017).



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Regenwassernutzung zur adiabaten Gebäudekühlung, Seite 2



Technische Daten

- mit einem Kubikmeter Wasser erhält man etwa 700 kWh Kühlleistung (KURAS 2017)
- Außerhalb des Gebäudes sollten Abluft und Zuluft mit möglichst großem Abstand geführt werden (König 2017)
- Für die Planung einer Lüftungsanlage zur Gebäudekühlung ist die DIN V 18599 und die DIN EN 13779 zu berücksichtigen. Speziell für die adiabate Abluftkühlung gibt es keine weiteren Regelsätze (KURAS 2017)
- die Bemessung sowie der Flächenbedarf sind abhängig von dem Nutzkältebedarf des Gebäudes (KURAS 2017)



Hemmnisse

- es braucht eine hygienische Absicherung, denn es darf nicht durch Undichtheiten zu einem Übertritt von Abluft in die Zuluft kommen (KURAS 2017)
- trotzdem wird eine zusätzliche UV-Desinfektion des Betriebswassers empfohlen (KURAS 2017)
- Sammel tanks und weitere Anlagenteile müssen regelmäßig gewartet werden (KURAS 2017)



Vorteile

- es wird nur halb so viel Wasser benötigt, wie bei der Verwendung von Trinkwasser für die Verdunstungskühlung und es wird kein Abwasser erzeugt (König 2017).
- Regenwasser kehrt in den natürlichen Kreislauf von Niederschlag und Verdunstung zurück (König 2017)
- das Mikroklima im Gebäudeumfeld wird ebenfalls verbessert (König 2017)
- Regenwasser hat eine geringe Leitfähigkeit und ist deshalb besonders gut geeignet (KURAS 2017)
- kann bis zu 80 % Energie einsparen (INTEWA o.J.)



Nachteile

- es existieren keine konkreten technischen Regelwerke für die adiabate Kühlung mit Niederschlagswasser (KURAS 2017)
- die Leistungsfähigkeit hängt stark von der Außen- und Abluftfeuchte ab (Lackmann 2019)



Praxisbeispiele

- Schule in Mössingen Berlin: Niederschlagswasser wird auf einem 1.800 m² großen Gründach gesammelt und als Betriebswasser im Sanitärbereich und zur adiabaten Kühlung des Gebäudes genutzt (König 2017).
- Physik-Institut der Humboldt-Universität zu Berlin: Regenwasser wird sowohl zur adiabaten Abluftkühlung als auch zur Bewässerung der Fassadenbepflanzung eingesetzt (König 2011).

Icons:
The Noun Project

Quellen:

König, K., 2017: Naturnahe Prozesse sparen 90 % Energie. Beschattung und Kühlung von (halb-) öffentlichen Gebäuden mit Verwendung von Regenwasser. fbr - Wasserspiegel (3) 10–13. Zugriff: http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente_Verwaltung/pdf/Steckbrief_04_Gebaeudekuehlung.pdf [abgerufen am 21.08.2023].

Lackmann, T., 2019: Adiabate Verdunstungskühlung in der Lüftungstechnik. Bundesindustrieverband Technischer Gebäudeausrüster e.V. 48–55. Zugriff: <http://btga.de/files/Almanach/2019/048-055.pdf> [abgerufen am 22.08.2023].

Kuras, 2017: Steckbrief 4: Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung. Zugriff: http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente_Verwaltung/pdf/Steckbrief_04_Gebaeudekuehlung.pdf [abgerufen am 21.08.2023].

INTEWA, o.J.: Adiabate Gebäudekühlung. Zugriff: <https://www.intewa.com/de/wasseraufbereitung/gewerbe/adiabate-kuehlung/> [abgerufen am 21.08.2023].

König, K., 2011: Kühlung durch Regenwasser. Zugriff: <https://www.tga-fachplaner.de/sanitaertechnik/regenwassernutzung-der-praxis-kuehlung-durch-regenwasser> [abgerufen am 21.08.2023].

Anlage 3: Technologiesteckbrief Holzheizung aus Betriebsabfällen, Seite 1

Holzheizung aus Betriebsabfällen

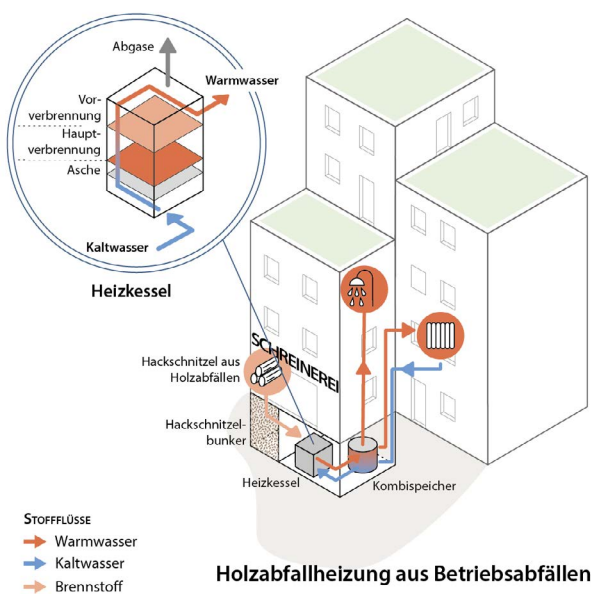


Kurzbeschreibung

Aus den Holzabfällen oder den gefilterten Spänen aus den Abluftanlagen werden Holzhackschnitzel oder Pellets produziert. Es können auch Stückholze verwendet werden. Die Holzabfälle werden über eine Förderschnecke oder ein Saugsystem aus dem Bunker in einen Heizkessel transportiert, wo diese dann verbrannt werden. Die Abwärme wird meist zur Erzeugung von Raumwärme verwendet. Holzschnitzelheizungen sind meist so ausgelegt, dass sie über einen längeren Zeitraum auf niedrigen Niveau heizen und diese Wärme dann in einem Wärmespeicher gespeichert wird (Hargassner 2023).



Aufbau



Anwendungsebene



Gebäude



Block



Quartier



Kopplungsmöglichkeiten

Die Abwärme der Holzschnitzelheizungen kann zur Bereitstellung von Raumwärme für das Wohnen und den Handel genutzt werden



Nutzungsdauer

Lebensdauer etwa 25 - 30 Jahre (Kloth 2023)



Raumbedarf

Silo: ca. 2 m³ pro KW Heizlast (Kloth 2023)



Innovationsgrad



Stand der Technik



einzelne Pilotprojekte in der Umsetzung



einzelne Forschungsprojekte



Water-Energie-Nexus



großer Aufwand durch die Abwasserbehandlung



zusätzlicher Aufwand durch die Abwasserbehandlung



(fast) keinen zusätzlichen Aufwand durch die Abwasserbehandlung

Anlage 3: Technologiesteckbrief Holzheizung aus Betriebsabfällen, Seite 2



Technische Daten

- notwendige Bestandteile: Heizkessel, Wärmespeicher, Hackschnitzelbunker, Transportsystem für Brennstoff, Aschebehälter, gegebenenfalls Trocknungslager
- Leistungswerte von 6 bis 2.500 kW (Hargassner 2023)



Hemmnisse

- eignen sich vor allem in größeren und nicht in kleineren Gebäuden
- es wird zusätzlicher Lagerraum für die Holzhackschnitzel/ Pellets benötigt



Vorteile

- Nutzung anfallender Abfälle aus holzverarbeitenden Betrieben
- geringere laufende Kosten
- Förderung möglich



Nachteile

- durch Biomasse keine regenerative Energiequelle (Kloth 2023)
- hohe Investitionskosten (Kloth 2023)
- hoher Platzbedarf (Kloth 2023)



Praxisbeispiele

- [Schreinerei Irmeler, Wärmebedarf für Werkstatt und zwei Wohnhäuser](#)
- [Altenstädter und Schmidt, Wärmebedarf für den Betrieb](#)

Icons:
The Noun Project

Quellen:
Hargassner, 2023: Effizient heizen in holzverarbeitenden Betrieben. Zugriff: <https://www.hargassner.com/de-de/heizungen-fuer-tischlerei/> [abgerufen am 24.08.2023].
Kloth, 2023: Die Hackschnitzelheizung: für nachhaltiges Heizen. Zugriff: <https://www.energieheld.de/heizung/holzheizung/hackschnitzelheizung> [abgerufen am 24.08.2023].

Erfahrungen aus der Praxis

Der Online-Workshop vom 05.09.2023 hatte das Ziel, die technische und bauliche Umsetzung innovativer Technologiesysteme und die Frage der Akzeptanz und Hemmnisse innovativer Quartiers- und Technologiekonzepte mit Akteurinnen und Akteuren aus der Praxis zu diskutieren. Dies geschah anhand der bis zu dem Zeitpunkt erstellten Konzepte (Städtebau und Technologiesystem) in den Fallstudienräumen Glasmacherviertel (Neubau) und Kall (Bestand).

Mit den Leitfragen „Wie erreichen wir eine effektive Verknüpfung der Energie- und Ressourcenströme von Handwerk und Wohnen innerhalb eines Quartiers?“ und „Wie können Hemmnisse überwunden werden, damit innovative Konzepte schneller in die Umsetzung kommen?“ lag der Schwerpunkt des Workshops auf der Rückkopplung der Funktionsfähigkeit und Umsetzbarkeit der bis dahin erarbeiteten Technologiesysteme.

Die Teilnehmenden, die unter anderem aus der operativen Umsetzung der energetischen Gebäudesanierung und der Forschung zu innovativen Wärmesystemen stammen, sprachen zunächst die Hemmnisse für die im Projekt geplanten innovativen Technologiesysteme an. Bisher ergeben sich diese vor allem aus der Problematik, dass ein Akteur nicht immer gleichzeitig sowohl als Energie-Produzent als auch als Konsument auftreten darf, vor allem dann, wenn die Grenze zwischen Gebäude- und Quartiersnetzen überschritten wird (vgl. mit Kap. 3.1.3). Auch wenn dies aufgrund der entsprechend gewählten Blockgröße in den beiden Fallstudien nicht zutrifft, so stellt dies dennoch eine Einschränkung auf Gebäudenetze für die direkte Übertragbarkeit dar. Die gemeinschaftliche Strom- und Wärmeplanung auf dem Maßstab der Quartiersnetze ist nämlich im Koordinationsaufwand höher.

Beim Anspruch an die Systeme unterscheiden die Anwendenden aus der Praxis zwischen dem Neubau, der zunehmend durch den linearen Planungs- und Einbauprozess der Anlagen autark gestaltet werden kann, und dem Bestand, in dem die Integration neuer Anlagen in komplexen Verteilungssystemen umzusetzen ist. Übergreifend wird für eine Einfachheit der Systeme plädiert, die durch eine flexible Ausgestaltung an verschiedene Ansprüche der Nutzungen im Laufe der Zeit angepasst werden kann.

Aus diesen Ansprüchen heraus werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

1. Resilienz und langfristige Nutzbarkeit der Systeme her- und sicherstellen

Bei der Erstellung der Technologiesysteme müssen die lokalen Gegebenheiten wie die jetzigen und geplanten Nutzungen, die Nutzungsmischung zwischen Wohnen und Gewerbe sowie die möglichen In- und Outputströme (Wasser, Energie, Wärme) langfristig und flexibel mitgedacht werden. Die Systeme müssen so aufgestellt sein, dass sie auch in sich verändernden urbanen Strukturen verlässlich funktionieren. Daher scheint keine völlige Autarkie von den regulären Versorgungsnetzen möglich.

2. Lokales Wissen nutzen und Akteure aktivieren

Durch die Integration der ansässigen Betriebe (und weiteren Akteurinnen und Akteuren) in den Planungsprozess können lokale Unterschiede (räumlich, planungsrechtlich, lokale Handlungslogiken und -routinen) besonders in die Konzepte eingebunden werden.

3. Den Planungsprozess optimieren und den Koordinationsaufwand der integrierten Planung reduzieren

Derzeit stehen aus der Praxis kaum Erfahrungswerte zur Verfügung, auf die zurückgegriffen werden kann. Um Innovationen zu ermöglichen und voranzutreiben, wird sich daher im Workshop für eine allgemeine Vereinfachung der Planungsprozesse ausgesprochen, nach dem Prinzip „Erst Handeln, dann im Detail lösen.“ Allerdings braucht es langfristig zum einen die Dokumentation durchlaufender Umsetzungsprozesse, um aus diesem

Erfahrungspool konkrete und allgemeingültige Empfehlungen ableiten zu können. Darauf aufbauend braucht es zudem die Anpassung der gesetzlichen Regelwerke, um die Planungssicherheit über lange Zeiträume zu ermöglichen.

4. Kostentransparenz herstellen und finanzielle Anreize schaffen

Um neue Anlagen für die Betriebe interessant zu machen, müssen nicht nur die Erwerbskosten für die technischen Anlagen, sondern auch die laufenden Kosten durch Betrieb und Wartung transparent kommuniziert werden. Der Mehrwert und die Kreislaufpotenziale der von ihnen betriebenen Anlagen muss ersichtlich sein. Für die potenziellen Betreibenden muss zudem ein Nutzen für ihren individuellen Einsatz und Aufwand (Finanzierung, Planung und Betreuung der Anlagen) ersichtlich sein. Aus der üblichen Logik der Betriebe wäre hier ein finanzieller Profit für die Betriebe naheliegend. Allerdings bräuchte es zuzüglich den Anreiz von entsprechenden Fördermitteln, damit Betriebe (und Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer) ihre Versorgungssysteme gemeinschaftlich umstellen.