

R2Q – RessourcenPlan im Quartier



Schlussbericht



Teil II: Eingehende Darstellung

Förderkennzeichen: 033W102 A-K

Münster, Oktober 2022



Impressum

Autoren und beteiligte Institutionen

Autoren	Institution
B. Hörnschemeyer, M. Henrichs, M. Lewe, P. Ghosh, M. Uhl, C. Stretz, M. L. Nießen, G. Walter, S. Flamme, J. Kleckers, J. Haberkamp, C. Klemm, J. Budde, P. Vennemann	FH Münster, IWARU, Institut für Infrastruktur·Wasser·Ressourcen·Umwelt und IEP, Institut für Energie und Prozesstechnik
J. Niesten, W. Grimsehl-Schmitz, D. Wirbals, E. M. Stieglitz-Broll	Stadt Herne, FB Umwelt und Stadtplanung, FB Tiefbau und Verkehr, Herne
A. Söfker-Rieniets, L. Vonhoegen, C. Reicher	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Lehrstuhl und Institut für Städtebau und Entwerfen, Aachen
R. V. Arendt, V. Bach, M. Finkbeiner	Technische Universität Berlin, Sustainable Engineering, Berlin
A. Matzinger, M. Zamzow, W. Seis, H. Sonnenberg, P. Rouault	Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Berlin
R. Wagner	Jung Stadtkonzepte, Köln
C. Müller, M. Spital	Abbruchtechnik ExKern GmbH & Co. KG, Münster
S. Maßmann, L. Fuchs	Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, Hannover
Ş. Şereflioğlu, C. Plogmeier, A. Steinkamp	Gelsenwasser AG

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes R2Q „RessourcenPlan im Quartier“ durchgeführt. Das Projekt wurde unter den Förderkennzeichen 033W102 A-K durch das BMBF im Rahmen der Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung RES:Z „Ressourceneffiziente Stadtquartiere“ gefördert (<https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/>). Die Fördermaßnahme ist Teil der Leitinitiative Zukunftsstadt innerhalb des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONAS³“.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Münster, Oktober 2022

Inhaltsverzeichnis

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	1
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	2
<i>Tabellenverzeichnis</i>	3
1 <i>Hintergrund und Randbedingungen</i>	4
2 <i>Eingehende Darstellung der Projektergebnisse</i>	4
2.1 <i>Arbeitspaket A: Instrumente</i>	4
2.2 <i>Arbeitspaket B: Technologien und Verfahren</i>	15
2.3 <i>Arbeitspaket C: Daten</i>	24
2.4 <i>Arbeitspaket D: Analyse und Bewertung</i>	28
2.5 <i>Arbeitspaket E: Transformationsszenarien</i>	30
2.6 <i>Arbeitspaket F: Transfer</i>	36
2.7 <i>Arbeitspaket K: Koordination</i>	39
3 <i>Projektzusammenfassung und Ausblick</i>	40
4 <i>Ergänzende Darstellung zur Verwendung der Förderung</i>	43
4.1 <i>Zahlenmäßiger Nachweis</i>	43
4.2 <i>Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen</i>	43
4.3 <i>Überblick der erarbeiteten Produkte</i>	46
4.4 <i>Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse</i>	47
4.5 <i>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten</i>	52
4.6 <i>Bekanntwerden von FE-Ergebnissen von dritter Seite</i>	52
5 <i>Literaturverzeichnis</i>	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Ablaufschema Aufstellung und Umsetzung RessourcenPlan	6
Abbildung 2.	Die Transformation der Energiesysteme erfordert neue Planungsmethoden für Stadtquartiere. Abbildung nach European Comission (2020)	9
Abbildung 3.	Säulen der Bewertungssystematik im RessourcenPlan	12
Abbildung 4.	Unterschreitungslinien der täglichen Verdunstungshöhe zweier Gründächer (Substrathöhe 6 und 15 cm) unter drei klimatischen Randbedingungen mit geringer (GRU), mittlerer (FMO) und hoher (FRE) jährlicher Niederschlagssumme (Hörnschemeyer und Uhl 2021).....	18
Abbildung 5.	Funktionsskizze lokal-funktionale Bewertung	22
Abbildung 6.	Darstellung der tatsächlichen Verdunstung mit einer Auflösung von 10 Metern.....	25
Abbildung 7.	Systemisch-sektoraler RessourcenPlan	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	(Weiter-)Entwickelte Instrumente des Sektors Wasser	7
Tabelle 2.	Überblick zum systemisch-sektoralen Soll-Ist-Vergleich	13
Tabelle 3.	Überblick über die aus geodatenbasierten Eigenschaften abgeleiteten flächenspezifischen Funktionen (Hörnschemeyer et al. 2021b).....	21
Tabelle 4.	Ergebnisse der systemisch-sektoralen und lokal-funktionalen Analyse und Bewertung des IST-Zustands.....	29
Tabelle 5.	Maßnahmenempfehlungen und Zielgrößen zur Aufstellung des RessourcenPlans ...	32
Tabelle 6.	Handlungsempfehlungen zur nachhaltigen Quartiersentwicklung	35
Tabelle 7.	R2Q- Produkte mit zugehörigen Veröffentlichungen	46

1 Hintergrund und Randbedingungen

Hintergrund und Randbedingungen des Projekts werden in Teil I des Schlussberichts dargestellt.

2 Eingehende Darstellung der Projektergebnisse

2.1 Arbeitspaket A: Instrumente

Einführung

Im AP A wurden Instrumente systematisch zu modularen Werkzeugen des Ressourcenmanagements in Quartieren aufbereitet. Ergebnis ist ein übertragbarer Werkzeugkasten mit ausgewählten Instrumenten für die Bewirtschaftung von Ressourcen im Quartier zur Anwendung des Planungsinstruments RessourcenPlan. Die Bearbeitung erfolgte in vier Teilschritten. Die Konzeption des RessourcenPlans (AS A.1) wurde als kontinuierlicher, rekursiver Prozess im Austausch von Wissenschaft und Praxis in die Projektbearbeitung integriert. Zur Zusammenstellung des Werkzeugkastens wurden einerseits bestehende, sektorale Instrumente von Planung und Betrieb (AS A.2) analysiert, Bedarfe identifiziert und die Instrumente für den Kontext der Ressourcenbewirtschaftung im Quartier aufbereitet. Andererseits wurde aufbauend auf den sektoralen Instrumenten in AS A.3 eine integrierte Systematik zur Bewertung der Ressourceneffizienz im Quartier entworfen. Abschließend erfolgte eine Zusammenstellung von innovativen Beispielen für Planungs- und Beteiligungsprozesse sowie Verwaltungsstrukturen (AS A.4).

Ergebnisse

AS A.1: Konzeption des RessourcenPlans

Die Konzeption des RessourcenPlans erfolgte im Austausch von Wissenschaft und Praxis als rekursiver Prozess zwischen Bedarfsermittlung, Konzeption und Evaluation/ Optimierung. Neben der Stadt Herne wurden zusätzlich acht assoziierte Kommunen in den Prozess integriert (AS F.2), um eine Übertragbarkeit des Ansatzes auf andere Kommunen sicherzustellen.

Der Konzeption des RessourcenPlan lagen Prämissen zugrunde, die auf Grundlage von Arbeitsgesprächen innerhalb der Verwaltung der Stadt Herne sowie durch weitere Fachgespräche festgelegt wurden. Sie dienten über den gesamten Projektzeitraum als rekursive Evaluationskriterien und stellten den Nutzen für die Kommunen und die Übertragbarkeit sicher. Es handelte sich um

- (1) *Inter-/ Transdisziplinarität*: frühzeitige und integrative Zusammenarbeit aller Fachbereiche innerhalb der kommunalen Verwaltung;
- (2) *Kommunikation*:
 - Kommunikation an Adressaten: verwaltungsintern, Bürger, Investoren
 - Inwertsetzung von Ökosystemleistungen und Aufzeigen von Umweltkosten
- (3) *Praxisbezug*: verständliche und anwenderorientierte Struktur;
- (4) *Integration*: nachhaltige Ressourcenplanung als einen relevanten Wert in die kommunalen Verwaltungsstrukturen integrieren.

Das Ergebnis ist ein RessourcenPlan, der in Kommunen eingesetzt werden kann, um die Ressourcennutzung im Quartier zu bewerten, Transformationsstrategien zu erarbeiten und rechtlich verbindlich umzusetzen. Als zentrale Elemente der planerischen Quartiersplanung und Ressourcenbewirtschaftung werden die Ressourcen Wasser, Baustoffe, Energie und Fläche/Raum betrachtet. Ergänzend können deren Synergien und Zielkonflikte analysiert werden. Der RessourcenPlan ist als zweistufiges Instrument konzipiert. Als (i) Planungsinstrument stellt er Methoden bereit, um die Ressourceneffizienz im Quartier zu analysieren und zu bewerten. Als (ii) rechtliches Instrument verankert es die entwickelten Maßnahmenstrategien der Quartiersplanung verbindlich in den formellen und informellen kommunalen Instrumenten.

Der RessourcenPlan durchläuft die beiden Phasen der Aufstellung (Phase I) und Umsetzung (Phase II) (Abbildung 1). In Phase I werden die Bedarfe individuell für das Quartier ermittelt. Darauf aufbauend werden einerseits Maßnahmenempfehlungen für die verschiedenen Ressourcen erarbeitet und als „RessourcenPlan“ zusammengefasst. Andererseits werden planerische Zielgrößen abgeleitet (z. B. Versiegelungsgrad, Grünflächenanteil, Abkopplungsgrad), die eine Erfolgskontrolle der vorgesehenen Maßnahmen in frühen Planungsphasen ermöglichen. Beides wird anschließend bedarfsgerecht in die formellen und informellen Instrumente der Kommune integriert. Die Phase II deckt die Umsetzung des RessourcenPlans im Rahmen von Planungsentscheidungen ab. In Anlehnung an die zuvor festgelegte Strategie werden Maßnahmenentscheidungen interdisziplinär abgewogen und bewertet.

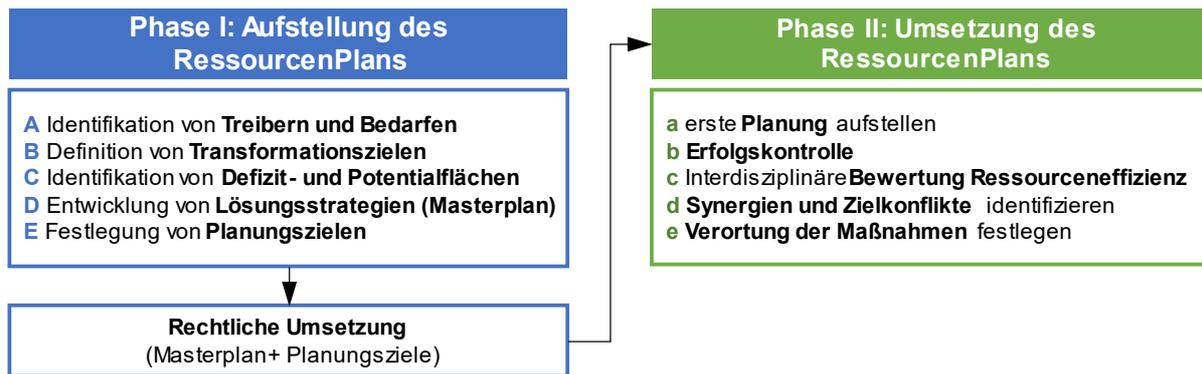


Abbildung 1. Ablaufschema Aufstellung und Umsetzung RessourcenPlan

Zur ganzheitlichen Anwendung lässt der RessourcenPlan als *Planungsinstrument* sowohl eine sektorale als auch interdisziplinäre Bewertung der Ressourceneffizienz im Quartier zu. Soweit möglich, werden bestehende Verfahren und Methoden integriert, um den Personalaufwand sowie die Komplexität möglichst gering zu halten. Die Systematik zur Bewertung der Ressourceneffizienz, die der Anwendung als Planungsinstrument zugrunde liegt, wird weitergehend in AS A.3 erläutert.

Der RessourcenPlan soll als *rechtliches Instrument* eine Verbindlichkeit für die identifizierten Transformationsbedarfe ermöglichen und hierdurch zu einer nachhaltigen Verankerung des Ressourcenschutzes in der Quartiersentwicklung beitragen. Umgesetzt werden die Maßnahmen des RessourcenPlans sowie die planerischen Zielgrößen. Es wird empfohlen, den RessourcenPlan als Paket unter Nutzung der bestehenden formellen und informellen Instrumente der Kommune umzusetzen. Als Umsetzungsinstrumente kommen beispielsweise die Bauleitplanung, städtebauliche Konzepte und Verträge, Maßgaben bei Konzeptvergaben, Förder-, Beratungs- oder auch Schulungsprogramme infrage. Zusätzlich können die für verschiedene Quartiere sehr individuellen Maßnahmen bedarfsgerechter und somit zielgerichteter festgesetzt werden. Eine spätere Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen ist ebenfalls möglich.

Ausführliche Informationen können Hörnschemeyer et al. (2022), Söfker-Rieniets et al. (2020) sowie dem „Leitfaden RessourcenPlan“ entnommen werden (vgl. Kapitel 4.2).

AS A.2: Instrumente für Planung und Betrieb

Die Instrumente für Planung und Betrieb wurden als sektorale Werkzeuge des Ressourcenmanagements im Quartier aufbereitet. Dazu erfolgte die Betrachtung für drei Sektoren der Ressourcenbewirtschaftung: Wasser (Niederschlags- und Schmutzwasser), Baustoffe (Stoffströme) und Energie. Für diese wurde jeweils eine Analyse der bestehenden Instrumente, die Identifikation von Bedarfen sowie die Aufarbeitung zu Zwecken der Ressourcenbewirtschaftung im Sinne des RessourcenPlans durchgeführt.

Wasser: Für den Sektor der Siedlungsentwässerung bestehen bereits zahlreiche, über viele Jahre hinweg erprobte Modelle. Sie unterscheiden sich in ihren Handlungsräumen sowie in Komplexität, Datenbedarf, Rechenzeit und Kosten. Im Verschnitt mit den zugrundeliegenden Aufgaben- bzw. Problemfeldern ergibt sich eine Auswahlhilfe für Modelle der Siedlungsentwässerung, die im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.2, veröffentlicht wird.

Darüber hinaus wurden im Rahmen der Konzeption der Bewertungssystematik für den RessourcenPlan (AS A.3) sowie der Untersuchungen im AP B.2 weitergehende Bedarfe identifiziert, für die Instrumente (weiter-)entwickelt wurden. Sie werden in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Eine ausführliche Beschreibung der Produkte erfolgt ebenfalls im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.2.

Tabelle 1. (Weiter-)Entwickelte Instrumente des Sektors Wasser

Aufgaben-/ Problemfeld	Bedarf	(Weiter-) Entwicklung	Beschreibung	Weitere Details
Modellierung blaugrüner Infrastrukturen	Unzureichende Abbildung der Evapotranspirationsprozesse	Weiterentwicklung und Validierung der SWMM-Erweiterung „SWMM-UrbanEVA“	Modellierung der Verdunstung von urbaner Vegetation sowie der Einflussnahme von Beschattung auf die Verdunstung	LF RP, Teil 2.2 Hörn-schemeyer et al. (2021a) Hörn-schemeyer und Uhl (2022)
Aufstellung Transformationsplanung	Vereinfachte Aufstellung von wasserwirtschaftlichen Planungsvarianten	Entscheidungsunterstützung zur Aufstellung von Transformationsplanung	GIS-gestütztes Verfahren in Abhängigkeit von städtebaulichen Strukturen	LF RP, Teil 2.2
Dimensionierung Regenspeicher	Bedarfsgerechte Dimensionierung von Regenspeichern	Entwicklung eines Dimensionierungsansatz, inkl. Excel-Tool	Dimensionierung von Speichern zur Regenwassernutzung in Abhängigkeit von Bedarfsdeckung und regionalen Klimabedingungen	LF RP, Teil 2.2
Gewässer	Vereinfachte Immissionsabschätzung	Entwicklung eines R-Tools	R-Tool zur vereinfachten Immissionsabschätzung von Regenwasser in Kleingewässern	LF RP, Teil 2.2 Zamzow et al. (2022)
Straßen-/ Kanalzustand	Fehlende integrierte Betrachtung von Straßen- und Kanalzustand zur Sanierungsplanung	Entwicklung eines GIS-gestützten Verfahrens	Verfahren zur Bestimmung des Potentials zur integralen Sanierung Straße/ Kanal	LF RP, Teil 2.2
Bewertung von Abwasserinfrastrukturen	Zentrale Technologien der de- bzw. semizentralen Abwasserbehandlung sind nicht in der Software SAmPSONS2 implementiert.	Erweiterung der SAmPSONS2 Technologie Bibliothek	Ergänzung der Technologieblöcke MAP-Fällung, Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche	LF RP, Teil 2.1

Baustoffe: Ein wichtiger Sektor der Rohstoffinanspruchnahme durch den Menschen sind der Hoch- und Tiefbau. Durch die lange Verweildauer der aus den Rohstoffen hergestellten Baustoffe im urbanen Raum und dem Sachverhalt, dass der Zubau bereits seit vielen Jahren größer ist als der Rückbau, kommt es zur Verlagerung natürlicher Primärrohstoffe in die Anthroposphäre. Das daraus resultierende anthropogene Lager wird vermutlich zukünftig eine unter ökologischen und ökonomischen Aspekten bedeutende Rohstoffquelle darstellen.

Im Gegensatz zum klassischen Bergbau fehlen für anthropogene Lager standardisierte Abschätzungen, Dokumentationen und Bewertungen der Rohstoffvorkommen (Blasenbauer et al. 2020). Die Kenntnis über Materialien, Menge, Qualität und Verfügbarkeit ist jedoch die Voraussetzung für eine systematische Bewirtschaftung des urbanen Materiallagers.

In vielen anderen Bereichen bilden Modelle bereits die Grundlage zur Abbildung des Ist-Zustandes, der Ableitung von operationellen Vorhersagen (Echtzeitvorhersagen), Prognosen (Nicht-Echtzeitvorhersagen) und Simulation. Für die Kartierung des anthropogenen Lagers im Hoch- und Tiefbau bieten in diesem Zusammenhang Geoinformationssysteme ein erhebliches Potenzial für die Auswertung und Visualisierung.

Eine bundesweit übertragbare Erhebungsmethode zur Abbildung regionaler anthropogener Materiallager im Hoch- und Tiefbau wird zurzeit im Rahmen eines Promotionsvorhabens an der FH Münster erarbeitet. Der hierbei zugrunde liegende Ansatz eines Baustoffhaushaltsmodells wurde im Rahmen des Projektes weiterentwickelt und auf zwei Quartiere in Herne angewendet.

Das Modell bildet die Basis für einen breiten Anwendungsbereich sowie die Berücksichtigung des anthropogenen Materiallagers im Zusammenhang mit der ressourceneffizienten Quartierentwicklung. So ist auf dieser Grundlage z. B. eine mittelfristige Prognose der Bau- und Abbruchabfällen sowie eine darauf angepasste Standortwahl von Aufbereitungsanlagen und/oder Lagermöglichkeiten möglich.

Auch die Entwicklung integraler Nachhaltigkeits-, Ressourcen- und Klimakonzepte im Hoch- und Tiefbau benötigt Kenntnisse über das anthropogene Materiallager, da erst durch die Berücksichtigung aller Ressourcen, die für Errichtung und Betrieb sowie Wartung, Instandhaltung und Rückbau aufgebracht werden müssen, realistische Szenarien für eine klimaneutrale bzw. ressourceneffiziente Stadtentwicklung ermöglicht werden.

Weitergehende Informationen sind in Kapitel 2.2 vorhanden.

Energie: Die traditionellen Energiesysteme sind geprägt durch lineare Energieflüsse von zentralen Energiebereitstellungsanlagen hin zu den Verbrauchern. Abbildung 2 zeigt die Transformation der Energiesysteme. Die einzelnen Sektoren sind in traditionellen Energiesystemen voneinander getrennt. Im Gegensatz dazu sind in modernen Energiesystemen die Sektoren

miteinander verbunden. Wärmepumpen verbinden zum Beispiel den Strom- und Wärmesektor oder die Elektromobilität den Strom- und Verkehrssektor. Moderne Energiesysteme erfordern somit eine gemeinsame Betrachtung aller relevanter Sektoren. Weiterhin treten neue Technologien (z. B. Wasserstoffsysteme) in die Energiesysteme ein, sodass die Anzahl der Versorgungsoptionen für Stadtquartiere stark zunimmt. Traditionelle Energiesysteme werden beispielsweise durch klassische Variantenstudien geplant. Hierbei werden vor allem monetäre Zielgrößen betrachtet. Internationale Klimaschutzziele fordern mittlerweile nicht nur eine Betrachtung nach monetären Zielgrößen, sondern beispielsweise auch eine Optimierung hinsichtlich CO₂-Emissionen. Durch weitere Optimierungsgrößen steigt die Komplexität moderne Energiesysteme deutlich an, sodass klassische Planungsverfahren an ihre Grenzen stoßen und neue Methoden entwickelt werden müssen.

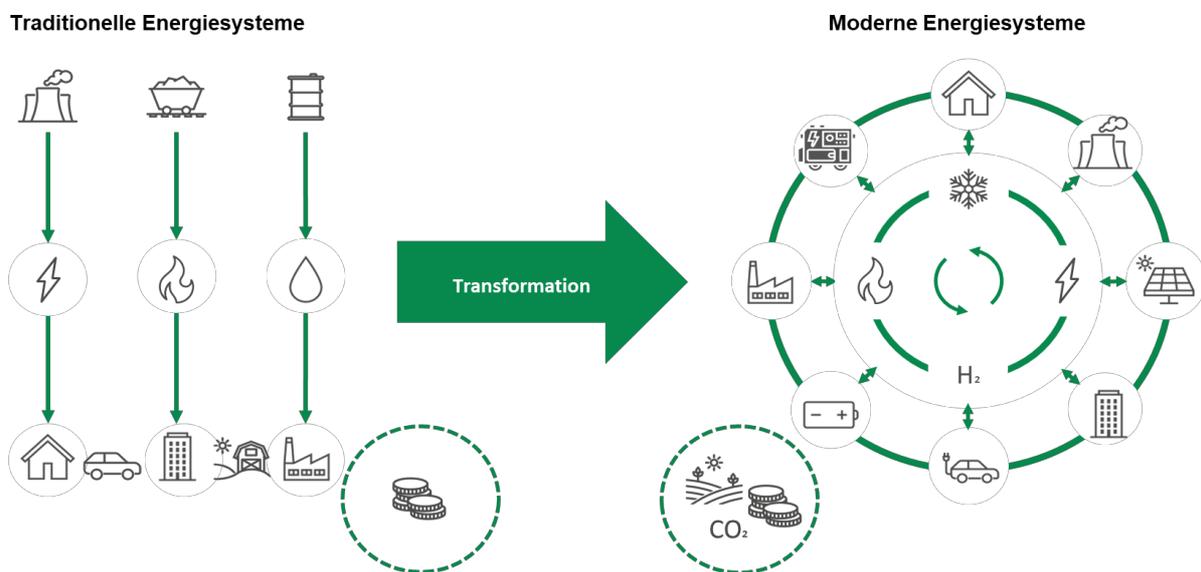


Abbildung 2. Die Transformation der Energiesysteme erfordert neue Planungsmethoden für Stadtquartiere. Abbildung nach European Commission (2020)

Die Komplexität moderner Energiesysteme kann mithilfe der Energiesystemmodellierung vereinfacht dargestellt werden. Im Rahmen des Projekts wurde nach einem umfangreichen Literaturreview (Klemm und Vennemann 2021) ein Framework zur Optimierung von Energiesystemen ausgewählt. Auf Grundlage dessen wurden der Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) entwickelt (Klemm et al. 2022a) und Indikatoren für die Optimierung der zwei Stadtquartiere bestimmt (Klemm und Wiese 2022). Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise ist im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.4 (vgl. Kapitel 4.2), zu finden. Die hier beschriebene Energiesystemmodellierung greift das im Antrag in AS B5.4 genannte „Modell zur energetischen Optimierung“ auf. Weitergehende Informationen werden in Kapitel 2.2, AS B.5, vertieft.

Übergreifende Aspekte/ Synergiepotentiale: Bisher wurden die verschiedenen Belange der Bauleitplanung mit unterschiedlichen Instrumenten mehr oder weniger verbindlich in den

Stadtentwicklungsprozess eingebunden. Die anthropozentrischen Belange (§1 BauGB Absatz 6, Satz 1-3) werden lokal in der verbindlichen Bauleitplanung festgesetzt werden und die Regeln für ihre Umsetzung in der Bauordnung festgelegt. Implizit anthropozentrische Belange, die des Umweltschutzes (§1 BauGB Absatz 6, Satz 7), der Baukultur und Stadtgestalt (§1 BauGB Absatz 6, Satz 5) und der Mobilität (§1 BauGB Absatz 6, Satz 9) und weiteren sektoralen Belangen werden dagegen durch eine Vielfalt von ergänzenden aber auch einzeln wirkenden Instrumenten, Strategien und Plänen gewährleistet. Die ortsbezogene gesamtheitliche Betrachtung aller Sektoren und Ressourcen wird bisher nicht integriert durchgeführt. Die Bewertung der Ressource Fläche erfolgt bisher separat beispielsweise durch

- (1) Anthropogene Nutzung in FNP, vorbereitende Bauleitplanung, Bebauungsplan, verbindliche Bauleitplanung
- (2) Ökologischer Wert von Flächen in Biotopwertverfahren, Ökopunkte
- (3) Monetärer Wert von Flächen über Gutachterausschuss für Grundstückswerte, Regelung über örtliche Vergleichsmiete, Mietendeckel
- (4) Baukultureller Wert durch geschützt durch Erhaltungssatzungen, Gestaltungssatzungen

Die verschiedenen Bewertungen und Instrumente führen teilweise zur Kompensation von funktionalen, ökologischen und wirtschaftlichen Defiziten an anderen Orten, so dass die Bilanz stadtweit erreicht wird, aber lokal diese Defizite weiter bestehen. Im Sinne der gemischten Stadt und der Stadt der kurzen Wege ist es notwendig, einen ganzheitlichen Ansatz der Bewertung auf lokaler Ebene im Quartierskontext zu entwickeln, um lokale Defizite beheben zu können und eine konsistente, resiliente Stadtentwicklung zu gewährleisten.

Ein solcher, ganzheitlicher Ansatz, die lokal-funktionale Bewertung, wurde im Projekt als geodatenbasierte Anwendung entwickelt. Sie wird in den Arbeitspaketen AS A.3 und AS B.3 sowie im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.5, weitergehend beschrieben.

AS A.3: Bewertungssystematik

Zur Anwendung des RessourcenPlans als Planungsinstrument (siehe AS A.1) war die Aufstellung einer Systematik notwendig, mit der die Ressourceneffizienz im Quartier bewertet werden kann. Als integrierte Bewertungsmethode muss der Ansatz die Ressourceneffizienz von Wasser, Baustoffen, Energie und Landnutzung auf Quartiersebene evaluieren können.

Der Entwicklung lagen die folgenden rahmengebenden Prämissen zugrunde, die gemeinsam mit der Stadt Herne definiert wurden:

- (1) *Übertragbarkeit*: Die Bewertungssystematik muss auch von anderen Kommunen angewendet werden können.

- (2) *Praktische Relevanz*: Die Ergebnisse müssen anwenderorientiert sein und leicht verständlich in den planerischen Alltag integriert werden können. Hilfreich sind Zielgrößen und Strategien, die zur Erfolgskontrolle und Orientierung eingesetzt werden können.
- (3) *Relative Bewertung*: Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen einzelner Quartiere, ist eine relative einer absoluten Bewertung vorzuziehen.
- (4) *Adaptivität*: Durch die unterschiedlichen Bewertungsparameter der verschiedenen Ressourcen wird ein möglichst offener Ansatz gesucht, der flexibel für qualitative und quantitative Soll- und Ist-Werte funktioniert.
- (5) *Nationale Ausrichtung*: Die Bewertung soll nach bundesweit gültigen Zielsetzungen ausgerichtet sein, die dem anerkannten Stand der Forschung und den globalen Trends und Transformationszielen genügen.
- (6) *Fortschreibungsfähigkeit*: Neue wissenschaftliche Erkenntnisse und sich wandelnde Ziele müssen ohne großen Aufwand in die Soll-Werte erhalten integriert werden können.
- (7) *Aufwand*: Das Verfahren der Bewertung soll außerdem bezogen auf die finanziellen und personellen Ressourcen der kommunalen Verwaltung ressourcenschonend sein.

In Anlehnung an diese Anforderungen wurde im Austausch zwischen Forschung und Praxis eine Bewertungssystematik konzipiert, die auf drei Säulen und vier resultierenden Bewertungssträngen beruht (Abbildung 3). Die Bewertung der lokalen (Öko-)Systemleistungen (1) hat einen guten ökologischen Zustand, eine resiliente Systemwirkung sowie eine hohe Lebensqualität zum Ziel. Im Rahmen der systemisch-sektoralen Bewertung (1a) wird das Quartier für alle Ressourcen entsprechend den spezifischen fachlichen Anforderungen analysiert. Mit der lokal-funktionalen Bewertung (1b) können die sektoralen Belange in einer geodatenbasierten Bewertung zusammengefasst werden, die die Ressourceneffizienz aller Ressourcen in Abhängigkeit der Summe und Güte der Funktionen einer Fläche quantifiziert. In Ergänzung stellt die Ökobilanzierung (2) die Minimierung der globalen Umweltauswirkungen entlang der Lieferkette sicher, während die ökonomische Betrachtung (3) zur volks- und betriebswirtschaftlichen Transparenz beitragen soll.

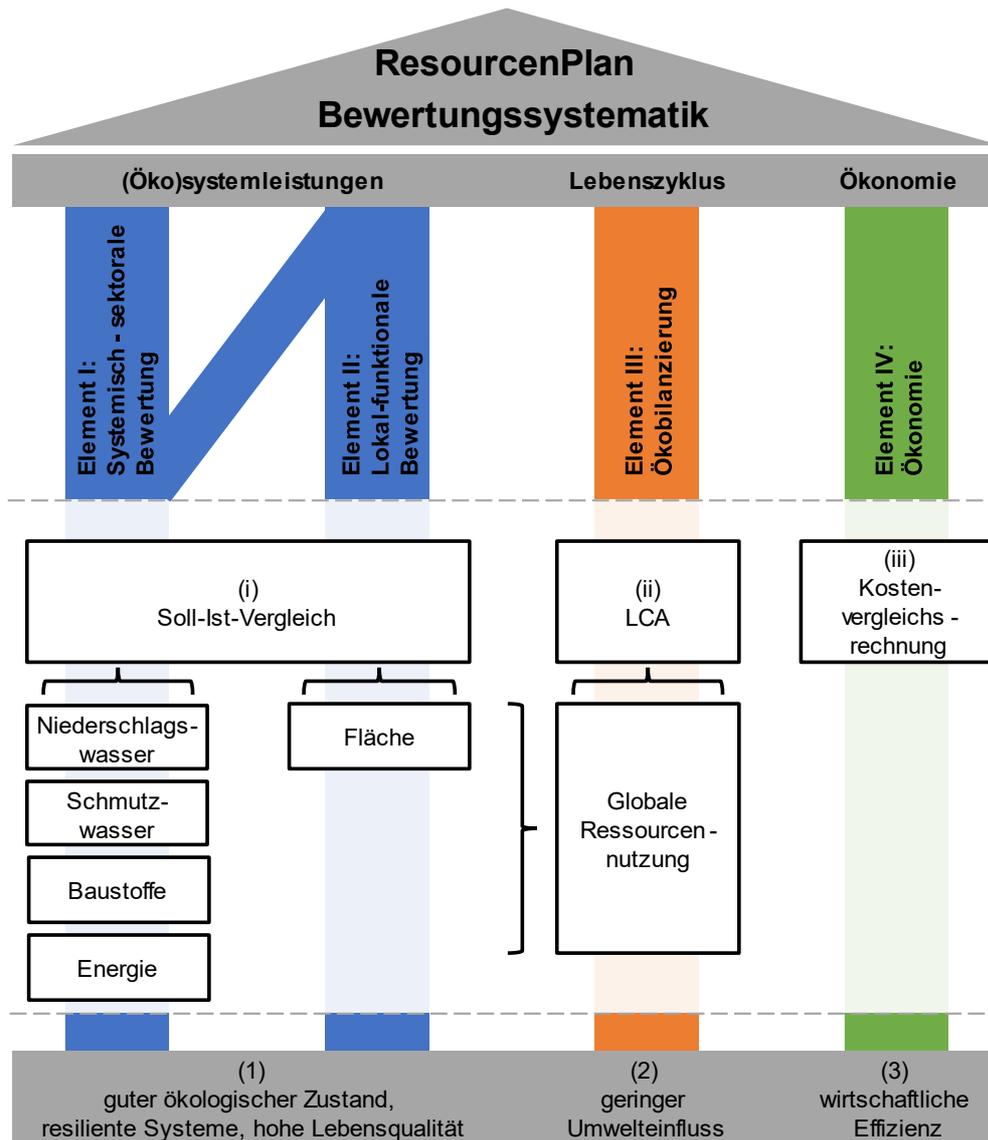


Abbildung 3. Säulen der Bewertungssystematik im RessourcenPlan

Die gewählte Kombination aus sektoraler und funktionaler Bewertung stellt sowohl die ausreichende Beachtung systemischer Aspekte als auch die integrierte, interdisziplinäre Analyse des Quartiers sicher. Die Ergebnisse der systemisch-sektoralen Betrachtung werden auf Grundlage einer vereinheitlichten Definition der Ressourceneffizienz in der lokal-funktionalen Bewertung zusammengeführt. Diese zugrundeliegende Definition geht zurück auf das Umweltbundesamt und wird beschrieben als „Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz“ (Kosmol et al. 2012). Sie wird auf die sektoralen Belange individuell angepasst. Für die jeweiligen Sektoren werden Transformationsziele sowie Indikatoren definiert und mithilfe der in AS A.2 zusammengestellten Instrumente bilanziert (Tabelle 2). Aus den identifizierten Defiziten können planerische Zielgrößen und Maßnahmenempfehlungen abgeleitet werden.

Tabelle 2. Überblick zum systemisch-sektoralen Soll-Ist-Vergleich

Sektor	Treiber	Transformationsziel	Indikatoren	Methoden/ Instrumente	Planerische Zielgrößen
Niederschlagswasser	Gewässerschutz; Entsorgungssicherheit; Nutzungssicherung; Ressourcenschutz; Klimaresilienz	Reduzierung Gewässerbelastung; Erhalt des lokalen Wasserhaushalts; Überflutungsvorsorge; Minderung urbaner Hitzeinseln (DWA 2021; DWA-A 100 2006; DWA-AVM 102/ BWK-AVM 3 2020; IWA 2016; OGewV 2016)	Wasserhaushalt; Emissionen/ Immissionen AFS, Schwermetalle, Nährstoffe, Biozide; Überflutungsrisiko; Verdunstung	Niederschlag-Abfluss-Modell; Emissions-/ Immissionsbetrachtung; Wasserhaushaltsbilanzierung; Überflutungsmodellierung; (Henrichs et al. 2016; Hörschemeyer et al. 2021a, 2021b; Zamzow et al. 2022);	Versiegelungsgrad; Abkopplungsgrad; Maßnahmenempfehlung; Verbot schadstoffbelasteter Baustoffe; Grünflächenanteil
Schmutzwasser	Gewässerschutz; Entsorgungssicherheit; Nutzungssicherung; Ressourcenschutz; nationale und internationale Klimaschutzziele; Einsparung von fossilen Energieträgern	Wasserwiederverwendung; Maximierung der Ressourcenrückgewinnung; Reduzierung der Gewässerbelastung; Minimierung des Treibhausgaspotentials und des Primärenergiebedarfs (IWA 2016; Kisser et al. 2020)	Trinkwasserbedarf; Ressourcenerückgewinnungspotential von Stickstoff und Phosphor; Gewässeremissionen von CSB, Stickstoff und Phosphor; thermischer und elektrischer Endenergiebedarf; Treibhausgaspotential; Primärenergiebedarf; Eutrophierungspotential	Massenbilanzierung, vereinfachte Ökobilanzierung mittels SAMP-SONS2 (Schütze et al. 2019)	Art und Menge der Ressourcennutzung (thermische, und elektrische Energie, Stickstoff, Phosphor, Wasser) von Schmutzwasser bzw. Schmutzwasserleistungsmen; Maßnahmenempfehlungen
Baustoffe	Verknappung von Rohstoffen; Ressourcenschutz; Schonung der natürlichen Ressourcen; nationale und internationale rechtliche Vorgaben; Versorgungssicherheit, begrenzte Entsorgungskapazitäten	Kartierung des anthropogenen Materiallagers; Wiederverwendung; Kreislaufschließung der Stoffströme	Materialintensität; Recyclingquote; Wiederverwendungsquote; Rücknahmesysteme; Schadstoffanteil	Objektmodellierung; Materialzuweisung; Alterungsmodelle und Nutzungsprognosen	Verbesserung der Datenlage; empfohlene Maßnahmen; Identifizierung der Recyclingpotenziale
Energie	nationale und internationale Klimaschutzziele; Nachfrage nach preiswerter Energieversorgung; Einsparung von fossilen Energieträgern; Erhöhung der regionalen Wertschöpfung	Minimierung von Treibhausgasemissionen; Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien; Minimierung der Systemkosten; Minimierung des Endenergieverbrauchs (Klemm und Wiese 2022)	Treibhausgasemissionen, Energiesystemkosten, Endenergiebedarf (Klemm und Wiese 2022)	Energiesystemmodellierung (Klemm et al. 2022a)	Minimierung der betrachteten Indikatoren

Die lokal-funktionale Bewertung bestimmt alle Funktionen der Flächen im Quartier, die positive Effekte auf gegenwärtige Transformationsziele haben und stellt Defizite und Bedarfe dieser Flächenfunktionen im Rahmen eines Soll/Ist-Vergleichs dar. Die Soll-Werte beinhalten Zielwerte alle Ressourcen im Quartier, die neben den natürlichen Ressourcen auch anthropogene Nutzungen, baukulturelle Ziele, Energie und Baustoffe beinhalten.

Die Ökobilanz ist eine Umweltmanagementmethode, die Umweltauswirkungen von Produkten und Dienstleistungen entlang ihres Lebensweges quantifiziert (ISO 2006a, 2006b). Sie wird verwendet, um die potentiellen Umweltauswirkungen von Produkten zu bewerten, sowie die Umweltauswirkungen von Produkten mit gleicher Funktion zu vergleichen. Daneben wird die Ökobilanz zunehmend im Kontext der Stadtplanung angewendet (siehe z. B. Cremer et al. 2020, 2021).

Ökonomische Aspekte werden im Rahmen der Maßnahmenentscheidung eingebracht. Kommunen sind dazu verpflichtet ihre Planungsentscheidungen betriebs- und volkswirtschaftlich effizient zu gestalten. Transparente Kostenaufschlüsselungen können zudem Argumentationshilfen sein und zur Entscheidungsfindung beitragen. Bei der Umsetzung des RessourcenPlans sollten sowohl Investitions- als auch Betriebskosten aufgeschlüsselt werden. Es empfiehlt sich die Anwendung von dynamischen Kostenvergleichsrechnungen (DWA und DVGW 2012). Aufgrund von regionalen Unterschieden lassen sich die Ergebnisse allerdings nicht überregional übertragen. Anhaltswerte für Kostenstrukturen bieten die Maßnahmensteckbriefe (AP B).

Das Verfahren ist modular anwendbar und kann quartiersspezifisch individualisiert werden. Ausführliche Informationen können in Hörnschemeyer et al. (2022), Söfker-Rieniets et al. (2020) sowie im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teile 1, 2 und 3.1, vertieft werden (vgl. Kapitel 4.2).

Die hier beschriebene Systematik beinhaltet im Gegensatz zum im Antrag beschriebenen Konzept – die Ressourceneffizienz-Bewertung mittels ökobilanzieller Methoden – die Erweiterung um lokale Systemleistungen der verschiedenen Sektoren sowie um ökonomische Betrachtungen. Dies ist das Ergebnis der fachlichen Schärfung innerhalb der Projektlaufzeit und geht insbesondere auf die von Seiten der beteiligten Kommunen formulierten Bedarfe zurück. Demnach reiche eine alleinige Betrachtung globaler Effekte mittels der Ökobilanzierung nicht aus, um die kommunalen, lokal behafteten Zusammenhänge ausreichend differenziert abzubilden. Des Weiteren müsse die volks- und betriebswirtschaftliche Effizienz bei Planungsentscheidun-

gen stets als Kriterium mitgeführt werden. Aus diesem Grund wurde das ursprünglich angestrebte Konzept zur Bewertung der Ressourceneffizienz im Quartier um Systemleistungen und Ökonomie erweitert.

Der damit einhergehende deutlich erhöhte Koordinierungs- und IT-Aufwand schlägt sich in weiteren Arbeitspunkten nieder (AS A.3, C.2, C.3, AP D und E).

AS A.4: Innovative Fallbeispiele

Bei den relevanten innovativen Fallbeispiele wurde in vier Themenbereichen unterschieden. Zum einen waren für den AS A.1 innovative rechtliche Instrumente von Interesse. Dazu zählten zum einen bestehende Formale, teilweise internationale Instrumente, aber auch vorbildliche informelle Verfahren, die einen ganzheitlichen Ansatz zur Ressourcenbewirtschaftung im Quartier verfolgten oder ähnliche Transformationsziele in den verschiedenen Rechtsquellen integrieren. Außerdem waren zur Umsetzung einer effizienteren Ressourcenbewirtschaftung im Quartier beispielhafte Finanzierungsmodelle und Beteiligungsverfahren relevant. Diese wurde im Rahmen dieses Arbeitsschritts von allen Partnern zusammengetragen und hinsichtlich der relevanten, beispielhaften Aspekte in Steckbriefen aufgearbeitet. Diese Sammlung wird im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.1, veröffentlicht (vgl. Kapitel 4.2).

2.2 Arbeitspaket B: Technologien und Verfahren

Einführung

Im AP B wurden Technologien und Verfahren des Ressourcenmanagements untersucht, bewertet und weiterentwickelt. Ergebnisse sind innovative ressourcenspezifische und -übergreifende Technologien und Verfahren, die im Zuge der Planung zur Quartiersentwicklung relevante Ansatzpunkte darstellen. Die Bearbeitung erfolgte sektoral für die Bereiche Abwasser (Schmutzwasser (AS B.1)), Niederschlagswasser (AS B.2), Fläche (AS B.3), Stoffströme (Baustoffe (AS B.4)) und ressourcenübergreifende Aspekte (AS B.5). Ergänzend zum AS A.4 wurden innovative Fallbeispiele für die ressourceneffiziente Gestaltung von Quartieren zusammengestellt (AS B.6).

Ergebnisse

Die Ergebnisse des AP B stellen sich primär als sektorale Erkenntnisse dar. Zur Etablierung eines integrierten Ressourcenmanagements im Quartier wurden sie als Ergänzung des bereits in AP A erwähnten Werkzeugkoffers zu einem übergreifenden Maßnahmenkatalog zusammengefasst, der die Erkenntnisse der folgenden Arbeitsschritte AS B.1-B.5 aufgreift. Der Maßnahmenkatalog dient zur Informationsfindung bei der Maßnahmenwahl und stellt für die Technologien und Verfahren relevante Informationen zu Planung, Bau und Betrieb zusammen. Des

Weiteren werden Informationen zu Synergien und Zielkonflikten mit anderen Maßnahmen sowie zu ökobilanziellen Aspekten gegeben.

Der Maßnahmenkatalog wird im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.3, sowie online unter <https://www.fh-muenster.de/r2q-massnahmensteckbriefe> veröffentlicht.

AS B.1: Abwasser

Es wurde eine umfangreiche Recherche zum Entwicklungsstand von ressourcenorientierten Sanitärsystemen in Europa durchgeführt (B.1.1). Insgesamt wurden 211 Projekte recherchiert und davon 142 hinsichtlich der eingesetzten Technologien, Konzepte und Ausbaugrößen ausgewertet. Demnach sind die am häufigsten isoliert behandelten und/oder genutzten Schmutzwasserteilströme Grauwasser und Urin. Als „abwasserfreies“ System findet die Kombination aus Grauwasser- und Schwarzwasserbehandlung häufig Anwendung. Die Recherche wurde genutzt, um Abwasserkonzepte (siehe Konzeptzusammenstellung, „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.1) und ein Technologieportfolio (siehe Maßnahmensteckbriefe, „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.3) abzuleiten.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen, aktuelle Hindernisse und kommunale Planungsinstrumente wurden zusammengestellt (B.1.2). Dies hat ergeben, dass der Kommune eine Vielzahl an kommunalen Steuerungs- und Planungsinstrumenten für die Umsetzung von neuartigen Sanitärsystemen (NASS) zur Verfügung stehen (z. B. Bebauungsplan, städtebauliches Entwicklungskonzept). Produkte aus NASS stehen vor rechtlichen Hürden, da die Ausgangsstoffe nicht in der Düngemittelverordnung erwähnt werden. Im Jahr 2022 wurde die erste Genehmigung für die Nutzung eines Düngers aus Urin in der EU (Österreich) erteilt. Die Entwässerungssatzungen können aktuell noch aufgrund fehlender Begrifflichkeiten und Formulierungen, ein Hindernis für die Umsetzung von NASS darstellen. Im Rahmen des Projektes wurden mögliche Formulierungshilfen für kommunale Entwässerungssatzungen aufgelistet.

Der Einfluss einer Stoffstromtrennung auf bestehende Infrastrukturen (B.1.3) wurde mittels einer Simulationsstudie an der Kläranlage Wesel durchgeführt. Sukzessive wurden im Modell die Stoffströme Urin, Braunwasser und Grauwasser jeweils in 5 %-Schritten abgetrennt und die Auswirkungen auf den Betrieb (Belüftungsbedarf, Biogasproduktion, Gewässeremissionen, Fällmittelbedarf) ausgewertet. Die Abtrennung von Urin hat sich als besonders wirksam hinsichtlich der Reduzierung der Stickstoffemissionen und des Belüftungsbedarfs herausgestellt. Eine Abtrennung von Grau- bzw. Braunwasser zeigte teilweise erhebliche betriebliche Probleme ab einer Separationsrate von 60 % bzw. 75 %.

Auf Basis der Konzeptzusammenstellung und des Technologieportfolios wurden mit der Software SAmPSONS2 (Schütze et al. 2019) die Ressourceneffizienz von verschiedenen Abwassersystemen ermittelt. Dabei wurden drei konventionelle und 18 NASS Szenarien aufgestellt

und auf verschiedene Indikatoren (Gewässeremissionen, Treibhausgaspotential, Primärenergiebedarf etc.) untersucht. Mehrere Technologien wurden hierfür in SAMPSONS2 ergänzt (u. a. Ammoniumstrippung mit saurer Wäsche, MAP-Fällung) oder bestehende Technologien hinsichtlich verschiedener Parameter angepasst (z. B. die zentrale Kläranlage). Als Schlüsseltechnologie zur Reduzierung des Treibhausgaspotentials und des Primärenergiebedarfs wurde das Grauwasserrecycling inkl. Wärmerückgewinnung, sowie die Urinseparation und Aufbereitung zu Dünger identifiziert. Die Einleitung von behandeltem (überschüssigem) Grauwasser kann das Eutrophierungspotential teilweise erheblich erhöhen.

AS B.2: Niederschlagswasser

Die Untersuchung von Technologien und Maßnahmen der Ressource Niederschlagswasser fokussierte sich auf die integrierte Bewirtschaftung blau-grüner Infrastrukturen im Quartier als System aus (i) blau-grünen Elementen, (ii) Speichern zur Regenwassernutzung sowie (iii) der Bewässerung.

Zur Untersuchung des *Systembausteins blau-grüne Infrastrukturen im urbanen Raum (i)* wurde das in AS A.2 genannte Modell „SWMM-UrbanEVA“ angewendet. Das Modell konnte im Rahmen des Projekts weitergehend für Modellierung urbaner Vegetation validiert und parametrisiert werden (Hörnschemeyer et al. 2021a; Hörnschemeyer und Uhl 2022). Eine Übertragung auf weitere Vegetationsformen wird in aktuellen Forschungsarbeiten untersucht.

In der Anwendung für unterschiedliche Gründachaufbauten in heterogenen klimatischen Bedingungen konnten maßgebliche Unterschiede im hydrologischen Verhalten festgestellt werden (Abbildung 4). Zu empfehlen ist demnach, die klimatischen Bedingungen bei der Nutzen-Abwägung sowie der Bemessung eines Gründachs zu beachten und eine Kosten-Nutzen-Betrachtung in die Entscheidungsfindung zu integrieren. Die Erkenntnisse konnten mit der Überarbeitung der Regressionsgleichung „Gründach“ ebenfalls in die Aktualisierung der im vorhergehenden Verbundvorhaben „SAMUWA“ (FK 033W004J) entwickelten Software „WasserbilanzExpert“ (DWA 2017) sowie in das Merkblatt (DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 2022) eingehen.

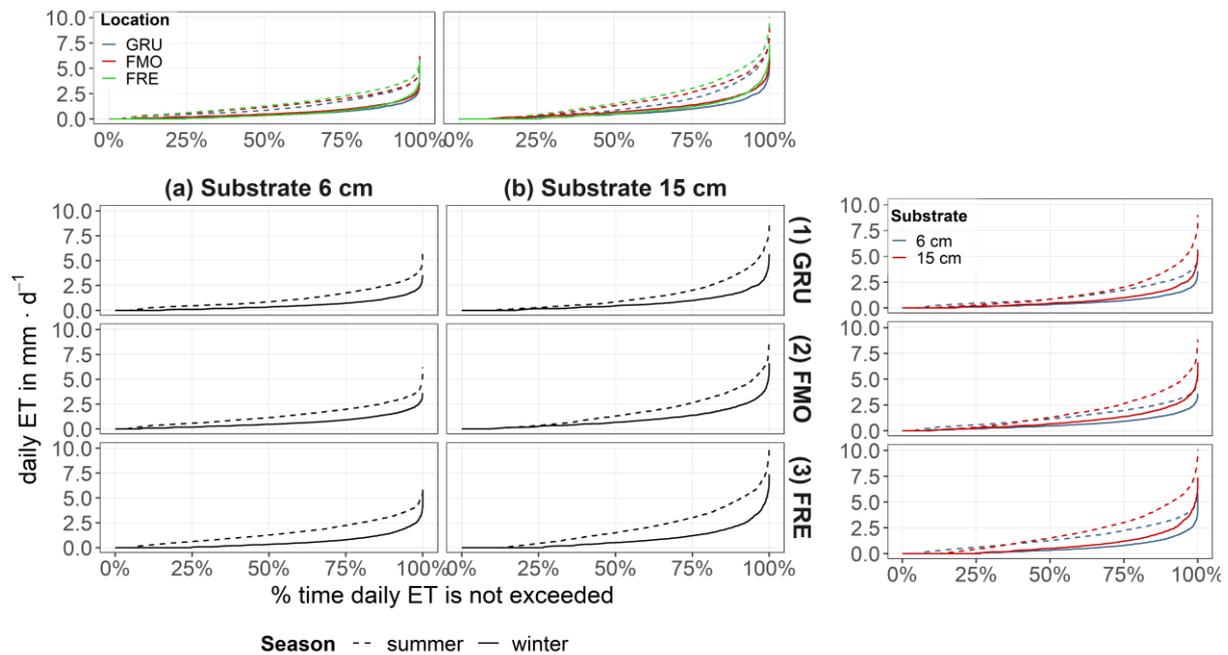


Abbildung 4. Unterschreitungslinien der täglichen Verdunstungshöhe zweier Gründächer (Substrathöhe 6 und 15 cm) unter drei klimatischen Randbedingungen mit geringer (GRU), mittlerer (FMO) und hoher (FRE) jährlicher Niederschlagssumme (Hörnschemeyer und Uhl 2021)

In den frühen Planungsphasen, in denen der RessourcenPlan wirkt, ist keine detaillierte Objektplanung nötig. Stattdessen sollte der Fokus auf die grundsätzliche Strategiefindung für den öffentlichen und privaten Raum gesetzt werden. Aus diesem Grund wurde das in AS A.2 genannte GIS-gestützte Verfahren zur Entscheidungsunterstützung in Abhängigkeit von städtebaulichen Strukturen entwickelt. Mit den damit aufgestellten Varianten konnten Maßnahmenkombinationen untersucht werden. Als zentrale Ergebnisse können zusammengefasst werden:

- Die Wasserhaushaltsbilanz verzeichnet bei der Einfamilienhausbebauung im IST-Zustand aufgrund des eher geringen Versiegelungsgrades geringe Abweichungen vom natürlichen, unbebauten Zustand. Die höchsten Potentiale zur Optimierung sind im Geschosswohnungsbau zu verzeichnen.
- Obwohl bei der intensiven Regenwasserbewirtschaftung ein höherer Aufwand bei der Umsetzung und Planung erforderlich ist, bildet sie fast in allen städtebaulichen Strukturen die Vorzugsvariante.
- Intensive Regenwasserbewirtschaftung bedeutet gleichzeitig auch die Implementierung von städtischem Grün. Dies verbessert nicht nur den Wasserhaushalt, sondern erhöht auch die Freiraumqualität durch eine gesteigerte Biodiversität und einer höheren Zugänglichkeit.
- Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass mithilfe der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung Überstauereignisse der Kanalisation maßgeblich vermindert und die Spitzenabflüsse knapp um die Hälfte reduziert werden können.

Zur Untersuchung des *Systembausteins blau-grüne Infrastrukturen im urbanen Raum (i)* mit Hinblick auf den Überflutungsfall wurden gekoppelte Kanalnetz- und Überflutungsberechnungen durchgeführt. Dafür wurde das Softwarepaket „Urbane Sturzfluten“ der itwh GmbH verwendet. Das Softwarepaket setzt sich aus einem 1D-Kanalnetzmodell, HYSTEM-EXTRAN, einem 2D-Oberflächenabflussmodell, HYSTEM-EXTRAN 2D und einem Modul zur Erstellung eines Geländemodells sowie zur Visualisierung, FOG bzw. FOG 2D zusammen.

Es wurde die Wirksamkeit unterschiedlicher Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen hinsichtlich der Verringerung des Überflutungsrisikos in den Quartieren evaluiert. Hierfür wurden Elemente der blau-grünen Infrastruktur, z. B. Gründächer, Retentionsdächer, Mulden, als Einzelmaßnahme sowie auch in Kombination betrachtet. Die daraus resultierenden Überflutungssimulationen wurden mit unterschiedlichen Niederschlagsbelastungen durchgeführt. Um intensive und außergewöhnliche Starkregenereignisse zu berücksichtigen, wurden Modellregen mit Wiederkehrzeiten von $T = 30$ a, $T = 50$ a und $T = 100$ a verwendet. Über die Ergebnisanalysen konnten Änderungen im Überflutungsrisiko quantitativ bestimmt werden und so zur Maßnahmenbewertung bzgl. des Überflutungsschutzes herangezogen werden.

Die Analysen stellen somit einen wertvollen Beitrag für die Maßnahmenempfehlung hinsichtlich einer integralen Quartiersplanung zur Verfügung. Insbesondere können Ausprägungen von potentiellen Überflutungswegen und -flächen beeinflusst werden, um negative Auswirkungen, wie z. B. Schäden an Gebäuden, zu minimieren. Die Ergebnisse können dem „Leitfaden RessourcenPlan“ entnommen werden.

Für den *Systembaustein Speicher (ii)* konnte für verschiedene städtebauliche Strukturen die bevorzugte Speicherstrategie (Ein-/ Mehrspeicherstrategie) identifiziert werden. Bewertungskriterien waren dabei die Bedarfsdeckung, die Leerstandsrate, die Speicherausnutzung, die Abflussminderung, das Überstauvolumen sowie die Kosten-Nutzen-Effizienz.

In einem weiteren Schritt wurde ein Bemessungsansatz für Regenwassernutzungsspeicher entwickelt. Der Ansatz geht zurück auf Massensimulationen mit 20-jährigen Messzeitreihen für Niederschlag und Verdunstung an 138 Klimastationen des Deutschen Wetterdiensts (DWD) und einer Variation von Bedarf und Speichervolumen je Regenwasser-Dargebot. Er ist somit deutschlandweit gültig und in Abhängigkeit der lokalen klimatischen Gegebenheiten anwendbar. Der Ansatz stellt eine bedarfsgerechtere Ergänzung zu gängigen Ansätzen, z.B. der DIN 1989-1 (2002), dar. Der Ansatz lässt sich zur Bemessung von Speichern über ein Excel-Tool anwenden.

Für den *Systembaustein Bewässerung (iii)* wurden darüber hinaus Strategien zur Bewirtschaftung der Speicher für die Bewässerung untersucht. Dazu wurden insgesamt 15 statische und dynamische Bewässerungsansätze hinsichtlich Verdunstung, Bodenfeuchteregime, Sickerwasserverluste, Wasserverbrauch und Nachspeisemenge bewertet. Die Ergebnisse zeigen,

dass die dynamische gegenüber der statischen Bewässerung stets zu bevorzugen ist, da der Wasserbedarf zielgerichteter gedeckt werden kann.

Zur Spezifizierung des Wasserbedarfs eines Quartiers wurden im Rahmen der o.g. beschriebenen Recherche zur Parametrisierung des Modells „SWMM-UrbanEVA“, s.g. „Crop-Coefficients“ ermittelt, die die vegetationsspezifische Verdunstungsleistung im Vergleich zur Grasreferenzverdunstung nach Allen et al. (1998) beschreiben und zur Ermittlung des Wasserbedarfs herangezogen werden. Die Bearbeitung wird im laufenden Promotionsvorhaben von Birgitta Hörnschemeyer (vgl. Kapitel 4.2) fortgeführt. In Kombination mit dem in AS C.1 beschriebenen GIS-gestützten Verfahren zur Detektion von Vegetationsflächen sowie den in (ii) beschriebenen Erkenntnissen zur bevorzugten Speicherstrategie bei verschiedenen städtebaulichen Strukturen, kann die Ermittlung des Wasserbedarfs im Quartier und die daraus folgende Allokation von Speichern stark vereinfacht werden.

Detaillierte Informationen zu den o.g. Untersuchungen können dem „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.2, sowie den genannten Publikationen entnommen werden.

Ergänzend wurden die Erkenntnisse in den Maßnahmensteckbriefen zusammengefasst. Darüber hinaus wurde in Zusammenarbeit von Wissenschaft und der Stadt Herne ein Leitfadensformat zur Beratung von Bürgern und Investoren zu blau-grünen Infrastrukturen erarbeitet. Es wird veröffentlicht im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.4.

In Zusammenarbeit mit der RWTH wurde zur Konzeption der GIS-basierten lokal-funktionalen Bewertung (vgl. AS A.3 und B.3) eine Flächenkategorisierung zur Darstellung des wasserwirtschaftlichen Flächenpotentials erstellt. Ein Überblick wird in Tabelle 3 zusammengestellt. Es erfolgt eine Zuordnung zu den drei Transformationszielen (i) natürlicher Wasserhaushalt, (ii) Minderung Gewässerbelastung sowie (iii) Überflutungsvorsorge. Die Funktionen werden abhängig von Eigenschaften der Kategorien Oberflächengestalt, Lage und Nutzung hergeleitet. Weitergehende Informationen können dem „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.2, entnommen werden.

Tabelle 3. Überblick über die aus geodatenbasierten Eigenschaften abgeleiteten flächen-spezifischen Funktionen (Hörschemeyer et al. 2021b)

Transformationsziel	Funktion	Oberflächengestalt				Lage			Nutzung			
		Befestigung	Vegetationstyp	Bewirtschaftungsmaßnahme	Sonnenexposition	Bodenart	Grundwasserflurabstand	Hangneigung	Flächennutzung	Verkehrsbelastung	Bewässerung	Anschluss Behandlungsanlage
Wasserhaushalt	Verdunstung	X	X	X	X	X					X	
	Grundwasserneubildung	X	X	X		X	X	X				
	Abfluss	X	X	X		X	X	X				
Minderung Gewässerbelastung	AFS ₆₃	X							X	X		
	gelöstes Zink	X							X	X		
	gelöstes Kupfer	X							X	X		
	PAK	X							X	X		
	Biozide	X										
	Nährstoffe	X	X						X	X		
Überflutungsvorsorge	Überflutungsminderung	X	X	X					X	X		
	Überflutungsrisiko	X	X			X	X	X	X			

AS B.3: Fläche/ Raum

Es ist notwendig, ein ganzheitliches Bewertungs- und Planungsinstrumentarium für die Flächen unserer Städte zu entwickeln, das nicht nur explizit anthropozentrische Funktionen von Flächen berücksichtigt. Das Instrument sollte diejenigen Funktionen einbeziehen, die nicht direkt und explizit, sondern in hohem Maße implizit für den Menschen von größter Bedeutung sind. Vor diesem Hintergrund wurde ein Bewertungsansatz erarbeitet, der die Funktionsverteilung von Flächen auf Quartiersebene gleichwertig, zielorientiert und wissenschaftsbasiert bewertet und Maßnahmen zur Behebung der sich ergebenden Defizite empfiehlt. Drei definierte Ansätze, die auf der bereits beschriebenen Definition der Ressourceneffizienz basieren, liegen diesem Bewertungsansatz zugrunde:

1. Wenn laut zugrunde gelegter Definition der Ressourceneffizienz diese dann vorliegt, wenn der größtmögliche Nutzen bei gleichzeitig möglichst geringem Ressourcenansatz erzielt wird, lässt sich für die *Ressource Fläche* ableiten, dass diese dann effizient verwendet wird, wenn sie für den Menschen von größtmöglichem Nutzen ist. Das ist dann der Fall, wenn sie aufgrund ihrer Eigenschaften über möglichst viele Funktionen verfügt, die dem Menschen explizit und implizit zugutekommen.
2. Für die allumfassende Betrachtung von Funktionen, die dem Menschen implizit und explizit zugutekommen, ist es notwendig, nicht nur die *primären Funktionen* zu betrachten, die der Mensch aktiv nutzt (Wohnflächen, Gewerbeflächen, Freizeitflächen, Verkehrsflächen), sondern auch die *sekundären Funktionen*, die keine Aktivität des Menschen notwendig macht. Diese umfassen einerseits die sich bereits Ende des 20. Jahrhunderts als Ökosystemdienstleistungen bezeichneten Funktionen von Fläche, die re-

gulierende, bereitstellende, unterstützende oder kulturelle Leistungen ohne des Menschen Zutun vollbringen. Ergänzend dazu können Flächen aufgrund ihrer Lage und Geometrie auch soziale und identitätsstiftende Funktionen übernehmen. Des Weiteren haben Flächen aufgrund ihrer Ausprägung ein Funktionspotenzial, das sich aufgrund ihrer Nutzungsoffenheit ergibt, aber ungeplant bleibt. Es handelt sich hierbei um Primärfunktionen, die sich aus einer Aneignung durch den Menschen und eine Zweckentfremdung heraus ergeben (*tertiäre Funktionen*), wie zum Beispiel die Nutzung eines Supermarktparkplatzes als Fahrradübungsplatz außerhalb der Geschäftszeiten. Diese drei Funktionsarten werden im Rahmen der Bewertungssystematik unterschieden.

- Als defizitäre Funktionen von Flächen, die die effiziente Verwendung der Ressource Fläche (kurz: Flächeneffizienz) steigern, werden solche Funktionen definiert, die positive Effekte auf die gegenwärtigen Transformationsziele haben. Somit wird die Aktualität der Bewertung gewährleistet. Untermauert werden diese Ziele durch Zielwerte aus sektoralen Ressourcenmodellierungen oder allgemein gültige wissenschaftliche Erkenntnisse. Auch diese werden durch neue wissenschaftliche Arbeiten fortgeschrieben und auch innerhalb der Bewertung ständig aktualisiert. Aus den sich hieraus ergebenden sektoralen Soll-Funktionen und den im Bewertungsgebiet festgestellten Ist-Funktionen ergibt sich das Defizit und die Handlungsempfehlungen und Maßnahmen.

Aus diesen drei Ansätzen ergibt sich die lokal-funktionale Bewertung von Quartieren, die in Abbildung 5 zusammengefasst wird.

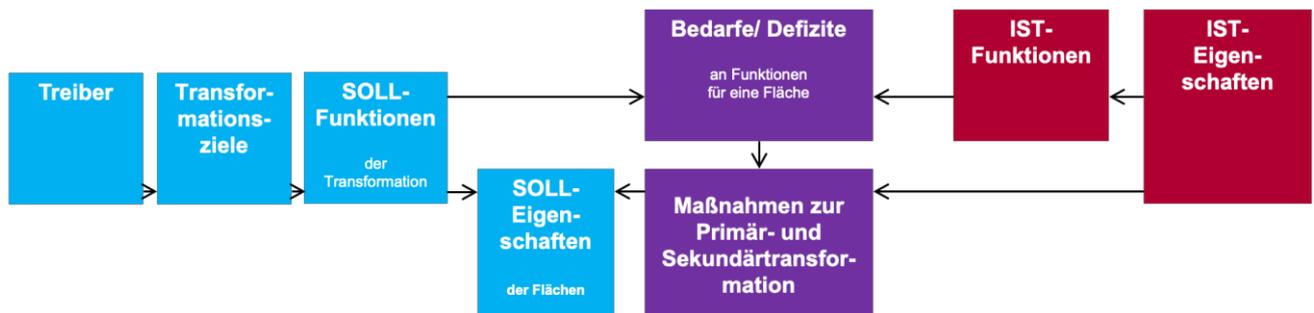


Abbildung 5. Funktionsskizze lokal-funktionale Bewertung

AS B.4: Stoffströme (Baustoffe)

Die Rohstoffanspruchnahme durch den Menschen steigt seit Jahren kontinuierlich an. Mittelfristig ist daher damit zu rechnen, dass die anthropogenen Materiallager, welche durch langlebige Konsumgüter und Bauwerke gebildet werden, eine unter ökologischen und ökonomischen Aspekten bedeutende Rohstoffquelle darstellen werden.

Während für Primärrohstoffe u.a. Datensätze für die Abbaustellen, Lagerstättenpotenzialräume und das Lagerstättenpotenzial existieren, fehlt diese Grundlage für Sekundärrohstoffe.

Hinzu kommt die Herausforderung, dass natürliche Lagerstätten eine hohe Konzentration einzelner Rohstoffe aufweisen, während das anthropogene Materiallager durch eine große Anzahl unterschiedlicher Ressourcen auf engstem Raum charakterisiert ist. Kommunen sind in der Regel nicht in der Lage, Aussagen über den Materialbestand zu treffen, was die Grundlage für ein effektives Stoffstrommanagement von Sekundärrohstoffen wäre.

Um das anthropogene Materiallager zur Schließung regionaler Stoffströme im Bausektor optimal nutzen zu können, bedarf es spezifischer, objektbezogener Informationen. Diese Informationen umfassen die Beschreibung:

- der Objekte
- der Materialien sowie
- des Raumbezugs.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden mehrere Datenbanken (zwei für den Gebäudereich und eine für die Kanalisation) als Grundlagen für die Erhebung anthropogene Materiallager in den Bereichen Gebäude und Kanalisation erarbeitet. Die Datenbanken beinhalten Baukonstruktionen, der unterschiedlichen Bereiche, mit einer spezifischen Massenzusammensetzung. Mit Hilfe von Objektattributen erfolgt eine Verknüpfung und Hochrechnung des Lagerbestands. In einem weiteren Schritt wurden zwei Quartiere in Herne exemplarisch berechnet. Der Ansatz einer Datenbank für die Straßen und Wege musste verworfen werden, da dieser sich als nicht zielführend erwiesen hat.

Mithilfe regionalspezifischer Daten und den erarbeiteten Datenbanken konnte das anthropogene Materiallager objektscharf abgeschätzt werden. Durch weitere Ergänzungen zu regionalen Besonderheiten kann die Aussagekraft der Hochrechnung weiter spezifiziert werden

AS B.5: Ressourcenübergreifende Aspekte

Im Rahmen des Projekts wurde eine Methodik entwickelt, mit der die Optimierung der Energieversorgung von Stadtquartieren möglich ist. Die Methodik wurde auf zwei Stadtquartiere in Herne erfolgreich angewandt. Die Reproduzierbarkeit und Transformation auf andere Stadtquartiere ist mit dem entwickelten Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) gewährleistet (Klemm et al. 2022a). Der SESMG ist ein Open Source Produkt und steht somit frei zur Verfügung. Die Anwendung und die Ergebnisse sind im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2.4, beschrieben (vgl. Kapitel 4.2).

Grundsätzlich können folgende Handlungen für das Energiesystemmanagement im Quartier empfohlen werden:

- Multikriterielle Planung (z. B. Kosten und Treibhausgasemissionen) durchführen;

- Gemeinsame Planung des Gesamtsystems (multisektoral, räumlich, Dimensionierung und Betrieb, etc.);
- Kosten- und Emissionsoptimierungen stehen nicht im Widerspruch bei der Planung urbaner Energiesysteme;
- Energiesystemmodellierung als Weiterentwicklung klassischer Planungsverfahren nutzen.

AS B.6: Innovative Fallbeispiele

Im gemeinsamen Austausch zwischen den Projektpartnern wurden fünf innovative Quartiere als Fallbeispiele gewählt, die unterschiedliche Aspekte des Ressourcenmanagements im Quartier adressieren. Sie wurden in übersichtlichen Steckbriefen zusammengefasst und dienen der schnellen Informationsfindung. Da aufgrund der Corona-Pandemie keine öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen stattfinden konnten, wurden die Formate nicht im Rahmen einer Bürgerbeteiligung erprobt. Stattdessen werden sie im „Booklet „Best-Practice““ im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.2, veröffentlicht (vgl. Kapitel 4.2).

2.3 Arbeitspaket C: Daten

Einführung

In AP C wurden Daten als Schnittstelle zwischen Methoden und Planung zusammengestellt und aufbereitet. Ergebnis ist eine detaillierte Zustandsbeschreibung der ausgewählten Quartiere als Planungsgrundlage für die weiteren Arbeitspakete sowie ein transferfähiges Konzept zum robusten Datenmanagement. Die Bearbeitung erfolgte dreiteilig in den Schritten der Datenakquise (AS C.1), der Treiberanalyse (AS C.2) sowie dem Aufbau eines Datenportals (AS C.3).

Ergebnisse

Die erarbeiteten Ergebnisse sind Informationen für die zentrale Schnittstelle von Methoden und Planung. Es wurden die kommunalen Datenbedarfe bei der Aufstellung des RessourcenPlans identifiziert, Erhebungsmethoden entwickelt bzw. angewendet und zentral zusammengefasst. Die Schaffung eines Datenportals als Schnittstelle zwischen den modularen Analysen stellt einen effizienten Austausch sicher.

AS C.1: Datenakquise

Im Rahmen des AS C.1 wurden die für die Bewertung der Ressourceneffizienz notwendigen Daten zusammengestellt, um davon ausgehend einen übertragbaren Datenrahmen für die Quartiersanalyse zu definieren.

Die Sammlung der Quartiersdaten erfolgte federführend durch die Stadt Herne. Der notwendige Datenbedarf für die in AP A genutzten Instrumente wurde identifiziert und mit dem Bestand abgeglichen. Falls notwendig, wurden Daten durch Ortsbegehungen oder Interviews erhoben. So konnten im Quartier Pantringshof bspw. Aspekte des Ressourcenmanagements in die regulär stattfindenden Quartiersbefragung integriert werden.

Zur Anwendung in der Siedlungswasserwirtschaft wurden Fernerkundungs-Verfahren aufbauend auf Object Based Image Analysis untersucht. Durch die Überlagerung mit Laser-Scandaten konnten Vegetationsflächen im städtischen Raum mit unterschiedlichen Höhen detektiert werden. Dies schließt eine Lücke im Bereich der kommunalen Datenverfügbarkeit und ergänzt Modelle der Siedlungswasserwirtschaft bis hin zu stadtklimatischen Modellen maßgeblich.

Darauf aufbauend wurden satellitengestützte Methoden zur Ermittlung der tatsächlichen Verdunstung erprobt und für den urbanen Anwendungsfall weiterentwickelt. Sie basieren auf dem METRIC model (Allen et al. 2007) sowie dem R-Package „water“ (Olmedo et al. 2016). In einem neu entwickelten R-Package „XmET“ werden die Methoden unter Nutzung von Sentinel-2 Satelliten-Daten so weiterentwickelt, dass die tatsächliche Verdunstung mit einer Auflösung von 10m, anstatt wie bisher üblich 30m, ermittelt wird (Abbildung 6). Die berechneten Daten können zur Identifikation von verdunstungsschwachen Hotspots und zur Allokation von blaugrünen Maßnahmen dienen. Sie ergänzen damit wasserhaushaltliche und stadtklimatische Betrachtungen und geben Planer*innen eine weitere Informationsgrundlage bei der Entscheidungsfindung. Hauptbearbeitungsgegenstand im Rahmen der Projektlaufzeit war die Methodenentwicklung und deren erste Validierung. Weitergehende Betrachtungen sind auch nach Projektende Forschungsgegenstand. Die Publikation des R-Package sowie der zugehörigen Forschungsergebnisse folgt.

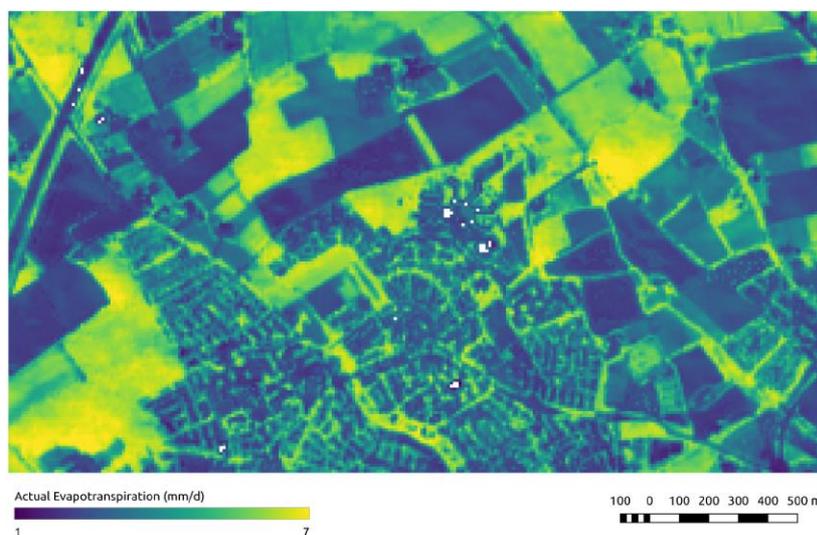


Abbildung 6. Darstellung der tatsächlichen Verdunstung mit einer Auflösung von 10 Metern

Für den Bereich Baustoffe wurde eine umfangreiche Datenakquise durchgeführt. So wurde für die Quantifizierung und Beschreibung der betrachteten Objekte (Gebäude, Straßen und Wege sowie Kanalisation) auf Geodaten zum Straßennetz, Kanalisationsnetz und Gebäudemodellen zurückgegriffen. Für die Beschreibung der Bauausführung und die Materialzusammensetzung wurde sowohl wissenschaftliche Literatur, Herstellerangaben sowie eigene Untersuchungen herangezogen. Weitere Informationen sind in den Ausführungen zu AS B.4 sowie im Baukonstruktionskatalog („Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.5) zu finden.

Für die Modellierung urbaner Energiesysteme wurde auf der Grundlage von wissenschaftlicher Literatur, Herstellerangaben, wissenschaftlichen Datenbanken und Experteninterviews eine umfangreiche Datensammlung erstellt. Diese wird seitens IEP fortlaufend betreut und aktualisiert und als Anhang den Modellergebnissen beigelegt. Die Datensammlung ist unter folgender Adresse abrufbar: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6974402>. Die für eine Modellierung notwendigen quartiersspezifischen Daten werden im Idealfall von den Kommunen bereitgestellt. Für den Fall, dass solche Daten nicht zur Verfügung stehen, wurden statistische und stochastische Verfahren zur Erhebung von Schätzwerten erarbeitet.

Trotz der Anwendung neuer Methoden, konnten nicht alle erforderlichen Datensätze bis zum Ende des Projekts erhoben werden bzw. flossen mit einer deutlichen zeitlichen Verschiebung in die jeweiligen Analysen ein. Als Gründe sind u.a. datenschutzrechtliche Fragestellungen, Corona-bedingte Einschränkungen im Arbeitsablauf, Personalverfügbarkeit im Bereich des Geodatenmanagements (IWARU-S) sowie hoher Erhebungsaufwand zu nennen. Falls nicht anders möglich, wurden Annahmen, statistische Eingabegrößen oder Vereinfachungen gewählt.

Zur Sicherstellung eines übertragbaren Verfahrens wurden die beschriebenen Daten hinsichtlich ihrer Zuordnung zu den Instrumenten (AP A) und den Indikatoren der Bewertungssystematik (AS A.3) präzisiert. Darüber hinaus wurde der Datenbedarf entsprechend der gängigen Verfügbarkeit und Komplexität weitergehend systematisiert. Als Produkt des Projekts wurde auf Grundlage dieser Aufstellung ein Katalog erarbeitet, der die notwendigen Daten zur Analyse und Bewertung der Ressourceneffizienz innerhalb eines Quartiers unter Zuordnung zu den Instrumenten und Indikatoren darstellt. Für den/die jeweilige/n Anwender*in lassen sich daraus fehlende, noch zu erhebende Datenbedarfe identifizieren sowie eine Verschneidung von Datenbeständen ableiten. Durch den Hinweis auf mögliche Bezugsquellen für die Daten wird zudem die Datenbeschaffung erleichtert und kostbare Zeit eingespart. Der Datenkatalog wird im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.1, veröffentlicht (vgl. Kapitel 4.2)

AS C.2: Analyse interner und externer Treiber der Quartiere

Zur Definition der Transformationsziele, aus denen die Soll-Werte für die systemisch-sektorale und die lokal-funktionale Bewertung resultieren, wird eine regelmäßige strukturierte Analyse der global wirkenden allgemeinen und bis ins lokale relevanten Transformationstreiber benötigt.

Zur Erhebung dieser Treiber wurden mehrere Methoden erarbeitet. Die globalen Treiber wurden mit Hilfe von Literaturrecherchen, vor allem in Dokumenten der UNO, der EU und der Bundesregierung bzw. den Ministerien durchgeführt. Hier werden meist sektoral, aber auch in ganzheitlichen Ansätzen, aktuelle Treiber beschrieben.

Die ortstypischen Treiber, die meist auf den globalen Treibern basieren und sich in spezifischer Art auf konkrete Herausforderungen vor Ort beziehen, wurden mit Hilfe mehrere Umfrage- und Recherchemethoden recherchiert:

- Leitfadengestützte Interviews bei Verwaltungsmitarbeitern aus der Stadt Herne;
- World Café-Veranstaltungen mit Mitgliedern von Politik und Verwaltung;
- Schlagwortsuche in Protokollen von Rats- und Ausschusssitzungen;
- Umfragen unter Bürgern, Stadtteillumfragen digital und schriftlich.

Aufgrund der Corona-Pandemie konnten die o.g. Methoden nur teilweise erprobt werden. Zu den Treibern wird ein Leitfaden veröffentlicht, in dem die Methodik und eine beispielhafte Aufstellung der Treiber für die Beispielquartiere in Herne dargestellt wird („Leitfaden Ressourcen-Plan“, Teil 3.1).

AS C.3: Datenportal für das Transformationsmanagement

Basierend auf dem in AS C.1 identifizierten Datenbedarf konnte ein klarer Schwerpunkt bei den Datenformaten im Bereich der Geodaten (GIS) identifiziert werden. Im Besonderen ist dies auch durch die Etablierung der lokal-funktionalen Bewertung innerhalb der Bewertungssystematik zu begründen, die als GIS-basierte, integrierte Bewertung die gemeinsame Schnittstelle der Geodaten deutlich hervorhebt. Im Projektkonsortium wurde darüber hinaus festgestellt, dass weitere Datenformate, wie Zeitreihen, nur sektoral angewendet werden, so dass der Mehrwert einer Verknüpfung solcher Datenformate innerhalb eines Datenportals als gering einzuschätzen ist.

Aus diesem Grund lag der Fokus bei der Bearbeitung des AS C.3 auf der Erstellung und Pflege eines übergreifenden Geodatenportals. Die Lösung wurde serverbasiert aufgesetzt. Der entwickelte Server bietet die Möglichkeit des Austausches der GIS-basierten Daten im Projekt. Dies betrifft die verschiedensten Input-Datensätze (Primär- sowie Sekundärdaten) sowie die Output-Datensätze der systemisch-sektoralen sowie lokal-funktionalen Bewertung. Die Daten

können im Browser betrachtet sowie als Web Feature Service (WFS) - und Web Map Service (WMS) in die Analysen eingebunden werden. Das Datenportal bietet Schnittstellen zu allen in AP A genannten Instrumenten und ist somit übergreifend und modular anwendbar.

Als Ergebnis des AS wurden, im Sinne der Übertragbarkeit, die in AP A entwickelten Instrumente als modulare IT-Tools, inkl. Anwendungsroutinen und -hilfen hinsichtlich der Datenroutine konzipiert. Schnittstellen zur Sicherstellung der Kombinierbarkeit auf GIS-Basis sind vorhanden. Mit dem Wissen zukünftiger Anwendungserfahrungen bietet sich mittelfristig die Entwicklung einer integrierten Softwarelösung an. Aufgrund der deutlich gestiegenen Daten-Komplexität, die auf die Erweiterung der Bewertungssystematik um Systemleistungen zurückgeht (AS A.3), war eine integrierte Programmierung innerhalb der Projektlaufzeit nicht möglich. Hinzu kam der teils frühe Entwicklungsstand der modularen Tools (u.a. bei den Ressourcen Baustoffe, Energie und Fläche), der weitergehende Anwendungserfahrungen und Optimierungen vor einer Umsetzung als Softwarelösung voraussetzt. Derzeit werden ergänzende Fördermöglichkeiten sondiert, die eine Optimierung und integrierte IT-Umsetzung der Instrumente ermöglichen würden.

2.4 Arbeitspaket D: Analyse und Bewertung

Einführung

In AP D wurde der IST-Zustand der Referenzquartiere eingehend analysiert und bewertet. Ergebnis ist eine Defizit- und Potenzialanalyse der Quartiere als Grundlage für die Szenarientwicklung.

Vorgehen

Die Analyse und Bewertung der beiden Quartiere erfolgte mithilfe der Instrumente aus dem AS A.2 nach dem Verfahren der Bewertungssystematik aus AS A.3. Zugrunde lagen die Erkenntnisse zu Technologien und Verfahren aus dem AP B. Eingangsgrößen waren die Daten sowie die Treiber aus AP C. Die Analyse sowie die Bewertung wurden in Anlehnung an Abbildung 3 zunächst systemisch-sektoral sowie lokal-funktionale Bewertung durchgeführt. Die Ökobilanz brachte weitergehende Erkenntnisse hinsichtlich der globalen Umwelteinwirkungen der Quartiersentwicklung. Da die Anwendung der integrierten Bewertungssystematik (AS D.2) auch sektorale Aspekte (AS D.1) beinhaltet, wurde auf eine separate Ausführung der beiden Arbeitsschritte verzichtet und ein Gesamt-Überblick erarbeitet.

Die Anwendung der Bewertungssystematik erfolgte zunächst als „Testlauf Bewertung“ für einen Quartiersausschnitt, um Bearbeitungsprozesse und Schnittstellen der Bewertung abzustimmen und zu optimieren. Die Erkenntnisse gingen rekursiv in den Konzeptionsprozess ein (AP A-C).

Anschließend erfolgte die eigentliche Analyse und Bewertung der beiden Referenzquartiere in den beiden Prozessschritten (i) systemisch-sektorale Bewertung und (ii) lokal-funktionale Bewertung.

Ergebnisse

In Tabelle 4 werden die maßgeblichen Erkenntnisse der systemischen-sektoralen und lokal-funktionalen Bewertung zusammengefasst. Die Ergebnisse stellen Defizite der Quartiere für alle Sektoren heraus und identifizieren Transformationspotentiale für die weitere Quartiersentwicklung.

Die detaillierten Ergebnisse sind im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2, dargestellt.

Tabelle 4. Ergebnisse der systemisch-sektoralen und lokal-funktionalen Analyse und Bewertung des IST-Zustands

Sektor	Genutzte Methoden/ Instrumente	Genutzte Indikatoren	Zusammenfassung Bewertung IST-Zustand (Defizite und Potentiale)
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> - Wasserhaushaltsbilanzierung - Vereinfachte Emissions-/ Immissionsabschätzung - 2D-Überflutungsmodellierung - Integrale Straßen- und Kanalsanierungsplanung 	<ul style="list-style-type: none"> - Wasserhaushalt - Emissionen AFS₆₃ - Immissionen Schwermetalle, Nährstoffe, Biozide, PAK und Phthalate - Überflutungsrisiko - Integrales Sanierungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> - Feststellung Defizit Verdunstung und Grundwasserneubildung, Überschreitung Abfluss - Überschreitung Immissionsgrenzwerte - Identifikation von Flächen mit erhöhtem Überflutungsrisiko - Identifikation von Potentialflächen mit integralem Sanierungspotential Straße/ Kanal
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> - Materialflussanalyse (MFA) - Massenbilanzierung - vereinfachte Ökobilanzierung mittels SAmPSONS2 	<ul style="list-style-type: none"> - Treibhausgaspotential, Primärenergiebedarf - Ressourcenrückgewinnung (Stickstoff, Phosphor) - Gewässeremissionen (CSB, Stickstoff, Phosphor) - Trinkwasserbedarf - Endenergiebedarf (thermisch, elektrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> - Im IST-Zustand wird die Ressource Schmutzwasser ungenutzt abgeleitet. Daher gibt es ein hohes Potential Wasser wiederzuverwenden, Ressourcen zurückzugewinnen und Abwasserwärme zu nutzen.
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Baustoffhaushaltsmodell / Ökobilanz 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialinanspruchnahme - THG-Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> - Im IST-Zustand werden die Materialien im anthropogenen Lager nicht für die Planung berücksichtigt. - Auch die Materialinanspruchnahme hat keine Relevanz in der Quartiersentwicklung. - Durch die Berücksichtigung des anthropogenen Materials könnte ein hoher Ressourcenschutz erzielt werden. -
Energie	<ul style="list-style-type: none"> - Spreadsheet Energy System Model Generator (Klemm et al. 2022) 	<ul style="list-style-type: none"> - Energiesystemkosten - THG-Emissionen - Endenergiebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufgrund fehlender Daten wurde angenommen, dass die Wärmeversorgung über Gasheizungen und die

			<p>Stromversorgung über den Netzbezug stattfindet.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Auffällig sind die hohen jährlichen CO₂-Emissionen und die alte Gebäudestruktur.
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> - Lokal-funktionale Bewertung 	<ul style="list-style-type: none"> - Betrachtet: Funktionen mit positiven Effekten auf Klimaanpassung, Gesundheits-, Natur- und Klimaschutz und Grunddaseinsvorsorge - Quartierbilanzen: Zielwerte aus sektoraler Bewertung (s. Wasser, Energie) und belegte Annahmen - Belange der Bauleitplanung nach §1 BauGB 	<ul style="list-style-type: none"> - Defizite/Potenziale 1. Klimaanpassung: Identifizierung von Entsiegelungspotenzial ohne Aufgabe der Primärfunktionen 2. Gesundheitsschutz: Potenziale zur Wohnnutzung an wenig belasteten Standorten, gewerbliche Umnutzung an belasteten Standorten, Potenziale für Fahrrad- und Fußgängerwege 3. Naturschutz: Potenziale zum Erhalt oder Wiedergewinnung einer Artenvielfalt v.a. von Vögeln - Grunddaseinsfunktionen: Potenzial für eine größere funktionale Mischung, kürzere Wege, Nahversorgung

2.5 Arbeitspaket E: Transformationsszenarien

Einführung

Im AP E wurden Entwicklungsstrategien für das Quartier festgelegt und darauf aufbauend der RessourcenPlan aufgestellt. Ergebnis ist ein Planungs- und Umsetzungskatalog (RessourcenPlan) für die Transformation des Quartiers mit Zielgrößen und Maßnahmenempfehlungen, die eine Überwachung und ggf. Adaption mittels Transformationsmanagement ermöglichen.

Ergebnisse

Untersuchung von Transformationsszenarien und Aufstellung des RessourcenPlans

Analog zu AP D erfolgte die Aufstellung des RessourcenPlans in Anlehnung an die in AS A.3 entwickelte Bewertungssystematik. Ausgehend von den in AP D festgestellten Defiziten und Potentialen wurden Planungsvarianten mit dem Ziel der Erhöhung der Ressourceneffizienz erarbeitet, integriert bewertet und in einem rekursiven Prozess optimiert. So konnte ein Planungs- und Umsetzungskatalog identifiziert werden, der zur größten Ressourceneffizienzsteigerung führt. Er inkludiert Maßnahmenempfehlungen und planerische Zielgrößen. Die Bearbeitung erfolgte in den Verfahrensschritten (i) systemisch-sektorale Bewertung, (ii) Aufstellung systemisch-sektoraler RessourcenPlan, (iii) lokal-funktionale Bewertung, (iv) Ökobilanz und (v) Aufstellung RessourcenPlan.

Die Betrachtungen beinhalteten verschiedene Entwicklungsschritte und -szenarien, um einen Möglichkeitsraum der Quartiersentwicklung aufzuspannen. Eine Auswertung der bisherigen

Entwicklungsszenarien der Stadt Herne ergab als gemeinsames Entwicklungsziel aller Sektoren die Minimierung des Treibhausgaspotentials. Alle weiteren Entwicklungspfade und -szenarien wurden entsprechend den sektoralen Schwerpunkten für die jeweiligen Bewertungsstränge separat definiert.

Die Ergebnisse der *systemisch-sektoralen Planung* sind unter Angabe der betrachteten Entwicklungspfade und -szenarien in Tabelle 5 zusammengefasst. Für die Transformation der Quartiere werden verschiedene Maßnahmen(pakete) vorgeschlagen. Ergänzend können planerische Zielgrößen eine Orientierung in frühen Planungsphasen sowie bei der Entscheidungsfindung bieten. Die Maßnahmen werden in einem systemisch-sektoralen Ressourcen-Plan (Abbildung 7) zusammengefasst, der die Maßnahmen der einzelnen Bewertungsstränge räumlich verortet und auf Synergien und Zielkonflikte untersucht.

Tabelle 5. Maßnahmenempfehlungen und Zielgrößen zur Aufstellung des RessourcenPlans

Sektor	Betrachtete Entwicklungspfade und -szenarien	Maßnahmenempfehlungen	Planerische Zielgrößen
Systemisch-sektorale Bewertung			
Niederschlagswasser	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung Niederschlagscharakteristik - Entwicklung Temperatur - Entwicklungsziel Treibhausgaspotential 	<ul style="list-style-type: none"> - Allokation von blau-grünen Infrastrukturen im öffentlichen Raum - Abkopplung von privaten Flächen durch Versickerungsmaßnahmen - Regenwassernutzung im privaten Raum zur Bewässerung - Dezentrale Behandlung der Straßenabflüsse - Lokale Maßnahmen Überflutungsvorsorge 	<ul style="list-style-type: none"> - Versiegelungsgrad - Abkopplungsgrad - Verbot von Metallächern und schadstoffbelasteten Dachimprägnierungen/ Fassadenanstrichen
Schmutzwasser	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion des Treibhausgaspotentials und des Primärenergiebedarfs - Maximale Nutzung der Ressource Schmutzwasser 	<ul style="list-style-type: none"> - Umsetzung von Grauwasserrecycling mit Wärmerückgewinnung - Urinseparation und Aufbereitung zu Dünger (Aurin) 	<ul style="list-style-type: none"> - Umsetzung der Stoffstromtrennung für größere Gebäudekomplexe mit >35 bzw. >50 Einwohnern
Baustoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Schrittweise Senkung der Inanspruchnahme von Primärrohstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> - Verbesserung der Datenlage durch Digitalisierung des Bestands - Dokumentation beim Bau - Verlängerung der Nutzungsdauer - Beschränkung des Neubaus 	<ul style="list-style-type: none"> - CO₂-Emissionen - Rohstoffinanspruchnahme pro Person - Kreislaufführung der Materialien
Energie	<ul style="list-style-type: none"> - Schrittweise Reduktion der jährlichen Emissionen des Stadtquartiers 	<ul style="list-style-type: none"> - Großes Photovoltaik-Potential zur Reduktion von Kosten und Emissionen nutzen - Sanierungsmaßnahmen durchführen, um den Wärmebedarf zu senken - Nach durchgeführten Sanierungsmaßnahmen Gasheizungen durch Wärmepumpen ersetzen 	<ul style="list-style-type: none"> - Volkswirtschaftliche Kosten - THG-Emissionen
Lokal-funktionale Bewertung			
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> - Klimaschutz - Klimaanpassung - Naturschutz (Artenschutz, Ökosystemschutz usw.) - Gesundheitsschutz - Daseinsvorsorge 	<ul style="list-style-type: none"> - Unter anderem (Auszug) - CO₂-Bindung fördern durch heterogene Baumbepflanzung - Konnektivität zwischen Grünflächen (Mitte-Park) fördern, heterogene Vegetation - Kühleffekte in der grünen Mitte ermöglichen, Schadstoffe puffern oder filtern - Nutzungsmischung fördern, defizitäre Nutzungen (kleinteiliges Gewerbe, Nahversorgung, Handwerk) ergänzen, Wohnungsangebot (Geschosswohnungsbau, Baugruppen, Genossenschaften), vielfältiger machen 	<ul style="list-style-type: none"> - Versiegelungsgrad - Baumbestand. inkl. Baumart (Standorte prüfen) - Nutzungsmonitoring - Artenvielfalt dokumentieren - Verbundenheit von Grünflächen - uvm.

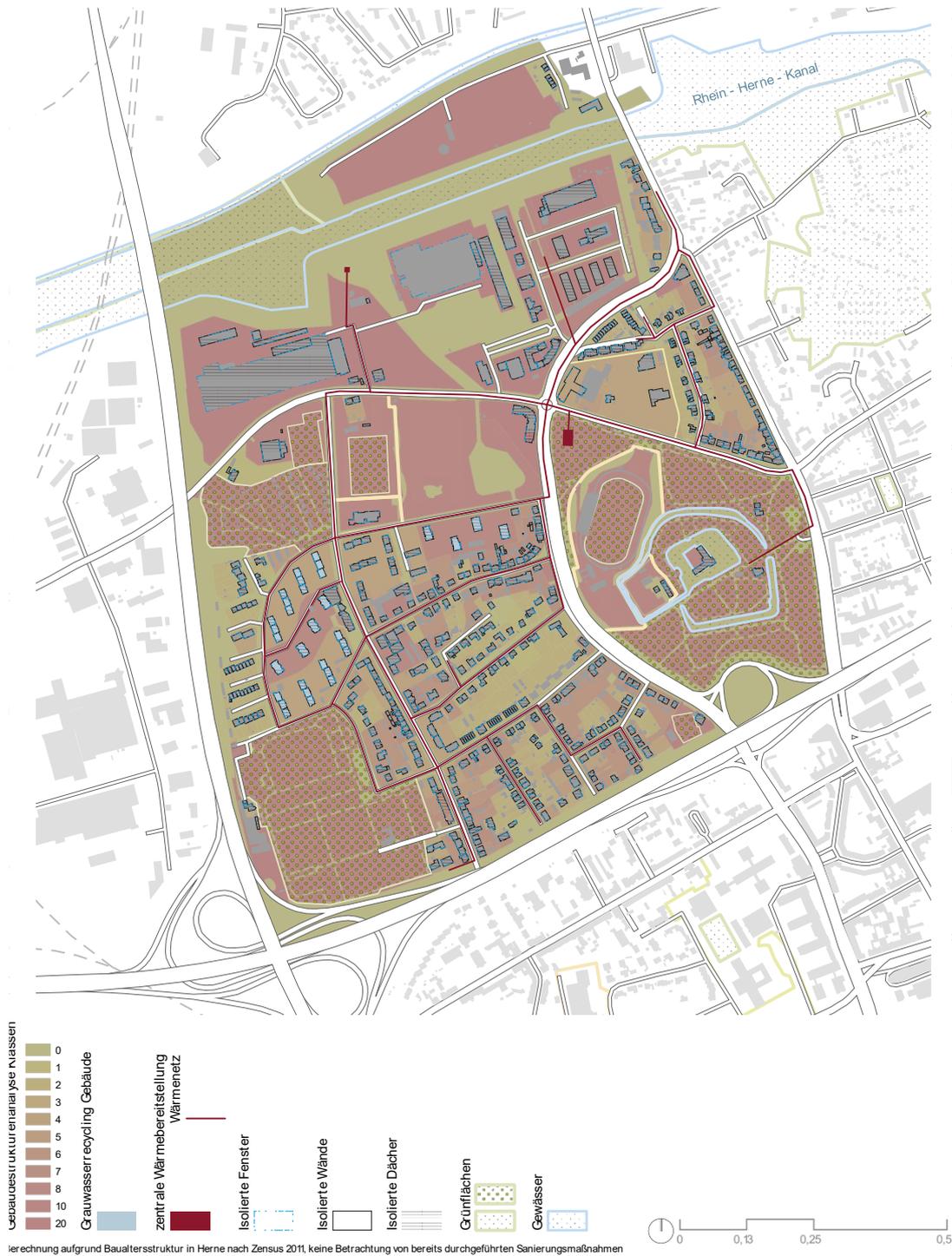


Abbildung 7. Systemisch-sektoraler RessourcenPlan

Die sektoralen Erkenntnisse gingen als Grundlage in die *lokal-funktionale Bewertung* ein. Vor allem handelte es sich dabei um Zielwerte betreffend das Niederschlagswasser und die Energie, da auf deren effiziente Verwendung die Flächengestaltung und somit ihre -funktion einen erheblichen Einfluss hat. Neben den sektoralen Belangen, die sich im Rahmen der ressourcenspezifischen Untersuchungen im Projekt ergaben, wurden weitere sektorale Zielfunktionen in die lokal-funktionale Bewertung eingebracht. Die benötigten Zielfunktionen ergaben sich aus

der Festlegung der gegenwärtigen Transformationsschwerpunkte Klimaschutz, Klimaanpassung, Naturschutz, Gesundheitsschutz und Grunddaseinsvorsorge. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Tabelle 5 zusammengefasst.

Die *ökobilanzielle Auswertung* lieferte weitergehende Ergebnisse zu den ökologischen Auswirkungen von Technologien zur Bewirtschaftung der Ressourcen Niederschlagswasser, Abwasser und Energie entlang der Lieferketten.

Die Ökobilanz der Regenwasserszenarien identifizierte, dass die Abkopplung eines Teils des Kanalsystems, inklusiver zentraler Bewirtschaftung, in den meisten Wirkungskategorien zu einer Steigerung der Umweltauswirkungen führt. Allerdings sind potentiell positive Auswirkungen der Regenwasserbewirtschaftung für die menschliche Gesundheit, wie die Verdunstung und eine erhöhte Aufenthaltsqualität, nicht in der Ökobilanz berücksichtigt. Es bleibt somit planerisch abzuwägen, welche Planungsvariante vorzuziehen ist.

Die ökobilanzielle Analyse der verschiedenen Abwasserszenarien zeigte auf, dass es bei den betrachteten Technologien zu Zielkonflikten zwischen verschiedenen Umweltauswirkungen kommt: Während die Wärmerückgewinnung und Grauwassernutzung den Energieverbrauch und die damit einhergehenden Treibhausgasemissionen reduziert, erhöht sich die Eutrophierung durch die Einleitung von Grauwasser in Oberflächengewässer. Die Ergebnisse für die Trenntoilette – ein elementarer Bestandteil der Szenarien – hängen von der Qualität des zurückgewonnenen Düngers und der Nährstoffe ab.

Die Optimierung der Energiemixe zeigte das größte Potential, um Treibhausgasemissionen des Quartiers zu senken (Quest et al. 2022). Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Batteriespeicher nicht überdimensioniert werden, da sie mit einer hohen Umweltlast verbunden sind, die die Einsparungen durch den angepassten Energiemix wieder kompensieren könnte.

Basierend auf den ökobilanziellen Untersuchungen konnten Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die in Tabelle 6 aufgeführt sind.

Aus allen vorgestellten Erkenntnissen konnte in einem rekursiven Abwägungsprozess die bevorzugten Planungsvarianten für die beiden Quartiere festgelegt werden. Sie wurden in einem vorläufigen RessourcenPlan zusammengefasst. Dieser stellt die Grundlage für die nun folgenden interkommunalen Umsetzungsprozess dar.

Die detaillierten Ergebnisse sind im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 2, dargestellt.

Tabelle 6. Handlungsempfehlungen zur nachhaltigen Quartiersentwicklung

Handlungsfeld	Empfehlung
Niederschlagswasser	Für dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen ergeben sich höhere Umweltauswirkungen im Vergleich zu zentralen Regenwasserableitung über das Kanalsystem. Die Treibhausgasemissionen sind aber für die dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen insgesamt eher gering. Eine Ausnahme bilden Maßnahmen, die einen hohen Stromverbrauch haben, z.B. die Verwendung von Pumpen. Auf diese sollte zugunsten des Klimaschutzes verzichtet werden. Die Abwägung der Ziele Klimaschutz und Klimaanpassung bleibt Aufgabe der Planenden.
Schmutzwasser	Das Grauwasserrecycling, inkl. Wärmerückgewinnung, zeigt ein deutliches Potential zur Reduktion des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen auf. Allerdings kann die Grauwasserbehandlung mit Wärmerückgewinnung zur Eutrophierung beitragen, wenn das behandelte überschüssige Grauwasser direkt ins Gewässer geleitet wird. Dieser Zielkonflikt kann vermieden werden, wenn das überschüssige Grauwasser in das Kanalsystem geleitet wird. Ob die Rückgewinnung von Nährstoffen aus Urin ökobilanziell positiv ist oder nicht, hängt davon ab, wieviel mineralischer Dünger ersetzt werden kann. Können keine Abnehmer dafür gefunden werden, stellt die Rückgewinnung von Nährstoffen aus Urin eine zusätzliche Umweltbelastung dar.
Energie	Die Ökobilanz zeigte, dass die lokale Gewinnung von Solarstrom der Nutzung von Netzstrom vorzuziehen ist. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass mögliche Batteriespeicher nicht überdimensioniert werden.
Baustoffe	Die Höhe der Treibhausgasemissionen pro Person im Quartier steht im direkten Zusammenhang mit der Materialanspruchnahme. Um weitere Treibhausgasemissionen zu vermeiden, sollte hinsichtlich der Baustoffe der Bestand so lange wie möglich genutzt werden. Ein wichtiger Aspekt ist auch die Digitalisierung bzw. Dokumentation der materiellen Zusammensetzung der Objekte/ Bauwerke.

Partizipation im Quartier

Die Partizipation begleitete das Vorhaben im Austausch mit unterschiedlichen Stakeholdern. Im Jahr 2019 wurde ein Auftaktworkshop aller Projektbeteiligten durchgeführt. Das Ziel war es, das Rollenverständnis zwischen den Partnern des Verbundprojektes und den Vertretern der für den RessourcenPlan relevanten Verwaltungseinheiten der Stadt Herne zu schärfen. Des Weiteren wurde das informelle Werkzeug RessourcenPlan im Hinblick auf die Anforderungen der kommunalen Planungspraxis grundsätzlich im Sinne einer Zieldefinition geprüft, und eine erste Organisations- und Zustandsanalyse und Aufgabenstellung gemeinsam mit örtlichen kommunalen Fachleuten durchgeführt.

Im Jahr 2020 war aufgrund der pandemischen Situation eine Öffentlichkeitsbeteiligung von Bürger*innen nicht wie geplant möglich, so dass ein s. g. „World-Café“ sowie der Austausch mit Bürger*innen auf Stadtteilstellen nicht durchgeführt werden konnten. Die konzeptionelle Erarbeitung des RessourcenPlans erforderte darüber hinaus einen intensiveren fachlichen

Austausch als ursprünglich geplant (AS A.2). Aus diesem Grund wurde sich im Konsortium darauf verständigt, das komplexe Thema Ressourceneffizienz in Bezug auf Beteiligung auf der Fachebene zu halten, um damit einen zielgruppengerechteren Ansatz zu gewährleisten. Neben dem Austausch der Mitarbeiter*innen der Stadt Herne wurde dazu die Beteiligung der assoziierten Kommunen (AS F.2) intensiver als ursprünglich geplant gestaltet.

Für die spätere Anwendung der Werkzeuge und die Umsetzung von Maßnahmen des RessourcenPlans wurden dabei Empfehlungen für die breitere Öffentlichkeitsbeteiligung mitgedacht und im „Leitfaden RessourcenPlan“, Teil 3.6, zusammengefasst.

Bewertungsmatrix der Technologien

Aus den Erkenntnissen des AP B und E konnten Bewertungen der Technologien vorgenommen sowie die Kombinationsfähigkeit untersucht werden. Die Ergebnisse wurden in die Maßnahmensteckbriefe (AP B) integriert.

2.6 Arbeitspaket F: Transfer

Einführung

Ergebnis ist die umfassende Verbreitung gewonnener Erkenntnisse und Anregungen/ Anleitungen zur Initiierung neuer Projekte zum Ressourcenmanagement. Die entwickelten Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz werden gemäß RessourcenPlan mittels eines Reallabors in beiden Quartieren umgesetzt und zentral koordiniert. Neben der Supervision vor Ort und der Begleitung der Umsetzung von entwickelten Maßnahmen könnte ein Reallabor (living lab) der Vernetzung der beteiligten Ämter und Akteure und dem Verbreiten von Informationen unter den Bürgern dienen.

Ergebnisse

AS F.1: Transfer innerhalb der Stadt

Zur Schaffung von Akzeptanz für den RessourcenPlans innerhalb der Kommune und zur Sicherstellung einer integrierten Verankerung des RessourcenPlans in die kommunalen Strukturen fanden in regelmäßigen Abständen projektbegleitende Sitzungen bei der Stadt Herne statt. Teilgenommen haben die Projektbearbeiter sowie Entscheidungsträger aus den einzelnen Fachbereichen. Je nach Format und Besprechungsinhalt nahmen die Projektpartner der Hochschulen und die Praxispartner an diesen Gesprächen teil.

In den Sitzungen wurden zum einen Projektinhalte vermittelt, diskutiert und spezifische Abfragen zu einzelnen Produkten aus dem Projekt eingespielt. Aufgrund der großen Relevanz die-

ses Austauschs wurde das Format über den gesamten Projektzeitraum durchgeführt. In Richtung Projektende wurden vermehrt Einzelgespräche mit Entscheidungsträgern aus unterschiedlichen Fachbereichen zu ressourcenspezifische Anliegen geführt.

Einen gemeinsamen Abschluss im Sinne eines „Aufbruch-Workshop“ für das Ressourcenmanagement in der Stadt Herne fand das Projekt bei einer Vorstellung der Projektergebnisse im Mai 2022. Teilnehmer waren Mitarbeiter der Projektpartner sowie weitere Entscheidungsträger aus den einzelnen Fachbereichen der Stadt Herne. In der Folge wird ausgehend von den Initiativen des Projektes das Themenfeld „Ressourcenmanagement im Quartier“ in den Gremien und Prozessen der Stadt Herne etabliert. Die Bearbeiter aus der Wissenschaft bleiben Ansprechpartner für die Stadt Herne. Konkrete Folgeprojekte für einzelne Themenfelder wurden bereits angestoßen.

AS F.2: Transfer zu assoziierten Partnern

Der Austausch mit den assoziierten Kommunen hatte zum Ziel, den Transfer der Projektergebnisse in die Praxis zu stärken sowie die Praktikabilität und Übertragbarkeit der Methoden und des RessourcenPlans zu sichern. Gleichzeitig konnten die assoziierten Kommunen Projektideen für eigene Transformationsvorhaben generieren.

Für die Auswahl der Kommunen wurden im Vorfeld die folgenden Kriterien festgelegt:

- Stadtgröße, Einwohnerzahl, Einwohnerdichte, Demografie (Schrumpfung/Expansion)
- Wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Entwicklungspotenzial und -Engagement
- Heterogene, häufig vorkommende Siedlungsstrukturen
- konkrete durchgeführte oder geplante Transformationsprojekte
- Erfahrungen mit (i) mindestens einem Teilthema, (ii) partizipativen Prozessen, (iii) Transformationsprojekten, (iv) F/E-Projekten
- Strahlwirkung auf Umlandkommunen

Auf dieser Basis konnten acht Kommunen (Bergheim, Bottrop, Düren, Essen, Heek, Iserlohn, Limburg, Nordwalde) für den Austausch gewonnen werden. Es handelt sich um Gemeinden von ca. 8.000 Einwohnern bis hin zu Städten mit knapp 600.000 Einwohnern. Die jeweiligen Mitarbeiter haben Aspekte unterschiedlicher Verwaltungsstrukturen, eigene thematische Schwerpunkte und Erfahrungen aus kommunalen Projekten in den Diskussionsprozess eingebracht.

Im Jahr 2021 wurden vier Online-Workshops mit folgenden thematischen Schwerpunkten durchgeführt:

- Konzeption RessourcenPlan
- Konzeption Bewertungssystematik

- Kommunale Herausforderungen
- Kommunale (Planungs-)Werkzeuge
- Planungskommunikation
- Interdisziplinäre Zusammenarbeit
- Best-Practice-Beispiele

Zentrale Ergebnisse waren:

- Der RessourcenPlan kann sinnvoll dazu beitragen, das Ressourcenmanagement im Quartier langfristig effizient zu gestalten.
- Aufgrund sehr heterogener Verwaltungsstrukturen ist eine kommunal individuelle Einbindung der Festsetzungen des RessourcenPlans in den verschiedenen formellen und informellen Instrumenten zu bevorzugen.
- In der Anwendung soll sich der RessourcenPlan nach Möglichkeit in vorhandene Strukturen einfügen und möglichst unkompliziert anwendbar sein.
- Die Schaffung eines „kommunalen Kümmerers“, der Querstrukturen schafft, ist sinnvoll.
- Große Hemmnisse für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit sind vielschichtige Verwaltungsstrukturen und ein gehemmter Aufbau von Querstrukturen („Befürchtung von Mehrarbeit“).
- Die Durchsetzungskraft von Planungsentscheidungen kann maßgeblich erhöht werden, wenn (i) Argumentationsgrundlagen klar, aber vereinfacht dargestellt werden können (z.B. Punktesysteme, CO₂-Abdruck) und (ii) alle Stakeholder, von Bürger bis Politik im Entscheidungsprozess informiert bzw. integriert werden.

Die Erkenntnisse aus den Workshops wurden rekursiv in die Konzeption des RessourcenPlans sowie der Instrumente (AP A) eingespielt.

AS F.3: Transfer nach Extern

Die seitens der beteiligten Partner veröffentlichten und geplanten Publikationen in Fachjournalen und Vorträge auf nationalen und internationalen Konferenzen sind in Kapitel 4.2 und 5 aufgelistet. Corona-bedingt wurden einige Konferenzen abgesagt, für die eine Publikations-Zusage vorlag. Sie werden hier nicht weiter gelistet werden. Neben den wissenschaftlich ausgerichteten Publikationen wird der „Leitfaden RessourcenPlan“ mit seinen ergänzenden Produkten (Kapitel 4.2) eine anwenderorientierte Einführung in das Ressourcenmanagement im Quartier geben. Der Leitfaden sowie die weiteren Produkte werden auf der Projekthomepage einsehbar sein. Die wissenschaftlichen und anwenderorientierten Projektergebnisse wurden darüber hinaus bei einem öffentlich zugänglichen Online-Workshop im Mai 2022 präsentiert.

Die akademische Weiterbildung an den Hochschulen stellt kontinuierlich den Transfer des Stands der Wissenschaft sicher und bildet somit eine wichtige Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis. Aus diesem Grund wurden bereits Teilaspekte des Projekts in Lehrveranstaltungen integriert, wie in Kapitel 4.4 ausgeführt wird.

An den drei von ReQ+ initiierten Querschnittsthemen haben mehrere Projektmitglieder aktiv mitgewirkt. Die Mitarbeiter*innen wurden jeweils entsprechend den geforderten fachlichen Schwerpunkten gewählt. Hervorzuheben seien an dieser Stelle (i) die Übernahme der Themenverantwortlichkeit im Querschnittsthema Bewertung/ Indikatoren seitens Prof. Uhl, (ii) die Initiierung und Mitwirkung der Clustergruppe Wasser zur Systematisierung wasserwirtschaftlicher Indikatoren, (iii) die Mitarbeit bei der Erarbeitung der DIN SPEC 91468 "Leitfaden für ressourceneffiziente Stadtquartiere" und des Informationsmoduls sowie (iii) diverse weitere bilaterale Austauschformate.

2.7 Arbeitspaket K: Koordination

Die Projektkoordination war für „Projekttreffen und Vernetzung“, „Kommunikation und Außendarstellung“ und „Projektfortschrittskontrolle“ verantwortlich. Die einzelnen Tätigkeiten wurden in den Zwischenberichten von 2019, 2020 und 2021 detailliert aufgeführt.

3 Projektzusammenfassung und Ausblick

Folgende wichtigsten Kernbotschaften fassen das Projekt zusammen:

Ressourcenmanagement im Quartier

Das Ressourcenmanagement im Quartier ist als Daueraufgabe in die kommunalen Strukturen zu integrieren. Neben den fachlichen Anforderungen der unterschiedlichen Disziplinen sind die Interessen verschiedenster Stakeholder (u.a. Planer*innen, Politik, Investor*innen, Bürger*innen) in die Abwägungen einzubinden. Zur erfolgreichen Umsetzung eines effizienten Ressourcenmanagements im Quartier müssen bestehende Strukturen aufgebrochen werden. Abwägungen müssen im interdisziplinären Rahmen durchgeführt werden. Planungsinstrumente und deren Ergebnisse können als Argumentationswerkzeug die Entscheidungsfindung vereinfachen. Die verbindliche Umsetzung der Transformationsplanungen schafft dabei Klarheit und Durchsetzungskraft.

Der RessourcenPlan als integriertes Planungsinstrument zur Förderung der effizienten Ressourcennutzung im Quartier

Der RessourcenPlan kann in Kommunen eingesetzt werden, um die Ressourcennutzung im Quartier zu bewerten, Transformationsstrategien zu erarbeiten und rechtlich verbindlich umzusetzen. Mit seinen beiden Anwendungsstufen als (i) planerisches und als (ii) rechtliches Instrument deckt er die kommunalen Entwicklungsstufen der Strategieentwicklung, rechtlich verbindlicher Verankerung und Entscheidungsfindung vollständig ab. Für das Bewertungsinstrument wurden mehrere Bewertungsstränge definiert, die modular angewendet werden können. Für die beiden Quartiere konnte mit den entwickelten Methoden der Stand der Ressourceneffizienz bezogen auf die im Projekt betrachteten Ressourcen Wasser, Baustoffe und Energie, sowie untergeordnet Luft, Nährstoffe und Biodiversität im Quartier offengelegt, Potenziale der Transformation sichtbar gemacht und Maßnahmenoptionen für verschiedene Transformationsszenarien zur Verfügung gestellt werden. Für diese inhaltlichen Ziele des RessourcenPlans wurden für die vielfältigen, spezifischen Ausgangslagen Möglichkeiten der rechtlichen Umsetzung aufgezeigt, die die Umsetzung der notwendigen Maßnahmen möglich machen. Der Planungsansatz RessourcenPlan steht weiteren interessierten Kommunen zur Anwendung zur Verfügung. Die Übertragbarkeit wurde während der Entwicklung sichergestellt. Die mit dem Ansatz RessourcenPlan verfolgte ganzheitliche Betrachtungsweise von komplexen Sachverhalten ermöglicht im kommunalen Alltag erstmalig eine skalierbare ressourcenübergreifende Darstellung von Synergien und Zielkonflikten im Quartierskontext. Durch die (i) Bereitstellung von Instrumenten zur Bewertung der Ressourceneffizienz, (ii) einer hierauf aufbauenden Strategieentwicklung, (iii) die Vermittlung durch bereitgestellte Informationsmedien und die transparente Ergebnisdarstellung sowie (iv) durch einfache Erfolgskontrollen, werden eine

Verbesserung des Akzeptanzprozesses bei verschiedenen Adressaten (Bürger, Politik, Investoren, Verwaltung etc.) erzielt und gleichzeitig Hemmnisse abgebaut.

Notwendigkeit der integrierten Betrachtung von lokalen und globalen Auswirkungen des Ressourcenmanagements im Quartier

Die bisher meist fachspezifische Betrachtung von Sektoren insbesondere Ressourcen trifft im urbanen Raum an ihre Grenzen. Die alles tangierende Struktur von Stadt benötigt einen trans- und interdisziplinären Ansatz, um aus systemischer Ebene ein größtmögliches Ineinandergreifen und Verschneiden von Ressourcenprozessen zu ermöglichen. Dabei besitzt jeder der im Projekt betrachteten Ressourcen eigene Berührungspunkte und Synergien, die im Folgenden erläutert werden.

Ressourcenmanagement Schmutzwasser

Ressourcenorientierte Sanitärsysteme können einen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Stadtquartieren durch eine Reduzierung der Umweltwirkungen von Abwasserinfrastrukturen und deren Betriebsoptimierung beitragen. Das Treibhausgaspotential und der Primärenergiebedarf können besonders durch das Grauwasserrecycling mit Wärmerückgewinnung und die Urinaufbereitung zur Düngemittelproduktion gesenkt werden. Die Urinseparation im Einzugsgebiet wirkt sich zusätzlich positiv auf den Betrieb von Kläranlagen wie bspw. der Verringerung des elektrischen Energiebedarfs und der Gewässeremissionen aus.

Ressourcenmanagement Niederschlagswasser

Die Ressource Niederschlagswasser muss im Kontext mehrerer Fachdisziplinen integriert betrachtet werden. Wasserwirtschaftliche Langzeitstrategien geben den Planern eine gute Orientierung (i) für die Maßnahmenwahl sowie (ii) für die Einschätzung der Zielerreichung. Die Entwicklung solcher Strategien ist mit vereinfachten wasserwirtschaftlichen Analysen möglich. Aus den einzelnen Fachanalysen ergaben sich außerdem folgende Erkenntnisse: (i) Wasserhaushalt: Die Planung sollte stets individuell auf den lokalen Wasserhaushalt abgestimmt werden. Pauschalkonzepte gibt es nicht. Umsetzbarkeit und Machbarkeit unterscheiden sich je nach städtebaulichen Strukturen und örtlichen Gegebenheiten. (ii) Emissionen/ Immissionen: Schadstoffe im Regenwasserabfluss sind relevant für Gewässer (u. lokale Nutzung/ Versickerung). Die Baustoffwahl kann die Belastung bereits an der Quelle reduzieren. (iii) Überflutung: Urbane Gefahrenkarten liefern maßgebliche Arbeits- und Entscheidungsgrundlage zur nachhaltigen Entwicklung urbaner Strukturen (Standort, Planung von Verkehrsflächen o.ä.). Durch vergleichende Analysen können Änderungen im Überflutungsrisiko quantitativ bestimmt werden und so zur Maßnahmenbewertung bzgl. des Überflutungsschutzes herangezogen werden. (iv) Straßen- und Kanalzustand: Die Sanierung der Infrastruktur sollte integral gedacht werden, um auch neue Ziele bei der Abwägung zu beachten.

Ressourcenmanagement Stoffströme/ Baustoffe

Um die Materialien im anthropogenen Lager zu berücksichtigen, sind Informationen über die Materialien, die Konstruktion und Freisetzung erforderlich. Durch Modelle kann eine Abschätzung und Hochrechnung erfolgen. Standardisierte Austauschformate und einheitliche Attribuierung, wie in der Kanalisation, sind die Grundlage für eine übertragbare und anwendungsorientierte Modellierung.

Ressourcenmanagement Energie

Zur ressourceneffizienten Entwicklung von Quartieren werden ganzheitliche Planungen urbaner Energiesysteme (multisektoral, räumlich, Dimensionierung und Betrieb, etc.) und mehrere Optimierungsgrößen (multikriteriale Optimierung von z. B. Kosten und Treibhausgasemissionen) benötigt. Im Projekt wurde eine Methode der Energiesystemmodellierung zur Optimierung urbaner Energiesysteme entwickelt. Die Methode kann als Weiterentwicklung klassischer Planungsverfahren verstanden werden. Mit dem "Spreadsheet Energiesystem Model Generator" (SESMG) konnte ein Tool zur Anwendung der Methodik offen bereitgestellt werden. Die Anwendung eines Referenzfalls hat gezeigt, dass bei der Planung von urbanen Energiesystemen, eine Kosten- und Emissionsoptimierung nicht zwangsweise im Widerspruch stehen.

Ressourcenmanagement Fläche/ Raum

Die effiziente Verwendung von Fläche im Quartier kann nur erreicht werden, wenn eine ganzheitliche Betrachtung aller flächenrelevanten Belange erfolgt. Diese beinhalten eine Vielzahl an Ressourcen, deren effizientes Bewirtschaften von der Ausprägung und Ausstattung von Flächen abhängt. Besonders der Schutz natürlicher Ressourcen werden bei Quartiersbetrachtungen häufig zu wenig berücksichtigt. Diese werden traditionell durch anthropozentrische Funktionen belegt, die die Funktionalität der natürlichen Ressourcen verdrängt. Eine Änderung der Planungstradition und eine Hinwendung zu einer ganzheitlichen Betrachtung aller Funktionen von Ressourcen ist daher essenziell. Die Notwendigkeit bestimmter Eigenschaften von Quartiersflächen hängt dabei von global wirkenden Treibern bis hin zu lokal spezifischen Rahmenbedingungen und Bedürfnissen ab.

4 Ergänzende Darstellung zur Verwendung der Förderung

4.1 Zahlenmäßiger Nachweis

Hierfür wird auf die Zwischennachweise und die Schlussrechnung der Verbundpartner verwiesen.

4.2 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Die Veröffentlichung der Projektergebnisse erfolgt bzw. erfolgte mit zwei Schwerpunkten:

Anwenderorientierte Publikationen inkl. Arbeitshilfen

Als anwenderorientierte Publikation wird aktuell der s. g. „Leitfaden RessourcenPlan“ im Sinne eines Schlussberichts erstellt. Er fasst die anwenderrelevanten Projektergebnisse zusammen, gibt Hilfestellungen für die Umsetzung und stellt Arbeitshilfen bereit. Er wird im Spätsommer 2022 veröffentlicht und ist wie folgt strukturiert:

Teil 1: Konzeption RessourcenPlan

Teil 2: Elemente des RessourcenPlans

- 2.1: Ressourcenmanagement Niederschlagswasser
- 2.2: Ressourcenmanagement Schmutzwasser
- 2.3: Ressourcenmanagement Baustoffe
- 2.4: Ressourcenmanagement Energie
- 2.5: Ressourcenmanagement Fläche

Teil 3: Anwendungs- und Planungshilfen

3.1: Kurzanleitung RessourcenPlan

- I: Katalog Treiber
- II: Katalog Instrumente
- III: Katalog Indikatoren
- IV: Katalog Daten

3.2: Lernen von anderen – Booklet „Best-Practice“

- I: Planungs- und Beteiligungsprozesse
- II: Verwaltungsstrukturen
- III: Quartiersgestaltung

3.3: Maßnahmen des Quartiersmanagements – Maßnahmensteckbriefe

3.4: Stakeholder-Beratung blau-grüne Infrastrukturen

3.5: Baukonstruktionskatalog

3.6: Empfehlungen für Beteiligungsformate

Wissenschaftliche Fachpublikationen

In Ergänzung zur anwenderorientierten Publikation wurden im Projektzeitraum wissenschaftliche Publikationen getätigt. Diese werden im Folgenden aufgeführt.

Publikationen in Fachjournals oder auf Konferenzen

- Arendt, R., Bach, V., Finkbeiner, M. (2022a): „*Environmental costs of abiotic resource demand for the EU's low-carbon development*“. In: *Resources, Conservation and Recycling*. 180 , S. 106057, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.106057.
- Arendt, R., Bach, V., Finkbeiner, M. (2022b): „*The global environmental costs of mining and processing abiotic raw materials and their geographic distribution*“. In: *Journal of Cleaner Production*. 361 , S. 132232, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132232.
- Arendt, R., Bachmann, T.M., Motoshita, M., Bach, V., Finkbeiner, M. (2020a): „*Comparison of Different Monetization Methods in LCA: A Review*“. In: *Sustainability*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute 12 (24), S. 10493, doi: 10.3390/su122410493.
- Arendt, R., Muhl, M., Bach, V., Finkbeiner, M. (2020b): „*Criticality assessment of abiotic resource use for Europe— application of the SCARCE method*“. In: *Resources Policy*. 67 , S. 101650, doi: 10.1016/j.resourpol.2020.101650.
- Hörnschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M. (2019a): „*Ein SWMM-Baustein für die Berechnung der Evapotranspiration von urbaner Vegetation*“. In: Burkhardt, M., Graf, C. (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2019 - Regenwasser weiterdenken - Bemessen trifft Gestalten*. Rapperswil, Schweiz: HSR Hochschule für Technik S. 133–140, doi: 10.5281/zenodo.3384207.
- Hörnschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M. (2019b): „*Quantifizierung des Wasserhaushalts von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen*“. In: *Ernst & Sohn Spezial 2019 - Regenwasser-Management*. 2019 , S. 62–67.
- Hörnschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M. (2021a): „*SWMM-UrbanEVA: A Model for the Evapotranspiration of Urban Vegetation*“. In: *Water*. 13 (2), S. 243, doi: 10.3390/w13020243.
- Hörnschemeyer, B., Kramer, S., Henrichs, M., Uhl, M. (2019c): „*Verdunstung als Zielgröße wassersensitiver Stadtplanung*“. In: *Korrespondenz Abwasser (KA)*. 66 (11), S. 911–918, doi: 10.3242/kae2019.11.003.
- Hörnschemeyer, B., Matzinger, A., Seis, W., Maßmann, S., Kleckers, J., Haberkamp, J., Söfker-Rieniets, A., Uhl, M. (2021b): „*Der RessourcenPlan – ein Instrument zur ressourceneffizienten wasserwirtschaftlichen Quartiersentwicklung*“. In: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2021 - Schwammstadt - Versickerung 2.0?*. Innsbruck S. 30–35.
- Hörnschemeyer, B., Söfker-Rieniets, A., Niesten, J., Arendt, R., Kleckers, J., Klemm, C., Stretz, C.J., Reicher, C., Grimsehl-Schmitz, W., Wirbals, D., Bach, V., Finkbeiner, M., Haberkamp, J., Budde, J., Vennemann, P., Walter, G., Flamme, S., Uhl, M. (2022): „*The ResourcePlan—An Instrument for Resource-Efficient Development of Urban Neighborhoods*“. In: *Sustainability*. 14 (3), S. 1522, doi: 10.3390/su14031522.
- Hörnschemeyer, B., Uhl, M. (2021): „*Long-Term Water Balances of Green Roofs under Varied Climate Conditions*“. In: *15th International Conference on Urban Drainage - 25-28 October 2021*. Virtual Meeting.
- Hörnschemeyer, B., Uhl, M. (2022): „*Modeling Long-Term Water Balances of Green Infrastructures using SWMM Extended with the Evapotranspiration Model SWMM-UrbanEVA*“. In: *12th Urban Drainage Modeling Conference, California, January 2022*. Costa Mesa, California, USA.

- Kleckers, J., Haberkamp, J. (2021): „*Resource efficiency improvement by wastewater source separation: A simplified approach*“. 5th International Conference on Ecotechnologies for Wastewater Treatment (EcoSTP 2021). Milan (digital) 2021.
- Klemm, C. (2020): „*Optimization of resource efficiency in mixed-use quarters*“. In: *Energy Modelling Platform for Europe (EMP-E) 2020: Energy Modelling Platform for Europe*, 6. - 8. Oktober 2020. Online.
- Klemm, C., Vennemann, P. (2021a): „*Modeling and optimization of multi-energy systems in mixed-use districts: A review of existing methods and approaches*“. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 135, S. 110206, doi: 10.1016/j.rser.2020.110206.
- Klemm, C., Vennemann, P. (2021b): „*Modellierung und Optimierung urbaner Energiesysteme im Projekt R2Q*“. In: Nordhausen S. 177–188.
- Klemm, C., Wiese, F. (2022): „*Indicators for the optimization of sustainable urban energy systems based on energy system modeling*“. In: *Energy Sustainability and Society*. 12 (3), doi: 10.1186/s13705-021-00323-3.
- Klemm, C., Wiese, F., Vennemann, P. (2022): *(Preprint) Model-based run-time and memory optimization for a mixed-use multi-energy system model with high spatial resolution*.
- Lenk, C., Arendt, R., Bach, V., Finkbeiner, M. (2021): „*Territorial-Based vs. Consumption-Based Carbon Footprint of an Urban District—A Case Study of Berlin-Wedding*“. In: *Sustainability*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute 13 (13), S. 7262, doi: 10.3390/su13137262.
- Quest, G., Arendt, R., Klemm, C., Bach, V., Budde, J., Vennemann, P., Finkbeiner, M. (2022): „*Integrated life cycle assessment (LCA) of power and heat supply for a neighborhood: a case study of Herne, Germany (submitted)*“. In: *Energies*.
- Söfker-Rieniets, A., Hörnschemeyer, B., Kleckers, J., Klemm, C., Stretz, C. (2020): „*Mit Nutzenstiftung zu mehr Ressourceneffizienz im Quartier*“. In: *Transforming Cities*. 2020 (4), S. 42–46.
- Uhl, M., Hörnschemeyer (2022a): „*Elemente einer wasserbewussten Stadtentwicklung*“. In: Wintgens, T., Pinnekamp, J. (Hrsg.) *Digitale 55. Essener Tagung für Wasserwirtschaft*. Aachen: Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (Gewässerschutz - Wasser & Abwasser – GWA).
- Uhl, M., Hörnschemeyer, B. (2022b): „*Wasserbewusste Entwicklung des neuen Oxfordquartiers in Münster (accepted)*“. In: EAWAG (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2022 - Grün statt Grau*. Glattfelden.
- Zamzow, M., Seis, W., Hörnschemeyer, B., Matzinger, A. (2022): „*Ein immissionsbasiertes Bewertungstool zur Berechnung des Potentials und zur konkreten Planung des Anschlusses urbaner Flächen an die Trennkanalisation (accepted)*“. In: EAWAG (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2022 - Grün statt Grau*. Glattfelden.

Dissertationen

Teilergebnisse des Projekts fließen in die folgenden Dissertationen ein:

Monetizing LCA Results to Improve Environmental Criticality Assessment of Abiotic Raw Material Use, Rosalie Arendt, TU Berlin

Klimaangepasste Bewirtschaftung blau-grüner Infrastrukturen im urbanen Raum, Birgitta Hörnschemeyer (Arbeitstitel), FH Münster/ TU Kaiserslautern (laufend)

Betriebsoptimierung von Kläranlagen durch ressourcenorientierte Sanitärsysteme (Arbeitstitel), Jonas Kleckers, FH Münster/ TU Kaiserslautern (laufend)

Energy System Modeling for Urban Districts (Arbeitstitel), Christian Klemm, FH Münster/ Europa-Universität Flensburg (laufend)

Kartierung regionaler anthropogener Lager im Hoch- und Tiefbau (Arbeitstitel), Celestin Julian Stretz, FH Münster/ Ruhr-Universität Bochum (laufend)

Urbane Risse - Der Randeffect als Potenzial für die Stadtentwicklung (Arbeitstitel), Anne Söfker-Rieniets, RWTH Aachen (laufend)

4.3 Überblick der erarbeiteten Produkte

Die im Projektantrag ausgewiesenen Produkte werden wie folgt in den in Kapitel 4.2 genannten Veröffentlichungen verortet:

Tabelle 7. R2Q- Produkte mit zugehörigen Veröffentlichungen

Produkt	Beschreibung	Veröffentlichungen
A1 RessourcenPlan	Informelles Planungsinstrument zur ressourceneffizienten Quartiersentwicklung	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teile 1 und 3.1 <i>Wissenschaftlich:</i> Hörnschemeyer et al. (2022), Söfker-Rieniets et al. (2020)
A2 Handlungsanleitung Instrumente des RessourcenPlan	ressourcen-übergreifende Beschreibung der Instrumente und Modelle sowie deren Datenbedarf	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teil 3.1
A3 Bewertungsroutine zur Ressourceneffizienz	Aufbau einer Inventardatenbank und Entwicklung Methode zur Bestimmung der Ressourceneffizienz auf Quartiersebene	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teile 1 und 3.1 <i>Wissenschaftlich:</i> Arendt et al. (2020), Hörnschemeyer et al. (2022), Hörnschemeyer et al. (2021b), Kleckers und Haberkamp (2021), Klemm und Wiese (2022), Lenk et al. (2021) Quest et al. (2022) Söfker-Rieniets et al. (2020) Zamzow et al. (2022)
A4 Booklet mit Best-Practice-Beispielen	Best-Practice-Beispiele für Planungs-/Beteiligungsprozesse und Verwaltungsstrukturen/-prozesse zum Management der Ressourcen Wasser, Fläche/Raum und Stoffe	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teil 3.2
B1 Werkzeugkasten Abwasserbehandlung	Werkzeugkasten de- und semizentraler Technologien zur Abwasserbehandlung in Quartieren	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teil 3.3 Online-Tool „Maßnahmensteckbriefe“ <i>Wissenschaftlich</i> Kleckers und Haberkamp (2021)
B2 Leitfaden Bürgerberatung	Leitfaden für die Beratung von Bürgern bei der Umsetzung Grüner Infrastruktur	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teil 3.4
B2 Werkzeugkasten Grüne Infrastruktur	Wirksamkeit von Maßnahmenkombination	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teil 3.3 Online-Tool „Maßnahmensteckbriefe“ <i>Wissenschaftlich:</i> Hörnschemeyer et al. (2021a) Hörnschemeyer et al. (2019a) Hörnschemeyer et al. (2019b) Hörnschemeyer et al. (2019c) Hörnschemeyer und Uhl (2021) Hörnschemeyer und Uhl (2022)
B3 Methode zur Identifizierung von Potenzialflächen	Identifizierung von Potenzialflächen für ressourcenübergreifende Ansätze	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teile 1, 2.5 und 3.1 <i>Wissenschaftlich:</i> Hörnschemeyer et al. (2022), Söfker-Rieniets et al. (2020)
B4 Instrument Erhebungssystematik	Vorgehensweise zur Abschätzung des Stoffpotenzials	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teile 2.3 und 3.5 Online-Tool „Maßnahmensteckbriefe“
B5 Modell zur energetischen Optimierung	Evaluation energetischer Optimierungsansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz	<i>Anwenderorientiert:</i> LF RP Teil 2.4

Produkt	Beschreibung	Veröffentlichungen
		Online-Tool „Maßnahmensteckbriefe“ Klemm et al. (2022a) <i>Wissenschaftlich:</i> Klemm und Vennemann (2021) Klemm und Wiese (2022) Klemm et al. (2022b)
B6	Präsentation ausgewählter Fallbeispiele	Fortschreibungsfähige Best-Practice-Sammlung
C1	Leitfaden zur Datenakquise	Ressort und ressourcen-übergreifende Zusammenstellung eines Datenbestandes
C2	Treiberanalyse / Treiberkatalog	Treiberanalyse für Transformation eines Quartiers
C3	Datenportal Transformationsmanagement	Schnittstellen zur Verschneidung räumlicher Ergebnisse, Tool zur Erfolgskontrolle
D1	Leitfaden zur Quartiersbewertung	Ressourcen-übergreifende Quartiersbewertung im gesamtstädtischen Kontext
D2	Tool zur Bewertung der Ressourceneffizienz für Stadtquartiere	Tool zur Auswahl von Kombinationen von Technologien und Verfahren zur Steigerung der Ressourceneffizienz
E1	Transformationsszenarien und Entwicklungspfade	Ressourcen-übergreifende Transformationsszenarien
E2	Empfehlungen für Beteiligungsformate	Geeignete Beteiligungsformate zur Begleitung von Transformationsprozessen im Quartier
E3	Planungsvarianten für 2 ressourceneffiziente Quartiere	Konzeptplanung mit Kombinationen von Technologien und Verfahren zur Steigerung der Ressourceneffizienz
E3	Bewertungsmatrix der Technologien	Matrix zur Bewertung der Ressourceneffizienz von Technologien und Verfahren sowie deren Kombinationen
F1	Geschäftsprozess Transformationsmanagement	Integration des RessourcenPlan als informelles Planungsinstrument in die kommunale Praxis
F2	Transfer des RessourcenPlan	Verbreitung über unterschiedliche Informationswege und Beteiligungsformate
K	Homepage	Zielgruppenorientierte Informationsbereitstellung
K	Flyer/Broschüren	Zielgruppenspezifische Aufbereitung erzielten Ergebnisse
K	Publikationen / Vorträge	Wissenschaftliche Ergebnisse
K	Zwischen-/Abschlussberichte	Wissenschaftliche Ergebnisse

Abkürzung: LF RP = „Leitfaden RessourcenPlan“

4.4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Nutzen der Ergebnisse

Im Sinne der förderpolitischen Ziele entwickelte das Vorhaben den RessourcenPlan als integrierte Lösung zum nachhaltigen urbanen Flächenmanagement unter Anwendung von weiterentwickelten und optimierten Infrastruktursystemen sowie einem ganzheitlichen Stoffstrommanagement. Als ein von Quartiers- bis zur Flurstücks-Ebene skalierbares Instrument lässt der RessourcenPlan sich sowohl in der frühen Planungsphase der Strategiefindung als auch bei der späteren Entscheidungsfindung anwenden. Die mit dem Ansatz RessourcenPlan verfolgte ganzheitliche Betrachtungsweise von komplexen Sachverhalten ermöglicht im kommunalen

Alltag erstmalig eine skalierbare ressourcenübergreifende Darstellung von Synergien und Zielkonflikten im Quartierskontext. Durch die (i) Bereitstellung von Instrumenten zur Bewertung der Ressourceneffizienz, (ii) einer hierauf aufbauenden Strategieentwicklung, (iii) die Vermittlung durch bereitgestellte Informationsmedien und die transparente Ergebnisdarstellung sowie (iv) durch einfache Erfolgskontrollen, werden eine Verbesserung des Akzeptanzprozesses bei verschiedenen Adressaten (Bürger, Politik, Investoren, Verwaltung etc.) erzielt und gleichzeitig Hemmnisse abgebaut.

Zur Sicherstellung des wirtschaftlichen und (volks-)wirtschaftlichen Nutzens, wurden im Rahmen der Projektbearbeitung die Übertragbarkeit und Fortschreibbarkeit als Evaluationskriterien angewendet. Unter Einhaltung dieser Anforderungen wurde während der Projektbearbeitung gewährleistet, dass der Planungsansatz RessourcenPlan auch seitens anderer Kommunen nutz- und verwertbar ist. Der modularisierte Aufbau aller Produkte bietet darüber hinaus die Möglichkeit der bedarfsgerechten Anwendung und Individualisierbarkeit innerhalb der Kommunen, beispielsweise für einzelne defizitäre Themenbereiche.

Die anwenderorientierte Aufarbeitung der Ergebnisse im „Leitfaden RessourcenPlan“ stellt die praxisgerechte Anwendbarkeit sicher. Die Projektergebnisse enthalten Elemente, die zielgerichtet für verschiedene Stakeholder anwendbar sind. Die Hauptadressaten sind die Mitarbeiter*innen und Entscheidungsträger*innen der kommunalen Verwaltungen, die mit dem „Leitfaden RessourcenPlan“ praxisgerechte Handlungsanleitungen und Arbeitshilfen erhalten. Als weiteren Adressatenkreis sind Investoren zu nennen, denen die Vorteile einer ressourceneffizienten Planung mithilfe der entwickelten Informationsunterlagen verdeutlicht werden sollen. Die dritte Interessensgruppe sind Bürger*innen in den Stadtquartieren, die eine wichtige Rolle in der ressourceneffizienten und nachhaltigen Quartiersentwicklung übernehmen, da sie es sind, die in den Quartieren gerne leben sollen. Die entwickelten Beratungs- und Informationsunterlagen, die die Kommune anwenden kann, tragen zu einer Bewusstseinsförderung bei.

Fortschreibung des Verwertungsplans

Die Verwertbarkeit der Ergebnisse wird durch einen niederschweligen Ansatz des Ergebnistransfers sichergestellt. Die Verbreitung der Ergebnisse erfolgt(e)

- als Download schnell und barrierefrei von der Projekthomepage (https://www.fh-muenster.de/forschungskooperationen/r2q/produkte/produkte_publicationen.php),
- als Printpublikationen über die etablierten Distributionskanäle,
- als wissenschaftliche Ergebnisse in peer-reviewed Journals und auf internationalen Konferenzen, vernehmlich Journals mit freiem Zugang („open access“)
- als Beiträge zur Planungspraxis in nationalen Journalen und Fachtagungen der Fach- und Kommunalverbände,

- als Beiträge zum technisch-planerischen Regelwerk oder zur Politikberatung (u.a. DIN-Spec, DWA-Koordinierungsgruppe „Wasserbewusste Stadtentwicklung“, DWA Arbeitsgruppe KA 1.4 „Ressourcenorientierte Sanitärsysteme“).
- als Open Source Tool:
<https://spreadsheet-energy-system-model-generator.readthedocs.io/en/latest/>

Die im Projektantrag dargestellten Verwertungsaussichten behalten ihre Gültigkeit. Nach Projektbearbeitung sind darüber hinaus folgende Punkte hervorzuheben:

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

- Durch die Entwicklung des RessourcenPlans als integriertes kommunales Planungsinstrument ist bei Anwendung von einer erhöhten Kosten- und Ressourceneffizienz bei der zukünftigen Quartiersentwicklung auszugehen. Die Möglichkeit der interdisziplinären Betrachtung vermindert intrakommunale Kommunikations- und Entscheidungshemmnisse, so dass Planungsvorhaben effizienter umgesetzt werden können.
- Die entwickelten modularen Instrumente (u.a. Baustoffhaushaltsmodell, Energiesystemmodellierung, lokal-funktionale Bewertung) stehen potenziellen Nutzern und Softwareanbietern zur Verfügung. Der „Leitfaden RessourcenPlan“ inkludiert Anwendungshilfen zur vereinfachten Übertragbarkeit auf andere Quartiere.
- Die Module des Bewertungstools können von kommerziellen Anbietern zur Weiterentwicklung ihrer Produkte verwendet werden.

Wissenschaftliche und/ oder technische Erfolgsaussichten

- Die entwickelten interdisziplinären Planungsansätze des RessourcenPlans finden fortlaufend bei der Stadt Herne Anwendung und werden zukünftig zunehmend in den Planungsalltag integriert.
- Die entwickelten modularen Bewertungstools werden fortlaufend eingesetzt und weiterentwickelt.
- Die Projektergebnisse wurden fortlaufend auf nationalen und internationalen Fachkonferenzen sowie in Form von Fachpublikationen veröffentlicht.
- Das innovative Forschungsgebiet stellt fortlaufend eine Basis für die akademische Weiterqualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses durch Studien-, Bachelor- oder Masterarbeiten dar. Teilaspekte des Forschungsgebiets in die folgenden Lehrveranstaltungen integriert
 - FH Münster:
 - Nachhaltige Stadtentwicklung, Prof. Uhl/ Prof. Flamme, Masterstudiengang Bauingenieurwesen
 - Stadtentwässerung, Prof. Uhl, Masterstudiengang Bauingenieurwesen

- Grundlagen Wasser und Ressourcen II, Prof. Haberkamp, Prof. Flamme, Bachelorstudiengang Bauingenieurwesen
- Ressourcenwirtschaft I und II, Prof. Flamme, Bachelorstudiengang Bauingenieurwesen
- Kreislaufforientiertes Planen und Bauen, Prof. Flamme, Masterstudiengang Bauingenieurwesen
- Energiewirtschaft, Prof. Vennemann, Masterstudiengang Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
- RWTH Aachen
 - Masterprojekt M1: Die Zukunft der großen Straße, Johannes Göderitz-Preis 2022, Wintersemester 2021/2022, Prof. Reicher
 - Masterprojekt M1: Ja-Nein-Vielleicht - Innenstadtentwicklung im Aushandlungsprozess zwischen Kultur und Funktion, Gebäude und Freiraum, Gesellschaft und Natur, Prof. Reicher
 - Wahlfach Master: Zwischen Haus und Garten. Ein multifunktionaler Blick auf die Funktion von Übergangsräumen des Wohnens und des Freiraums als Mehrwert für innovatives innerstädtisches Bauen. Wintersemester 2022/2023, Prof. Reicher
- TU Berlin
 - Methods and Tools for Sustainability Assessment - Management of Sustainable Development, Prof. Finkbeiner
 - Climate neutrality and decarbonisation, Prof. Finkbeiner
- Das "Booklet Best-Practice – Lernen von Anderen" sowie die Maßnahmensteckbriefe (Online-Tool und PDF-Version) tragen fortwährend zur Bildung und Informationsweitergabe unterschiedlicher Stakeholder (Bürger, Investoren, Politik, Verwaltung) bei.
- Die Erkenntnisse des Projekts werden in die folgende Verbands- und Gremienarbeit eingebracht:
 - Hauptausschussübergreifende DWA-Koordinierungsgruppe „Wasserbewusste Stadtentwicklung“: Einbringung der Projekterkenntnisse in die Unterarbeitsgruppe „Ressourcenmanagement“
 - DWA Arbeitsgruppe ES-1.2 „Stoffeinträge in Entwässerungssysteme“, Einbringung der Projektergebnisse
 - DWA Arbeitsgruppe KA 1.4 „Ressourcenorientierte Sanitärsysteme“: Mitarbeit bei Informationsveranstaltungen
 - DIN: Es fand bzw. findet eine Mitarbeit bei der Aufstellung der DIN SPEC 91468 „Leitfaden für ressourceneffiziente Stadtquartiere“ statt

- Re!source Stiftung e. V, Einbringung der Projektergebnisse in die jeweiligen Arbeitsgruppen
- Ressourcenkommission am Umweltbundesamt, Einbringung der Projektergebnisse in die jeweiligen Arbeitsgruppen
- Landesarbeitsgruppe ARL- NRW Urbane Produktion
- Umweltausschuss Stadt Herne, Einbringung und Diskussion der Ergebnisse in der weiteren Etablierung des Ressourcenmanagements im Quartier
- Zukunftsinitiative Klima.Werk, Einbringung der Ergebnisse und Diskussion mit weiteren Kommunen im Emscher-Raum

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

- Die folgenden laufenden bzw. bewilligten FE-Projekte bedienen Teilaspekte des RessourcenPlans.
 - FH Münster:
 - Projekt „Betriebsoptimierung von Kläranlagen und Reduktion von Spurenstoffen durch Urinseparation (BeReit)“, NRW-Fördermaßnahme RESA II (bewilligt)
 - RekoTi_Ressourcenplan kommunaler Tiefbau im Rahmen der BMBF-Fördermassnahme ReMin, Laufzeit 02/21 bis 01/22
 - Wissenschaftliche Begleitung eines Monitoringprogramms zur Umsetzung der Mantelverordnung und zu den Auswirkungen auf die Stoffkreisläufe mineralischer Abfälle und Nebenprodukte in NRW im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW, Laufzeit 05/22 bis 06/25
 - Aktuell Vorbereitung Forschungsantrag im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms des BMWi
 - Kompetenzzentrum Wasser Berlin:
 - EU Horizon Projekt AD4GD (All Data 4 Green Deal - An Integrated, FAIR Approach for the Common European Data Space) – Fokus KWB: “Water pollution of small urban lakes – data driven prioritization and management”

Die im Rahmen des Projekts R2Q gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Instrumente werden hier eingesetzt und teilweise weiterentwickelt.

- Teilergebnisse des Projekts fließen in die in Kapitel 4.2 genannten Dissertationen ein.
- Fortlaufende Akquise weiterer FE-Projekte mit dem Schwerpunkt ressourcenoptimierter Quartiersentwicklung. Im Besonderen sollen weiterentwickelt werden:

- Evaluation und Optimierung der modularen Bewertungsinstrumente (fachliche Inhalte, Anwenderfreundlichkeit, Vereinfachung)
- Entwicklung eines gemeinsamen, integrierten Softwareprodukts
- Umsetzung, Anwendung und Evaluation des RessourcenPlans in weiteren Quartieren und Übertragung auf weitere Kommunen

4.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die durchgeführten Forschungsarbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie der im Projektantrag formulierten Planung entsprachen. Alle wesentlichen im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden erfolgreich bearbeitet. Alle anfallenden Verschiebungen im Arbeitsplan wurden innerhalb der Projektlaufzeit und der zur Verfügung stehenden Ressourcen ausgeglichen. Dies betraf im Besonderen die Arbeiten bei der Konzeption der Bewertungssystematik (AS A.3) sowie der Datenakquise (AS D.1). Eine öffentlichkeitswirksame Partizipation konnte aufgrund der Corona-Pandemie nicht stattfinden. Stattdessen wurden die bewilligten Ressourcen für eine intensiviertere Einbindung der Assoziierten Kommunen eingesetzt. Im Rahmen der Projektbearbeitung waren darüber hinaus keine zusätzlichen Ressourcen für das Projekt notwendig.

4.6 Bekanntwerden von FE-Ergebnissen von dritter Seite

Im Zeitraum der Durchführung des Vorhabens wurde weitere Fachliteratur zum Thema Ressourceneffiziente Quartiersentwicklung veröffentlicht. Hierzu gehörten einerseits die Projektergebnisse der weiteren RES:Z Verbundvorhaben sowie darüber hinausgehende nationale und internationale Literatur. Die aktualisierten Erkenntnisse wurden fortwährend in die Ergebnisse der Arbeitspakete A und B (Kapitel 2.1 und 2.2) eingearbeitet und verwertet.

5 Literaturverzeichnis

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998): *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*. (FAO Irrigation and drainage paper).
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R. (2007): „*Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model*“. In: *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. American Society of Civil Engineers 133 (4), S. 380–394, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380).
- Arendt, R., Bachmann, T.M., Motoshita, M., Bach, V., Finkbeiner, M. (2020): „*Comparison of Different Monetization Methods in LCA: A Review*“. In: *Sustainability*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute 12 (24), S. 10493, doi: 10.3390/su122410493.
- Blasenbauer, D., Bogush, A., Carvalho, T., Cleall, P., Cormio, C., Guglietta, D., Fellner, J., Fernández-Alonso, M., Heuss-Aßbichler, S., Huber, F., Kral, U., Kriipsula, M., Kroop, J., Laner, D., Lederer, J., Lemière, B., Liu, G., Mao, R., Müller, S., Quina, M., Sinnett, D., Stegemann, J., Šyc, M., Szabó, K., Werner, T., Wille, E., Winterstetter, A., Žibret, G. (2020): *Knowledge base to facilitate anthropogenic resource assessment*. European Cooperation in Science and Technology (COST).
- Cremer, A., Berger, M., Müller, K., Finkbeiner, M. (2021): „*The First City Organizational LCA Case Study: Feasibility and Lessons Learned from Vienna*“. In: *Sustainability*. 13 (9), S. 5062, doi: 10.3390/su13095062.
- Cremer, A., Müller, K., Berger, M., Finkbeiner, M. (2020): „*A framework for environmental decision support in cities incorporating organizational LCA*“. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 25 (11), S. 2204–2216, doi: 10.1007/s11367-020-01822-9.
- DIN 1989-1 (2002): *Regenwassernutzungsanlagen - Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (Hrsg.) (2021): *DWA-Positionen: Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (DWA-Positionen).
- DWA (2017): *Wasserbilanz-Expert Handbuch*. (Software zum Arbeitsblatt DWA A-102) (DWA Software).
- DWA, DVGW (2012): *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*. 8. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-A 100 (2006): *DWA-Regelwerk: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE)*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWA-A/M 102/ BWK-A/M 3 (2020): *DWA-Regelwerk: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Merkblattreihe Teil 1-4*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).

- DWA-M 102-4/ BWK-M 3-4 (2022): *Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwasserabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- European Commission (2020): „*EU Energy System Integration Strategy - #EUGreenDeal*“. Abgerufen von https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_1295.
- Henrichs, M., Langner, J., Uhl, M. (2016): „*Development of a simplified urban water balance model (WABILA)*“. In: *Water Science and Technology*. 73 (8), S. 1785–1795, doi: 10.2166/wst.2016.020.
- Hörnschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M. (2019a): „*Ein SWMM-Baustein für die Berechnung der Evapotranspiration von urbaner Vegetation*“. In: Burkhardt, M., Graf, C. (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2019 - Regenwasser weiterdenken - Bemessen trifft Gestalten*. Rapperswil, Schweiz: HSR Hochschule für Technik S. 133–140, doi: 10.5281/zenodo.3384207.
- Hörnschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M. (2019b): „*Quantifizierung des Wasserhaushalts von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen*“. In: *Ernst & Sohn Spezial 2019 - Regenwasser-Management*. 2019, S. 62–67.
- Hörnschemeyer, B., Henrichs, M., Uhl, M. (2021a): „*SWMM-UrbanEVA: A Model for the Evapotranspiration of Urban Vegetation*“. In: *Water*. 13 (2), S. 243, doi: 10.3390/w13020243.
- Hörnschemeyer, B., Kramer, S., Henrichs, M., Uhl, M. (2019c): „*Verdunstung als Zielgröße wassersensitiver Stadtplanung*“. In: *Korrespondenz Abwasser (KA)*. 66 (11), S. 911–918, doi: 10.3242/kae2019.11.003.
- Hörnschemeyer, B., Matzinger, A., Seis, W., Maßmann, S., Kleckers, J., Haberkamp, J., Söfker-Rieniets, A., Uhl, M. (2021b): „*Der RessourcenPlan – ein Instrument zur ressourceneffizienten wasserwirtschaftlichen Quartiersentwicklung*“. In: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2021 - Schwammstadt - Versickerung 2.0?*. Innsbruck S. 30–35.
- Hörnschemeyer, B., Söfker-Rieniets, A., Niesten, J., Arendt, R., Kleckers, J., Klemm, C., Stretz, C.J., Reicher, C., Grimsehl-Schmitz, W., Wirbals, D., Bach, V., Finkbeiner, M., Haberkamp, J., Budde, J., Vennemann, P., Walter, G., Flamme, S., Uhl, M. (2022): „*The ResourcePlan—An Instrument for Resource-Efficient Development of Urban Neighborhoods*“. In: *Sustainability*. 14 (3), S. 1522, doi: 10.3390/su14031522.
- Hörnschemeyer, B., Uhl, M. (2021): „*Long-Term Water Balances of Green Roofs under Varied Climate Conditions*“. In: *15th International Conference on Urban Drainage - 25-28 October 2021*. Virtual Meeting.
- Hörnschemeyer, B., Uhl, M. (2022): „*Modeling Long-Term Water Balances of Green Infrastructures using SWMM Extended with the Evapotranspiration Model SWMM-UrbanEVA*“. In: *12th Urban Drainage Modeling Conference, California, January 2022*. Costa Mesa, California, USA.
- ISO (2006a): *ISO 14040: Environmental management—life cycle assessment—Principles and framework*. Geneva, Switzerland: International Standard Organization.

- ISO (2006b): *ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*. Geneva, Switzerland: International Standard Organization doi: 10.1007/s11367-011-0297-3.
- IWA (2016): *The IWA Principles for Water-Wise Cities - For Urban Stakeholders to Develop a Shared Vision and Act towards Sustainable Urban Water in Resilient and Liveable Cities*. 2. Aufl. London: International Water Association (IWA).
- Kisser, J., Wirth, M., De Gusseme, B., Van Eekert, M., Zeeman, G., Schoenborn, A., Vinnerås, B., Finger, D.C., Kolbl Repinc, S., Bulc, T.G., Bani, A., Pavlova, D., Staicu, L.C., Atasoy, M., Cetecioglu, Z., Kokko, M., Haznedaroglu, B.Z., Hansen, J., Istenič, D., Canga, E., Malamis, S., Camilleri-Fenech, M., Beesley, L. (2020): „*A review of nature-based solutions for resource recovery in cities*“. In: *Blue-Green Systems*. 2 (1), S. 138–172, doi: 10.2166/bgs.2020.930.
- Kleckers, J., Haberkamp, J. (2021): „*Resource efficiency improvement by wastewater source separation: A simplified approach*“. 5th International Conference on Ecotechnologies for Wastewater Treatment (EcoSTP 2021). Milan (digital) 2021.
- Klemm, C., Budde, J., Becker, G., Vennemann, P. (2022a): „*The Spreadsheet Energy System Model Generator*“. Abgerufen 27.04.2022 von <https://spreadsheet-energy-system-model-generator.readthedocs.io/en/latest/>.
- Klemm, C., Vennemann, P. (2021): „*Modeling and optimization of multi-energy systems in mixed-use districts: A review of existing methods and approaches*“. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 135, S. 110206, doi: 10.1016/j.rser.2020.110206.
- Klemm, C., Wiese, F. (2022): „*Indicators for the optimization of sustainable urban energy systems based on energy system modeling*“. In: *Energy Sustainability and Society*. 12 (3), doi: 10.1186/s13705-021-00323-3.
- Klemm, C., Wiese, F., Vennemann, P. (2022b): *(Preprint) Model-based run-time and memory optimization for a mixed-use multi-energy system model with high spatial resolution*.
- Kosmol, J., Kanthak, J., Herrmann, F., Golde, M., Alsleben, C., Penn-Bressel, G., Schmitz, S., Gromke, U., Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): *Glossar zum Ressourcenschutz*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt Pressestelle.
- Lenk, C., Arendt, R., Bach, V., Finkbeiner, M. (2021): „*Territorial-Based vs. Consumption-Based Carbon Footprint of an Urban District—A Case Study of Berlin-Wedding*“. In: *Sustainability*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute 13 (13), S. 7262, doi: 10.3390/su13137262.
- OGewV (2016): *Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässer-verordnung - OGewV)*.
- Olmedo, G., Federico, Ortega-Farías, S., Fuente-Sáiz, D., de,la, Luego, D., Fonseca, Fuentes-Peñailillo, F. (2016): „*water: Tools and Functions to Estimate Actual Evapotranspiration Using Land Surface Energy Balance Models in R*“. In: *The R Journal*. 8 (2), S. 352, doi: 10.32614/RJ-2016-051.
- Quest, G., Arendt, R., Klemm, C., Bach, V., Budde, J., Vennemann, P., Finkbeiner, M. (2022): „*Integrated Life Cycle Assessment (LCA) of Power and Heat Supply for a Neighborhood: A Case Study of Herne, Germany*“. In: *Energies*. 15 (16), S. 5900, doi: 10.3390/en15165900.

- Schütze, M., Wriege-Bechtold, A., Zinati, T., Söbke, H., Wißmann, I., Schulz, M., Veser, S., Londong, J., Barjenbruch, M., Alex, J. (2019): „*Simulation and visualization of material flows in sanitation systems for streamlined sustainability assessment*“. In: *Water Science and Technology*. 79 (10), S. 1966–1976, doi: 10.2166/wst.2019.199.
- Söfker-Rieniets, A., Hörnschemeyer, B., Kleckers, J., Klemm, C., Stretz, C. (2020): „*Mit Nutzenstiftung zu mehr Ressourceneffizienz im Quartier*“. In: *Transforming Cities*. 2020 (4), S. 42–46.
- Zamzow, M., Seis, W., Hörnschemeyer, B., Matzinger, A. (2022): „*Ein immissionsbasiertes Bewertungstool zur Berechnung des Potentials und zur konkreten Planung des Anschlusses urbaner Flächen an die Trennkanalisation (accepted)*“. In: EAWAG (Hrsg.) *Tagungsband Aqua Urbanica 2022 - Grün statt Grau*. Glattfelden.