

Verbundprojekt

Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse



in der Fördermaßnahme

Wasser-Extremereignisse (BMFTR-WaX)

(FKZ 02WEE1624A-H)

Synthesebericht

Februar 2026

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Förderkennzeichen und Hinweis

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unter den Förderkennzeichen FKZ 02WEE1624A-H gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Zitiervorschlag

Scheid, C.; Gunkel, M.; Matzinger, A.; Minke, R.; Rosenfeld, N.; Schwerdorf, I.; Tröltzsch, J.; Brandenburger, L.; Dicke, F.; Guericke, L.; Kade, M.; Käß, J.; Kober, P.; Kriegebaum, S.; Müller, H.; Neumann, J.; Petersohn, J.; del Punta, F.; Romero, G.; Rott, E.; Sawal, J.; Schritt, H.; Schwab, L.; Sonnenberg, H.; Stein, U.; Strauß, M.; Zimmermann, J.; Dittmer, U. (2026): Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse (AMAREX). Synthesebericht des Verbundvorhabens AMAREX im Rahmen der Fördermaßnahme Wasserextreme (WaX) des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), FKZ 02WEE1624A-H. Stand Februar 2026

Verbundpartner und Autorenschaft

RPTU

(Verbundkoordination)



Universität Stuttgart

KWB



HELIX



Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft (RPTU)

Universität Stuttgart,
Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- u. Abfallwirtschaft, Abteilung für Multiskalige Umweltverfahrenstechnik (ISWA)

Kompetenzzentrum Wasser Berlin
gemeinnützige GmbH (KWB)

Berliner Wasserbetriebe AöR (BWB)

Ecologic Institut
gemeinnützige GmbH, Berlin (EI)

Technologiestiftung Berlin
(rechtsfähige Stiftung d. bürgerlichen Rechts) (TSB)

HELIX Pflanzensysteme GmbH,
Kornwestheim (HELIX)

Stadtentwässerungsbetriebe Köln
AöR (StEB)

Christian Scheid
Jonas Neumann
Ulrich Dittmer

Ralf Minke
Eduard Rott
Miriam Strauß

Andreas Matzinger
Francesco del Punta
Hauke Sonnenberg
Lukas Guericke

Michel Gunkel
Svenja Kriegebaum
Paul Kober

Jenny Tröltzsch
Flora Dicke
Ulf Stein
Hannes Schritt

Ninett Rosenfeld
Marco Kade
Julia Zimmermann
Luise Brandenburger
Guadalupe Romero
Jakob Sawal

Hans Müller
Julian Käß
Juliane Petersohn

Ingo Schwerdorf
Luisa Schwab

In Zusammenarbeit mit den assoziierten Partnern:



Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin



Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin



Stadt Köln

Stadt Köln, Amt für Landschaftspflege und Grünflächen,
Grün- und Landschaftsplanung

INHALT

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung von AMAREX	1
1.2	Projektstruktur und Handlungsfelder in AMAREX	1
1.3	Gliederung und Inhalte des Syntheseberichts	2
2	Handlungsfeld Starkregenvorsorge	3
2.1	RWB/RWB+ Überflutungskarten und simulationsbasierte Effektanalyse zur Überflutungsminde- rung durch RWB/RWB+ Anlagen.....	3
2.2	Browsegestütztes RWB+ Tool zur Wirkungsabschätzung	7
3	Handlungsfeld Trockenheitsvorsorge	10
3.1	Wassernutzungspotenziale von RWB-N Anlagen.....	10
3.2	RWB-N Nutzvolumenrechner zur Bewässerung	15
3.3	In-situ Versuche zur Bewässerung von Efeufassadenelementen	17
4	Handlungsfeld Urbaner Wasserhaushalt	20
4.1	Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt als Indikator für die Planung?	20
4.2	Weiterentwicklung des open-source Wasserhaushaltsmodells ABIMO	21
4.3	Anwendungsbeispiele für Berlin und Köln	21
4.4	Aussagekraft der Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt.....	22
5	Handlungsfeld Sozio-ökonomische Bewertung	24
5.1	Wirkungszusammenhänge von RWB-Maßnahmen	24
5.2	Multikriterielle Bewertung von RWB-Maßnahmen und Bewertungstool	25
5.3	Kosten-Nutzen-Analyse von RWB-Maßnahmen.....	26
6	Querschnittsthemen und kommunale Interaktion	28
6.1	Anlagensteckbriefe für an Wasserextreme angepasste RWB-Anlagen.....	28
6.2	RWB-Potenzialkarten Berlin	31
6.3	Kommunaler Stakeholderprozess und AMAREX Planungs-Webtool	33
7	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen	42
	Quellen und Publikationsliste	43

Anhang

ABBILDUNGEN

Abbildung 1-1: Arbeitsstruktur und Interaktionen im Verbundvorhaben AMAREX	2
Abbildung 2-1: Pilotgebiet Berlin I (rechts) mit modelltechnischer Abbildung in InfoWorks ICM (links)	3
Abbildung 2-2: Vergleich der Überflutungsminderung durch RWB/RWB+ Anlagen für die Starkregenlastfälle R1E (oben) und R2E (unten) bei einem Implementierungsgrad von 100 %	6
Abbildung 2-3: Herleitung einer Wirkungskurve zur Effektabschätzung mit Anwendungsbeispiel (Beispiel intensives Gründach)	7
Abbildung 2-4: Eingabemaske (oben), Umsetzungsberechnung (Mitte) und Ergebnisdarstellung (unten) des RWB+ Tools	9
Abbildung 3-1: Übersichtsdarstellung der wichtigsten Funktionen des ESB-Modells	11
Abbildung 3-2: links: Bürgerpark Köln-Kalk samt umliegender potentieller Niederschlagsauffangflächen (Google Earth); rechts: Konzept der Speicherung und Nutzung von Niederschlagswasser zur Bewässerung von begrünten oberirdischen Bahn-Haltestellen.....	12
Abbildung 3-3: Eingabefelder des RWB-N Nutzvolumenrechners für die Auffangflächen in den Standorten Köln oder Berlin (oben) und für die Bewässerungsflächen und die vier möglichen Bewässerungsvarianten (unten).....	16
Abbildung 3-4: Ergebnisausgabe des RWB-N Nutzvolumenrechners (Beispiel)	16
Abbildung 3-5: links: Schema der Versuchsanlage; rechts: Sicht auf die Efeumodule und die Gründachzisterne, der das Dachablaufwasser des dahinterliegenden Gründachs zufließt	17
Abbildung 3-6: Beispielbilder zur Fotodokumentation des Efeumoduls Parkplatz 100 %: (a) Beginn Wachstumsperiode 2024 nach einheitlichem Rückschnitt, (b) Ende Wachstumsperiode 2024, (c) Gesamtrieblänge und Durchschnittsrieblänge der Efeumodule bei der Trieblängenmessung nach der Vegetationsperiode 2024 aufgeteilt nach Herkunftswasserqualität und Bewässerungsmenge.....	18
Abbildung 4-1: Beispielhafte Berechnung der jährlichen Aufteilung des lokalen Wasserhaushaltes in Berlin mit ABIMO für (a) eine typische Parklandschaft und (b) eine hochverdichtete Innenstadtlage	20
Abbildung 4-2: Karten von ΔW für Berlin (links, rot) und Köln (rechts, blau)	21
Abbildung 4-3: Effekt von hypothetischen RWB-Szenarien auf ΔW für einen Ausschnitt Berlins: (a) Status quo, (b) 50% der Dachflächen werden extensiv begrünt, (c) alle versiegelten Straßen- und Hofflächen werden in teilversiegelte Flächen umgewandelt, (d) 50% aller abflusswirksamen Flächen werden an Mulden angeschlossen	22

Abbildung 4-4: Korrelationsanalyse zwischen Wasserhaushalt und Sommertemperatur um 14 Uhr. Die Karten zeigen ΔW (in blau) und die simulierte Nachmittagstemperatur (in rot). Die Korrelation zeigt die Übereinstimmung eines wasserhaushaltsgetriebenen Random-Forest-Modells mit der Nachmittagstemperatur.	23
Abbildung 5-1: Oberkategorien und relevante Einzelkriterien der Multikriterienanalyse AMAREX	25
Abbildung 6-1: Funktionale Anpassung von Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB) als für die Belange der Starkregenvorsorge (RWB+ als Kurzzeitrückhalt) und der Trockenheitsvorsorge (RWB-N als Langzeitspeicher)	29
Abbildung 6-2: Beispiel: Anlagensteckbrief der RWB-Anlage Versickerungsmulde (oben mitte) mit zugehöriger RWB+ Anlage (oben links), RWB-N Anlage (oben rechts) und Multikriterienanalyse (unten)	30
Abbildung 6-3: Im GIS-Modell aufgenommene technische, rechtliche und planerische Randbedingungen für Versickerungsmaßnahmen.	32
Abbildung 6-4: Kartenausschnitt der Versickerungspotenzialkarte des Pilotgebiets Berlin I mit versickerungsfähiger Grünfläche (orangene Schraffur), verschiedenen Restriktionsflächen und Planungshinweisen	33
Abbildung 6-5: Entwickelte Prozessübersicht AMAREX Webtool	35
Abbildung 6-6: Teilnehmende der ersten (links) und zweiten (rechts) Workshoprunde in Köln	37
Abbildung 6-7: Screenshot des AMAREX-Webtools mit Schritt-für-Schritt-Anleitung im rechten Menüband für die Durchführung der Wasserhaushaltsberechnung in einem ausgewählten Gebiet (mehrere Blockteilflächen)	40
Abbildung 6-8: Durchgeführte "Gebietsplanung" im AMAREX-Webtool mit den Ergebnissen der Wasserhaushaltsberechnung für mehrere Blockteilflächen im rechten Menüband	40
Abbildung 6-9: Durchgeführte "Lokale Planung" im Webtool mit den Ergebnissen der Wasserhaushaltsberechnung auf einer Blockteilfläche im rechten Menüband	41
Abbildung 6-10: Beispielreport einer durchgeführten "lokalen Planung" im Webtool.....	41

TABELLEN

Tabelle 3-1:	Übersicht: Randbedingungen, Art und Anzahl der modellierten Varianten sowie die daraus ermittelten Ergebnisse für das Pilotgebiet Bürgerpark Köln-Kalk.....	13
Tabelle 3-2:	Übersicht: Randbedingungen, Art und Anzahl der modellierten Varianten sowie die daraus ermittelten Ergebnisse für die Pilotanwendung oberirdische Bahn-Haltestellen	14
Tabelle 5-1:	Nutzen- und Kostenkomponenten der Kosten-Nutzen-Analyse	27

ABKÜRZUNGEN

Abkürzung	Bedeutung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (bis 2025)
BMFTR	Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr in Kraftfahrzeuge pro Stunde
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef
ESB	Erfassung-Speicherung-Bereitstellung (Modell)
ΔW	Abweichung des lokalen Wasserhaushaltes von einer naturnahen Referenz, skaliert zwischen 0 und 100 %.
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. Bonn
GD	Gründach
GIS	Geografisches Informationssystem
HOB	hydrologisch optimierter Baumstandort
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens in [m/s]
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
KRITIS	Kritische Infrastruktur(en)
LFKW	Lehr- und Forschungskläwerk der Universität Stuttgart
LID	Low Impact Development
MKA	Multikriterienanalyse
RBF	Retentionsbodenfilter
RWB	Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (Standard)
RWB+	Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, funktional angepasst an das Wasserextrem Starkregenüberflutung
RWB-N	Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zur Regenwassernutzung, funktional angepasst an das Wasserextrem Trockenheit/Dürre
SRI	Starkregenindex nach Schmitt et al. (2018)
SWMM	Storm Water Management Model (US EPA)
T_n	Statistische Wiederkehrzeit in Jahren [a]
TW	Trinkwasser
US EPA	United States Environmental Protection Agency
WHH	Wasserhaushalt

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung von AMAREX

Übergeordnete Zielsetzung des Verbundvorhabens AMAREX war es zu untersuchen, welche Möglichkeiten sich zur Anpassung des Regenwassermanagements durch blau-grüne Infrastrukturen (BGI) und Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB) an die zunehmenden Extrembelastungen Starkregen, Trockenheit und Hitze ergeben. Darüber hinaus wurde die Eignung der urbanen Wasserbilanz als zentraler Bewertungsindikator für den Anpassungserfolg überprüft. Mit den geleisteten Forschungsergebnissen und insbesondere der Entwicklung eines Planungs-Webtools sollten Kommunen wertvolle Erkenntnisse und Werkzeuge angeboten werden, um diese bei einer verbesserten Anpassung an die wasserbezogenen Folgen des Klimawandels zu unterstützen.

1.2 Projektstruktur und Handlungsfelder in AMAREX

Das Verbundvorhaben AMAREX war neben einem Rahmen-Arbeitspaket zur Projektkoordination (AP 0) inhaltlich in fünf Arbeitspakete (AP) und ein zusätzliches untergliedert. Jedes Arbeitspaket wurde federführend von einem Verbundpartner geleitet und umfasste mehrere Aufgaben (A), in die weitere Verbundpartner eingebunden waren. Die Darstellung in Abbildung 1-1 verdeutlicht den hohen Interaktionsgrad und die starke Vernetzung der einzelnen Arbeitspakete untereinander.

Aus der Projektstruktur des Verbundvorhabens lassen sich unmittelbar die Handlungsfelder von AMAREX erkennen: Die drei fachtechnischen Arbeitspakete AP 2 bis AP 4 widmeten sich der Anpassung des Regenwassermanagements an die verschiedenen Wasserextreme in den Handlungsfeldern Starkregenvorsorge (AP 2), Trockenheitsvorsorge (AP 3) und urbaner Wasserhaushalt (AP 4). Über verschiedene Querschnittsaufgaben zur Ableitung von Maßnahmenkatalogen waren diese eng gekoppelt und aufeinander abgestimmt. Das weitere Handlungsfeld Sozio-ökonomische Bewertung (AP 5) verwertete übergeordnet die Maßnahmenkataloge der AP 2 bis AP 4 und lieferte wichtige Arbeitsoutputs sowohl an den kommunalen Anker (AP 1) als auch als Ergänzung des Planungstools.

Die genannten Arbeitspakete sind ferner verankert mit der kommunalen Anwendungsebene des AP 1. Hier wurden zum einen über den Bezug auf die ausgewählten Pilotgebiete die wesentlichen Arbeitsgrundlagen der AP 2 bis AP 4 bereitgestellt, zum anderen über Bedarfs- und Akteursanalysen die Ergebnisse und Projektoutputs der AP 2 bis AP 4 evaluiert und validiert sowie maßgeblich die Entwicklung und Erprobung der webbasierten Toolbox der Planungsinstrumente begleitet.

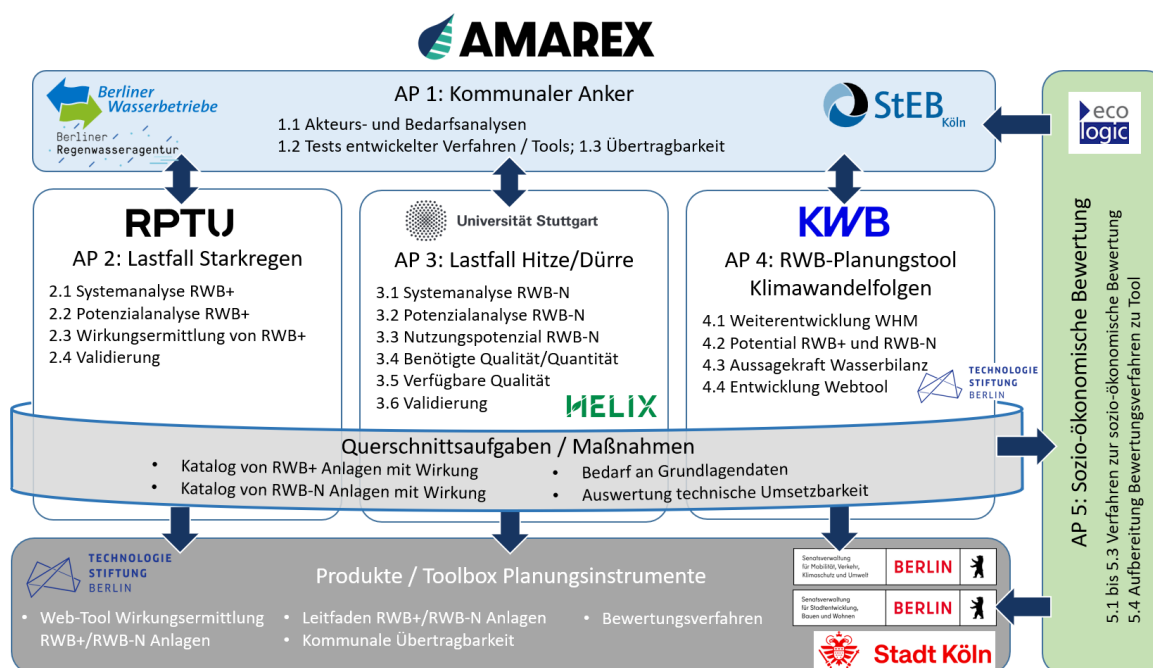


Abbildung 1-1: Arbeitsstruktur und Interaktionen im Verbundvorhaben AMAREX

1.3 Gliederung und Inhalte des Syntheseberichts

Der vorliegende Synthesebericht fasst die wesentlichen Arbeits- und Forschungsaktivitäten des Verbundvorhabens AMAREX ergebnisbezogen zusammen. Er dokumentiert in kompakter Form die wesentlichen Projektergebnisse und Outputs, untergegliedert in

- Handlungsfeld Starkregenvorsorge
- Handlungsfeld Trockenheitsvorsorge
- Handlungsfeld Urbaner Wasserhaushalt
- Handlungsfeld Sozio-ökonomische Bewertung sowie
- Querschnittsthemen und kommunale Interaktion

Die Projektergebnisse sind zudem einsehbar über die Projektwebseite des Verbundvorhabens AMAREX (www.amarex-projekt.de)¹ und teilweise die Webseiten der einzelnen Verbundpartner.

¹ Link zuletzt geprüft am 23.02.2026

2 Handlungsfeld Starkregenvorsorge

2.1 RWB/RWB+ Überflutungskarten und simulationsbasierte Effektanalyse zur Überflutungsminde rung durch RWB/RWB+ Anlagen

Kurzbeschreibung:

- Zur Quantifizierung des Effekts der Überflutungsminde rung von konventionellen (RWB) und an Wasserextreme angepassten RWB+ Anlagen wurden für das Pilotgebiet Berlin I gekoppelte 1D/2D-Simulationen durchgeführt und ausgewertet.
- Es wurden insgesamt 169 digitale Überflutungskarten des Pilotgebiets erzeugt, die den Status quo und verschiedene RWB+ Szenarien (9 RWB+ Anlagen in je vier Implementierungsgraden) bei zwei 2 Regenbelastungen wiedergeben.
- Ausgewählte Überflutungskarten sind über das AMAREX Planungs-Webtool einsehbar.

2.1.1 Methodik

Zur Wirkungsanalyse von RWB/RWB+ Anlagen bei Starkregenüberflutungen wurde für das Pilotgebiet „Berlin I“ ein gekoppeltes 1D/2D-Simulationsmodell mit der Software InfoWorks ICM aufgebaut und darin die verschiedenen RWB- und RWB+ Anlagen nach einer Vorbemessung als **SWMM LID-Elemente**² integriert. Die hydraulische Kopplung der beiden Teilmodelle erfolgte über Schachtknoten und Straßenabläufe (Abbildung 2-1).

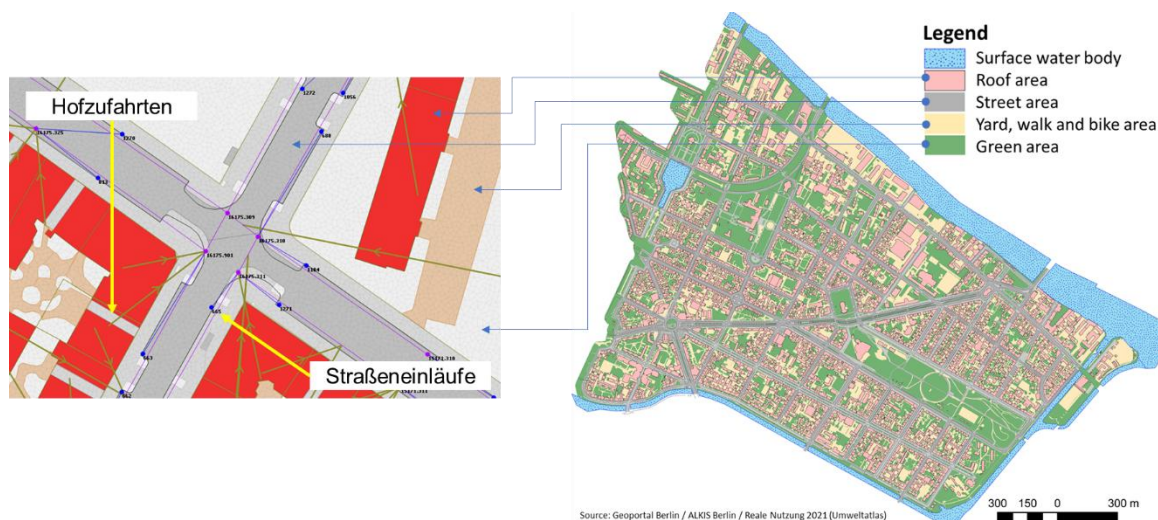


Abbildung 2-1: Pilotgebiet Berlin I (rechts) mit modelltechnischer Abbildung in InfoWorks ICM (links)

Die **Versickerungsanlagen** wurden gemäß DWA-A 138-1 (DWA, 2024) dimensioniert, wobei die Versickerungsmulde, Rigole und das Mulden-Rigolen-Element auf die in der Praxis übliche Bemessungsjährlichkeit von $T_n = 5$ a und die entsprechenden RWB+ Varianten auf $T_n = 100$ a

² Low Impact Development (LID) Elemente der Modellsoftware Storm Water Management Model (SWMM) der US Environmental Protection Agency (epa.gov). Die Parametrisierung der LID-Elemente ist in Neumann et al. (2024a) beschrieben.

dimensioniert wurden. Die Anlagenflächen der RWB+ Varianten sind im Vergleich zu den jeweiligen standardmäßig dimensionierten Anlagen etwa doppelt so groß.

Für die **Gründächer** wurde keine Bemessung durchgeführt, sondern repräsentative Dachaufbauten für die verschiedenen Gründacharten unter Berücksichtigung der FLL-Dachbegrünerungsrichtlinien (FLL, 2018) ausgewählt. Das extensiv begrünte Dach dient als Standardvariante (RWB), aus dem das intensive Gründach und das Retentionsdach als RWB+ Varianten entwickelt wurden.

Bei den **Zisternenarten** wurde das Nutzvolumen der Zisterne (RWB) gemäß DIN EN 16941-1 (DIN, 2024) vereinfacht anhand des jährlichen Regenwasserertrags bemessen. Die Retentionszisternen (RWB+ Variante) wurden um zusätzliches Retentionsvolumen erweitert, das auf den Rückhalt eines 5-jährlichen Niederschlagsereignisses ausgelegt wurde.

Die **Baumstandorte** umfassen den hydrologisch optimierten Baumstandort (HOB) und als RWB+ Variante die Baumrigole. Beide wurde auf das 5-jährliche Niederschlagsereignis dimensioniert, allerdings kann an die Baumrigole eine größere abflusswirksame Fläche (120 m²) als beim HOB (78 m²) angeschlossen werden.

Die Wirkung der RWB/RWB+ Anlagen zur Überflutungsminderung wurde anhand unterschiedlicher theoretischer Simulationsszenarien zur Bewirtschaftung der Dachflächenabflüsse mit unterschiedlichen Implementierungsgraden der Anlagen untersucht:

- Zwei unterschiedliche Regenlastfälle R1E (außergewöhnlicher Starkregen) und R2E (extremer Starkregen, siehe Anhang 1, Tabelle A 1).
- 14 verschiedene RWB/RWB+ Anlagen und Referenzzustand (ohne RWB)
- Vier fiktive Implementierungsgrade 25 %, 50 %, 75 % und 100 %³
- Beschränkung auf Bewirtschaftung der Dachflächenabflüsse (Ausnahme Baumstandorte: Straßenfläche)

Insgesamt wurden 169 Szenarien simuliert, wie in Tabelle A 2 (Anhang 1) dargestellt. Es war zur Quantifizierung der Effekte erforderlich, auf Kombinationen verschiedener Anlagen zu verzichten und „typenreine“ Simulationen durchzuführen. Ebenso wurden die Implementierungsgrade bewusst (weit) jenseits der real umsetzbaren gewählt, um die Anlagen im Quervergleich bewerten zu können.

2.1.2 Ergebnisse

Eine Auswahl der erzeugten Überflutungskarten ist über die AMAREX Projektwebseite verfügbar. Darüber hinaus sind 2 Überflutungskarten exemplarisch im Prototyp des AMAREX Planungs-Webtools unter „Themenkarten“ integriert.

Die Wirkungsquantifizierung zur Überflutungsminderung durch die Anlagen wurde anhand der absoluten und prozentualen Reduzierung des Überflutungsvolumens im Gesamtgebiet vorgenommen. Abbildung 2-2 zeigt diese beispielhaft als Quervergleich der verschiedenen Anlagen

³ Der Implementierungsgrad beschreibt den über die Anlage bewirtschafteten Anteil der Dachflächen: Bei 100 % sind alle Dachflächen des Untersuchungsgebiets z. B. an Mulden angeschlossen oder als Gründächer ausgeführt, bei 50% jeweils die halbe Fläche.

für beide Starkregenlastfälle bei einem Implementierungsgrad von 100 %. Darüber hinaus sind darin jeweils auch das Überlauf- bzw. das Drainage- oder Drosselabflussvolumen aufgeführt.

Die **Versickerungsanlagen** (blaue Säulen in Abbildung 2-2) reduzieren beim Regenereignis R1E als herkömmliche RWB Anlagen das Überflutungsvolumen um ca. 22 % - 25 %. Bei den doppelt so großen RWB+ Anlagen ist der Minderungseffekt um ca. 10 %-Punkte höher (32,8 % - 33,8 %), zudem tritt kein Überlauf aus den Anlagen auf. Beim extremen Regenereignis R2E geht die Minderungsleistung der Versickerungsanlagen in vergleichbarer Größenordnung um ca. 15 % zurück. Sie liegt bei den RWB-Anlagen noch bei ca. 5 % bis 9 %, bei den RWB+ Anlagen bei ca. 15 % bis 26 %, was im Vergleich zu den herkömmlichen Anlagen eine etwa dreifach größere Reduktion darstellt. Insgesamt sind von den Versickerungsanlagen die Mulden-Rigolen-Elemente am leistungsfähigsten.

Die **Gründächer** (grüne Säulen in Abbildung 2-2) leisten insgesamt einen deutlichen Effekt zur Überflutungsminderung: Für das Regenereignis R1E liegen die Reduzierungen bei allen drei Ausführungsarten bei über 31 %, wobei die extensive Dachbegrünung aufgrund des geringeren Speichervermögens der Substratschicht etwas schwächer ist und ein Drainageabfluss (Überlauf) eintritt. Die intensive Dachbegrünung und das Retentionsdach als RWB+ Anlagen nehmen den kompletten Starkregen auf und sind insgesamt die leistungsfähigsten Anlagen. Sie erhalten sogar beim Extremregen R2E ihre Minderungsleistung aufrecht, wohingegen das extensive Gründach nur noch etwa halb so performant ist (ca. 14 %).

Bei den **Zisternenarten** (graue Säulen in Abbildung 2-2) erreichen die konventionellen Zisternen beim Regenereignis R1E lediglich eine Reduktion von 10,7 %, da sie bei Ereignisbeginn zur Hälfte gefüllt sind. Beim Extremregen R2E ist die Minderungswirkung vernachlässigbar. Zudem findet immer ein ausgeprägter Überlauf statt. Etwas besser wirken erwartungsgemäß die Retentionszisternen. Sie erzielen eine Reduktion des Überflutungsvolumens von 27,3 % und 31,5 % bei Ereignis R1E und ca. 12 % bei Ereignis R2E.

Die überflutungsmindernde Wirkung der **Baumstandorte** (hellbraune Säulen in Abbildung 2-2) ist mit Werten zwischen ca. 4 % bis 7 % bei Ereignis R1E und mit knapp 2 % bei Ereignis R2E insgesamt gering bis vernachlässigbar, wobei die Baumrigolen noch bessere Werte aufweisen als der hydrologisch optimierte Baumstandort (HOB).

2.1.3 Fazit

Die Ergebnisse der Wirkungsanalysen zeigen, dass sich mit Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung und Elementen blau-grüner Infrastruktur durchaus nennenswerte Effekte der Überflutungsminderung im Sinne einer kommunalen Starkregenvorsorge erzielen lassen, gerade wenn sie als RWB+ Anlagen ausgelegt sind. Hier sind vor allem Retentionsdächer und intensiv begrünte Dächer leistungsfähig.

Allerdings sind die Effekte der Überflutungsminderung erst bei hohen Implementierungsraten ab 25 % signifikant erkennbar. Hinzu kommt, dass die Wirkung einer einzelnen Anlage aufgrund der dezentralen Konzeption nur räumlich eng begrenzt ist, was vorliegend gesondert untersucht wurde. Aufgrund ihrer Verbundwirkung kommt es darauf an, ein räumliches Netzwerk verschiedener Einzelanlagen von RWB+ im Projektgebiet zu erzeugen und dabei die RWB+ Anlagen möglichst im Bereich von Überflutungsschwerpunkten räumlich zu konzentrieren.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass aufgrund der limitierten Umsetzungspotenziale im Bestand die kommunale Überflutungsvorsorge nicht allein durch Beiträge angepasster RWB+ Anlagen leistbar ist. Es ist erforderlich, diese mit anderen Maßnahmen (u.a. multifunktionale Freiflächennutzungen als temporären Speicherräume) zu kombinieren.

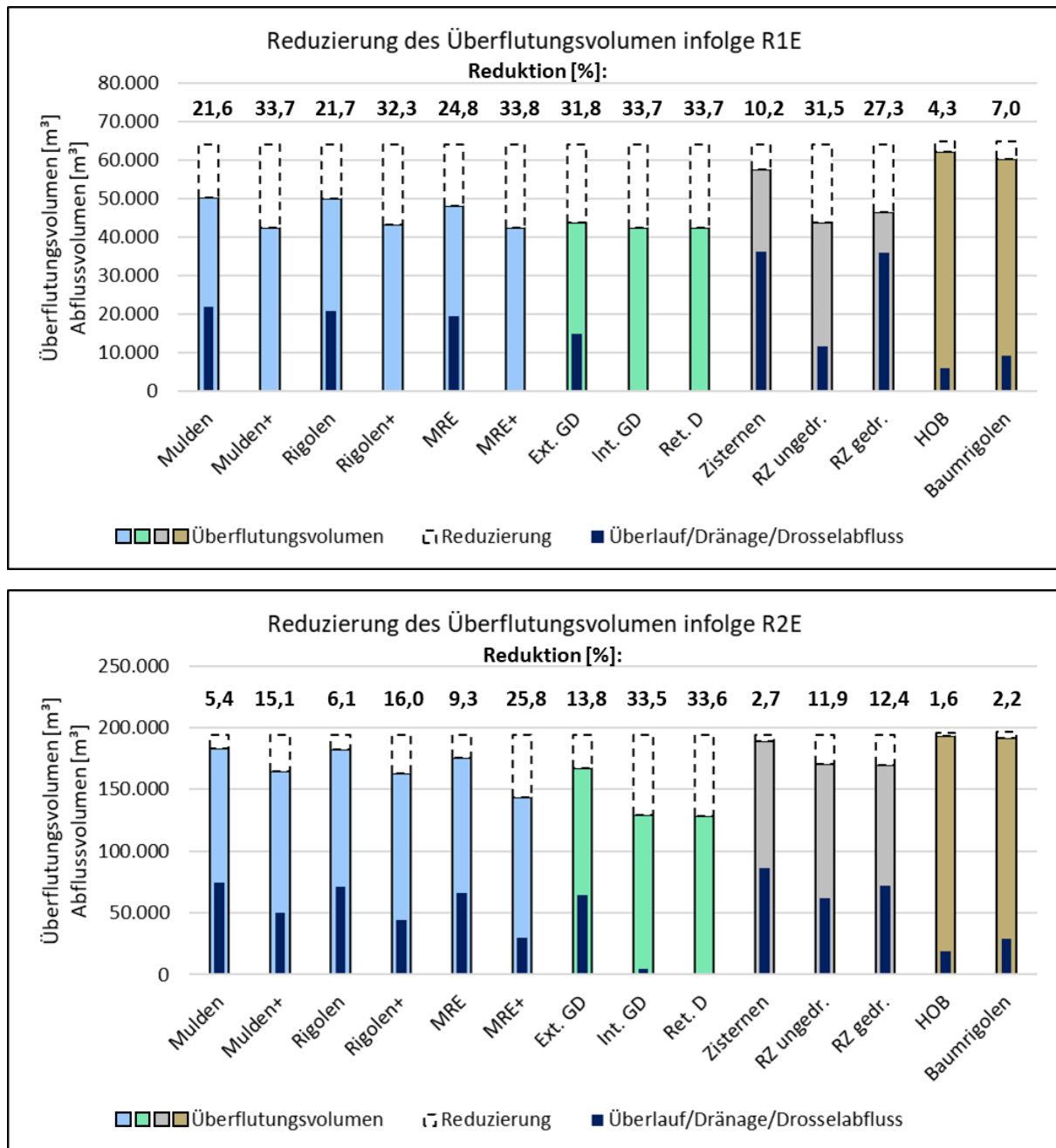


Abbildung 2-2: Vergleich der Überflutungsminderung durch RWB/RWB+ Anlagen für die Starkregenlastfälle R1E (oben) und R2E (unten) bei einem Implementierungsgrad von 100 %

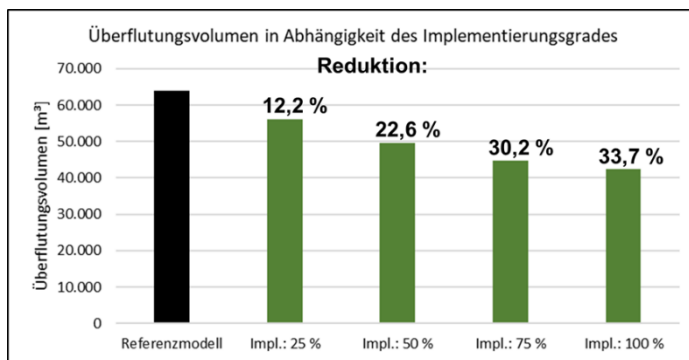
2.2 Browsergestütztes RWB+ Tool zur Wirkungsabschätzung

Kurzbeschreibung:

- Aus den 1D/2D-Überflutungssimulationen (2.1) wurden normierte Wirkungskurven für verschiedene RWB+ Anlagen und Implementierungsgrade abgeleitet, die eine grobe Abschätzung der Überflutungsminderungseffekte in anderen Untersuchungsgebieten ermöglichen.
- Zur Anwendung der Wirkungskurven wurde ein browsergestütztes Tool erstellt, das die Flächengrößen des Untersuchungsgebiets als Eingabewerte benötigt.
Link: <https://rwbplus.amarex-projekt.de/>

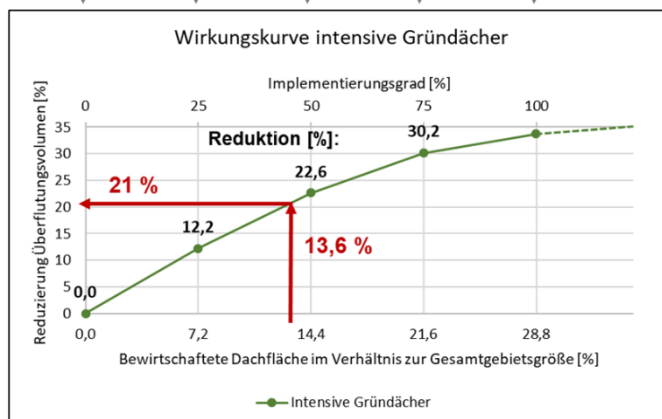
2.2.1 Methodik

Aus den Ergebnissen der gekoppelten 1D/2D-Simulation für Berlin I wurden **Wirkungskurven** für Versickerungsanlagen, Gründächer und die Zisternentypen jeweils für die Niederschlagsbelastungen R1E und R2E abgeleitet, mit denen sich der überflutungsmindernde Effekt der Anlagen auf andere Einzugsgebiete übertragen lässt. Eine Wirkungskurve beschreibt basierend auf den Simulationsergebnissen des Untersuchungsgebiets einen funktionalen Wirkungszusammenhang zwischen dem Bewirtschaftungsanteil einer RWB/RWB+ Anlage und der damit erzielbaren prozentualen Reduzierung des Überflutungsvolumens. Abbildung 2-3 veranschaulicht die Herleitung einer Wirkungskurve exemplarisch für intensiv begrünte Gründächer.



Normierung des Bewirtschaftungsanteils (Berlin I):

100 % Implementierung entsprechen 98 ha Dachfläche
Gesamtgebiet (Berlin I): 340 ha
Bewirtschaftungsanteil (100 %):
 $98 \text{ ha} / 340 \text{ ha} = 28,8 \%$
(Anteile 25 %, 50 %, 75 % analog)



Ablesebeispiel für neues Gebiet:

Gesamtgebiet: 220 ha
Bewirtschaftbare Dachfläche: 30 ha
Bewirtschaftungsanteil:
 $30 \text{ ha} / 220 \text{ ha} = 13,6 \%$
Ablesewert zur Überflutungsminderung: **21 %**

Abbildung 2-3: Herleitung einer Wirkungskurve zur Effektabschätzung mit Anwendungsbeispiel (Beispiel intensives Gründach)

Die aus der Simulation ermittelte Reduktion der Überflutungsvolumina bei den verschiedenen Implementierungsgraden (dargestellt im Säulendiagramm) werden im darunter liegenden Diagramm auf der x-Achse dem zugehörigen Anteil der über die Anlage bewirtschafteten Dachfläche an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets zugeordnet. Mit dieser Flächennormierung des Bewirtschaftungsanteils kann eine Übertragung des Minderungseffekts auf ein neues, fiktives Einzugsgebiet überschläglich vorgenommen werden. Für dieses müssen sowohl die Gesamtgebietsgröße als auch das Umsetzungspotenzial der Anlage (hier intensive Dachbegrünung) bekannt oder vorgegeben sein. Weitere Erläuterungen dazu finden sich in Neumann et al. (2024c, 2025c).

2.2.2 Validierung und Bereitstellung der Ergebnisse

Zur Validierung der Übertragbarkeit von Wirkungskurven wurden für zwei benachbarte Validierungsgebiete per 1D/2D-Simulation analoge Wirkungskurven erzeugt und diese mit Berlin I verglichen. Dieser Vergleich ergab in einem Fall eine gute, im zweiten Fall eine weniger gute Übereinstimmung und damit Übertragbarkeit der Wirkungskurven. Einzelheiten hierzu sind in Neumann et al. (2024c, 2025c) beschrieben.

Insgesamt ersetzen die Wirkungskurven zwar keine detaillierte Simulation zur Quantifizierung der Überflutungsminderung, sie erlauben jedoch eine erste grobe Abschätzung des überflutungsmindernden Effekts verschiedener RWB/RWB+ Anlagen für ein definiertes Untersuchungsgebiet. Darüber hinaus ist es allerdings zuverlässig möglich, die überflutungsmindernden Effekte verschiedener RWB-Anlagen im relativen Quervergleich zueinander gebietsunabhängig zu quantifizieren, sodass mit der Anwendung der Wirkungskurven eine erste Vorauswahl und Priorisierung von RWB-Anlagen zur Starkregenvorsorge erfolgen kann.

Aus diesem Grund wurde zur erleichterten Anwendung der Wirkungskurven diese in einem **webbasierten RWB+ Tool** umgesetzt. Mit der Anwendung können Entscheidungsträger auf konzeptioneller und planerischer Ebene dabei unterstützt werden, die Regenwasserbewirtschaftung als Maßnahme des Überflutungsschutzes mit einzubeziehen. Statt der grafischen Abtragung über ein Diagramm wird im Webtool die Reduzierung des Überflutungsvolumens errechnet und die Ergebnisse für alle Anlagen in einer tabellarischen Ausgabemaske ausgegeben (siehe Abbildung 2-4). Das RWB+ Tool kann über die Projektwebseite von AMAREX als Webanwendung gestartet werden und erlaubt die Eingabe und Anpassung unterschiedlicher Flächenverfügbarkeiten für die Umsetzung der RWB/RWB+ Anlagen.

Kennwerte Einzugsgebiet

	[ha]	Anteil [%]
Gesamtfläche Einzugsgebiet	300,0	100.0
Gesamtgröße Dachflächen	100,0	33.3

Flächenpotenziale für die Umsetzung von RWB-Anlagen

	[ha]	Hinweise
Grünfläche, die zur Versickerung zur Verfügung steht:	5,0	Es sind keine Anlagenkombinationen möglich!
zu Gründächern umrüstbare Dachflächen:	50,0	
an Zisternen anschließbare Dachflächen:	50,0	

Festgelegte Bodenart: Mittelsand

3 Berechnen

Bewirtschaftung der Dachflächen über ...

	Bewirtschaftbare Dachfläche [ha / %]	Bewirtschaftungsanteil (Gesamtgebiet) [%]
4		
Mulden 5 a	75.5 ha (= 75.5 %)	25.2
Mulden 100 a	36.2 ha (= 36.2 %)	12.1
Rigolen 5 a	100.0 ha (= 100.0 %)	33.3
Rigolen 100 a	66.1 ha (= 66.1 %)	22.0
Mulden-Rigolen-Elemente 5 a	100.0 ha (= 100.0 %)	33.3
Mulden-Rigolen-Elemente 100 a	60.0 ha (= 60.0 %)	20.0
Gründächer (extensiv begrünt)	50.0 ha (= 50.0 %)	16.7
Gründächer (intensiv begrünt)	50.0 ha (= 50.0 %)	16.7
Retentionsdächer	50.0 ha (= 50.0 %)	16.7
Zisternen	50.0 ha (= 50.0 %)	16.7
Retentionszisternen	50.0 ha (= 50.0 %)	16.7
Retentionszisternen (gedrosselt)	50.0 ha (= 50.0 %)	16.7

Reduzierung des potenziellen Überflutungsvolumens durch ...

	100a-Regen, (hN = 48.9 mm, D = 60min) [%]	Extremregen (hN = 100 mm, D = 60min) [%]
5		
Mulden 5 a	19	5
Mulden 100 a	19	7
Rigolen 5 a	23	7
Rigolen 100 a	29	13
Mulden-Rigolen-Elemente 5 a	26	11
Mulden-Rigolen-Elemente 100 a	29	19
Gründächer (extensiv begrünt)	23	8
Gründächer (intensiv begrünt)	25	21
Retentionsdächer	25	21
Zisternen	6	1
Retentionszisternen	23	7
Retentionszisternen (gedrosselt)	20	7

Abbildung 2-4: Eingabemaske (oben), Umsetzungsberechnung (Mitte) und Ergebnisdarstellung (unten) des RWB+ Tools

3 Handlungsfeld Trockenheitsvorsorge

Im Handlungsfeld Trockenheitsvorsorge wurde die technische Erweiterbarkeit bestehender RWB-Anlagen um unterirdische Speicher (RWB-N) sowie deren Potenziale für die Trockenheitsvorsorge und optional Überflutungsvorsorge systematisch untersucht. Langzeituntersuchungen zur Bewässerung des Grüntyps Fassadenbegrünung mit Niederschlagsabflüssen unterschiedlicher Auffangflächen sollten deren Auswirkung auf Wachstum und Verdunstungsleistung klären. Daraus ergaben sich die im Folgenden dargestellten drei Arbeitsschwerpunkte.

3.1 Wassernutzungspotenziale von RWB-N Anlagen

Kurzbeschreibung:

- *Weiterentwicklung des ESB-Modells und Kopplung mit EPA SWMM und EPANET*
- *Modellierung von RWB-N: Wassernutzungspotentiale zur Trockenheitsvorsorge; Systemanalyse und Wasserbilanz*
- *Innovative Lösungen für Bewässerungs- und Nutzungsszenarien (vier Pilotgebiete in Köln)*

3.1.1 Methodik

Kern der Ermittlung von Wassernutzungspotenzialen von RWB-N Anlagen ist das im Rahmen vorangegangener BMBF-Vorhaben (BoHei, 2022; Interess-I, 2021) entwickelte **Erfassungsspeicherungs-Bereitstellungs (ESB)-Modell**. Es wurde ursprünglich entwickelt, um eine ganzheitliche Betrachtung der urbanen Siedlungswasserwirtschaft -gleichzeitiges Verfolgen der Ziele Trinkwassereinsparung, Trockenheitsvorsorge und Starkregenvorsorge- unter Verwendung eines zentralen MultifunktionsSpeichers zu modellieren. Es erlaubt die Berechnung von Wasserbilanzen durch Langzeitmodellierung des Zusammenwirkens der erfassbaren Wasserressourcen, der Nutzungen sowie des dafür erforderlichen Speichervolumens in einem definierten Einzugsgebiet, wobei das Speichervolumen für die Nutzung bzw. Betriebswasserbereitstellung und/oder für die Starkregenvorsorge ermittelt werden kann. Im letztgenannten Fall erfolgt die Berechnung des erforderlichen Retentionsvolumens und/oder der Versickerungsfläche, um einen bestimmten Starkregen abflussreduziert abzuleiten.

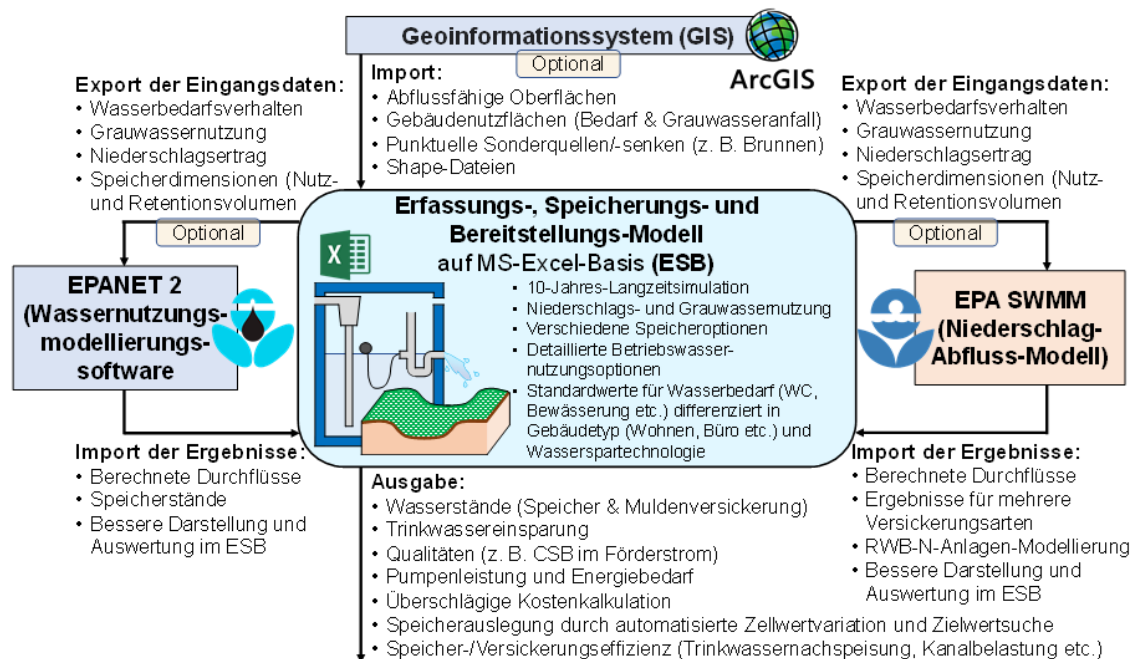


Abbildung 3-1: Übersichtsdarstellung der wichtigsten Funktionen des ESB-Modells

Das ESB-Modell wurde hinsichtlich der Ressource Niederschlagsabflüsse und der für die Trockenheitsvorsorge typischen Nutzungen Bewässerung, Kühlung und Verdunstungsausgleich weiterentwickelt. Die wichtigsten Funktionen, die Datenflüsse, Berechnungsmöglichkeiten und Kopplungsmöglichkeiten mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell EPA SWMM und der Wassernutzungssoftware EPANET 2 sind in Abbildung 3-1 dargestellt.

Mittels GIS-gestütztem Screening zur Identifikation geeigneter Standorte und zur Quantifizierung des Anschluss- und Nutzungspotenzials für neue Speicherlösungen im Gebiet der Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR (StEB) wurden letztlich vier Pilotgebiete ausgewählt:

- **Bürgerpark Köln-Kalk:** Exemplarisch für zu bewässernde Grünanlagen im urbanen Umfeld mit umliegender Bebauung und entsprechendem Niederschlagsabfluss
- **Güterverkehrszentrum Eifeltor und Kalscheurer Weiher:** Exemplarisch für große Gewerbeflächen, die im Trennsystem entwässert werden und die Nutzung des Niederschlagsabflusses für den Verdunstungsausgleich in (künstlichen) Stadtseen
- **Leidenhausener Gärten:** Exemplarisch für Neubaugebiete, in denen durch Abkopplung von Niederschlagsabflüssen der Dachflächen in Zisternen, die in Rigolen überlaufen, ein 0-Abflussgebiet und Trockenheitsvorsorge durch Bewässerungswasserbereitstellung und Trinkwassereinsparung gewährleistet wird
- **Oberirdische Bahn-Haltestellen in Meschenich und Boltenssterstraße:** Exemplarisch für standardisierte Haltestellen, die durch Begrünung und Integration eines Speichers auch Funktionen der Trockenheits- und Starkregenvorsorge erfüllen können

Für diese Gebiete wurden mittels der in Abbildung 3-1 dargestellten Programmkopplung verschiedenste Nutzungsszenarien und Anlagenkonfigurationen betrachtet und jeweils umfassende Wasserbilanzen berechnet.

3.1.2 Ergebnisse

Exemplarisch für die betrachteten Pilotgebiete werden hier der Bürgerpark Köln-Kalk sowie die oberirdischen Bahn-Haltestellen dargestellt.

Pilotgebiet Bürgerpark Köln-Kalk

Abbildung 3-2 gibt im linken Teil einen Überblick über das Einzugsgebiet des Bürgerpark Köln-Kalk mit großen umliegenden Dachflächen. Durch Abkopplung, Vorreinigung mittels RBF, Speicherung und Bereitstellung der Niederschlagsabflüsse dieser Dachflächen für verschiedene Nutzungen kann Trockenheits- sowie Starkregenvorsorge erreicht werden. Bei Versickerung der Speicherüberläufe erfolgt zusätzlich Grundwasserneubildung.

Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über die Randbedingungen, die Art und Anzahl der modellierten Varianten sowie die ermittelten Ergebnisse. Konkret wurde hier eine extreme Bandbreite der möglichen Nutzungen -11 Varianten der Nutzung bzw. Bewässerung zwischen 99 m³/a (nur Baumbewässerung) und 6.674 m³/a (Wiese konventionell)-, der möglichen Flächenabkopplungen -5 Anschlussvarianten mit Auffangflächen zwischen 8.540 m² (Ostteil Parkhaus) und 21.375 m²- sowie 3 unterschiedlich harte Bemessungsregeln, also in Summe 165 Varianten berechnet. Im Ergebnis variiert das erforderliche Speichervolumen zwischen 12 m³ bei minimaler Nutzung (Baumnotbewässerung) und 5.180 m³ bei der Variante mit maximaler Nutzung, 0 % Trinkwassernachspeisung und nur einem Teilanschluss der Auffangflächen.



Abbildung 3-2: links: Bürgerpark Köln-Kalk samt umliegender potentieller Niederschlagsauffangflächen (Google Earth); rechts: Konzept der Speicherung und Nutzung von Niederschlagswasser zur Bewässerung von begrünten oberirdischen Bahn-Haltestellen

Tabelle 3-1: Übersicht: Randbedingungen, Art und Anzahl der modellierten Varianten sowie die daraus ermittelten Ergebnisse für das Pilotgebiet Bürgerpark Köln-Kalk

Zweck der Regenwassernutzung	Bewässerung (Bäume & Wiesenflächen), Verdunstungskühlung durch Verdüsung im Bereich von Sitzgelegenheiten & Sportplätzen, Bereitstellen von Wasser für Schmuckanlagen und Straßenreinigung; Minderung des Niederschlagswasser-abflusses in die Kanalisation durch Abkopplung der Parkplatz- und Dachflächen
Umbau in RWB+N-Anlage	Abkopplung von Parkplatz- & Dachflächen und Anbindung an Zisterne (ohne Retentionsvolumen), Überlauf: Ableitung in Versickerungsmulde
Dürrevorsorge	Bewässerungswasserbereitst., Grundwasserneubildung & Trinkwassereinsparung
Starkregenüberflutungsschutz	Flächenabkopplung; Niederschlagswasserrückhalt und Versickerung/Verdunstung (Zisterne und Mulde)
Potenzielle Auffangflächen	Parkhaus Köln Arcaden: 17.633 m ² , Sportplätze: 1.484 m ² , Polizeipräsidium: 2.258 m ² , insgesamt verfügbar: 21.375 m ²
Vorreinigung	Retentionsbodenfilter (RBF) mit ca. 200 m ² Filterfläche
Zu bewässernde Vegetation	18.538 m ² Wiesenfläche; 141 Bäume; Verdunstungskühlung (61 Luftstelen mit 150 Betriebstagen pro Jahr); 3000 m ² Schmuckanlagen
Gesamtwasserbedarf	3.708 m ³ /a (Wiese Tropfschläuche) + 99 m ³ /a (Bäume) + 351 m ³ /a (Luftstelen) + 1.200 m ³ /a (Schmuckanl.) = 5.358 m ³ /a + 1.522 m ³ /a (Strassenrein.) = 6.880 m ³ /a
Software	ESB-Modell und EPA SWMM
Zeitraum	2014-2023, Stündliche Niederschlagsdaten, tägl. Wind- und Temperaturdaten
Nutzungsszenarien	11 Varianten der Nutzung bzw. Bewässerung zwischen 99 m ³ /a (nur Baum-bewässerung) und 6.674 m ³ /a (Wiese konventionell)
Anschlussvarianten	5 Varianten zwischen 8.540 m ² (Osteil Parkhaus) und 21.375 m ² (alle Dachflächen)
Bemessungsregeln	Hart: 0 % TW-Nachspeisung Mittelhart: Bedarfsdeckung durch Niederschlagsabfluss in 9 von 10 Jahren (Ausnahme: Extremtrockenjahr 2018) Weich: < 10 % TW-Nachspeisung
Modellvarianten	165: 11 Nutzungen * 5 Anschlussvarianten* 3 Bemessungsregeln TW-Nachspeisung
Nutzvolumen Zisterne	Zwischen 12 m ³ bei Bewässerung nur von Bäumen (Notbewässerung) und 5.180 m ³ bei Bewässerung von Bäumen, Wiese und Schmuckanlagen / 0 % TW-Nachspeisung / nur 8.540 m ² Anschlussfläche
Muldenfläche	Bei 30 cm Tiefe & Ausnutzung aller Auffangflächen: 950 m ² (1-Jahres-Regen), 1.474 m ² (5-Jahres-Regen), 2.825 m ² (100-Jahres-Regen); bei Berücksichtigung des RBF als Rückhalteraum kann die Muldenfläche <1.000 m ² ausfallen
Niederschlagsertrag	15.108 m ³ /a bei 706,8 mm Niederschlag (Mittelwert 2014 bis 2023)

Pilotanwendung Bahn-Haltestellen in Meschenich und Boltensterstraße

Für zwei oberirdische Standard-Bahn-Haltestellen, eine mit Mittelbahnsteig (210 m²) und eine mit seitlichen Bahnsteigen (247,5 m²), sollte modelliert werden, ob der auf dem Bahnsteig aufkommende Niederschlag, der in einem Speicher unterhalb des jeweiligen Bahnsteigs aufgefangen wird, für die Bewässerung von Dach- und Fassadenbegrünung am Bahnsteig ausreicht. Abbildung 3-2 veranschaulicht im rechten Teil das geplante Konzept.

Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über die Randbedingungen, die Art und Anzahl der modellierten Varianten sowie die ermittelten Ergebnisse. Konkret wurde hier lediglich eine Nutzung - Bewässerung einer Fassadenbegrünung-, eine mögliche Flächenabkopplung -Abkopplung der gesamten Bahnsteigfläche- und nur die harte Bemessungsregel -0 % Trinkwassernachspeisung innerhalb des betrachteten 10-Jahreszeitraums- berechnet. Es wurden die möglichen Speicherhöhen und somit Speichergrößen in 3 Stufen variiert und die sich daraus ergebenden zu bewässernden Fassadenbegrünungsflächen ermittelt.

Tabelle 3-2: Übersicht: Randbedingungen, Art und Anzahl der modellierten Varianten sowie die daraus ermittelten Ergebnisse für die Pilotanwendung oberirdische Bahn-Haltestellen

Zweck der Regenwassernutzung	Bewässerung von Fassadenbegrünung an oberirdischer Bahn-Haltestelle
Umbau in RWB+N-Anlage	Abkopplung von Niederschlagsabflüssen des Bahnsteigs und Einleitung in Zisterne (ohne Retentionsvolumen) im Bahnsteig selbst, Ableitung Überlauf in Kanal
Dürrevorsorge	Bewässerungswasserbereitstellung und Trinkwassereinsparung
Starkregenüberflutungsschutz	Flächenabkopplung; Niederschlagswasserrückhalt und Verdunstung (Bahnsteig und Begrünung)
Potenzielle Auffangflächen	Mittelbahnsteig: 55 m × 4,5 m = 247,5 m ² ; Seitlicher Bahnsteig: 60 m × 3,5 m = 210 m ²
Zu bewässernde Vegetation	Je nach vorhandener Speicherkapazität & vorliegendem Abflussbeiwert bei 1 m ³ /m ² /a Wasserbedarf ohne Trinkwassernachspeisung: Mittelbahnsteig: 142–170 m ² Fassadenbegrünungsfläche; Seitlicher Bahnsteig: 113–142 m ² Fassadenbegrünungsfläche
Gesamtwasserbedarf	Je nach vorhandener Speicherkapazität & vorliegendem Abflussbeiwert bei 1 m ³ /m ² /a Wasserbedarf ohne Trinkwassernachspeisung: Mittelbahnsteig: 142–170 m ³ /a; Seitlicher Bahnsteig: 113–142 m ³ /a
Software	ESB-Modell
Zeitraum	2014-2023, Stündliche Niederschlagsdaten
Bemessungsregel	Hart: 0 % TW-Nachspeisung während 10-Jahreszeitraum, lediglich Startfüllung
Modellvarianten	Variation Abfluss-/Ertragsbeiwert: 0,8 / 0,9; Variation Speicherhöhe: 0,5 / 0,7 / 0,9 m
Nutzvolumen Zisterne	Speicherhöhe zwischen 0,5 und 0,9 m (Speicherfläche entspricht Bahnsteigfläche): Mittelbahnsteig: 123–223 m ³ mögliches Gesamtspeichervolumen, davon 99–198 m ³ Nutzvolumen; Seitlicher Bahnsteig: 105–189 m ³ mögliches Gesamtspeichervolumen, davon 84–168 m ³ Nutzvolumen
Niederschlagsbeitrag	Mittelbahnsteig: 174,7 m ³ /a bei 705,8 mm Niederschlag (Mittelwert 2014–2023); Seitlicher Bahnsteig: 148,8 m ³ /a bei 706,8 mm Niederschlag (Mittelwert 2014–2023)
Zisternenüberlaufvolumen	Mittelbahnsteig: 1–3 m ³ /a; Seitlicher Bahnsteig: 2–11 m ³ /a

3.1.3 Fazit

Das weiterentwickelte ESB-Modell ermöglicht die Berücksichtigung einer großen Bandbreite unterschiedlichster Randbedingungen und die Simulation einer Vielzahl von denkbaren Varianten und liefert dem Anwender damit eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die spätere Auswahl der praktisch umzusetzenden Variante.

3.2 RWB-N Nutzvolumenrechner für verschiedene Bewässerungsarten

Kurzbeschreibung:

- *MS Excel-Tool zur individuellen Zisternendimensionierung für Anwendungen auf Gebäude-, Grundstücks- oder Quartiersebene*
- *Tool liefert Funktionsbeziehung: Nutzvolumen – TW-Nachspeisung – Überlauf (Ziel: $\leq 10\%$ TW-Nachspeisung) für vier verschiedene Bewässerungsarten*
- *Link: über <http://www.amarex-webtool.technologiestiftung-berlin.de/> verfügbar*

3.2.1 Methodik

Ziel dieses Arbeitsschwerpunkts war die Entwicklung eines einfach zu bedienenden **MS Excel-Tools** zur Berechnung des erforderlichen Zisternennutzvolumens für Berlin und Köln sowie verschiedene Bewässerungsvarianten auf Gebäude-, Grundstücks- und Quartiersebene.

Zunächst wurden mit dem ESB-Modell mit Niederschlagsdaten von Köln und Berlin jeweils ca. 450.000 10-Jahres-Simulationen (2014-2023) für einen Auffangflächenbereich zwischen 1 und 10.000 m², einen Jahresbewässerungsbedarf zwischen 1 und 5000 m³/a und 4 verschiedene Bewässerungsvarianten durchgeführt, bei denen das erforderliche Nutzvolumen und der Zisternenüberlauf bei Einhaltung der Bemessungsregel $<10\%$ Trinkwassernachspeisung berechnet wurden. Die Ergebnisse wurden in je 12 Matrizen für Berlin und Köln hinterlegt. Das MS Excel-Tool ermöglicht es dem Nutzer, Daten wie effektive Auffangfläche und unterschiedliche Bewässerungsflächen einzugeben sowie zwischen vier verschiedenen Bewässerungsarten auszuwählen. Basierend auf diesen Eingaben wird eine Doppelinterpolation in den hinterlegten Matrizen durchgeführt, um für das konkrete Szenario das erforderliche Nutzvolumen, die notwendige Trinkwassernachspeisung und den Speicherüberlauf auszulesen und darzustellen.

3.2.2 Ergebnis

Abbildung 3-3 zeigt die beiden Eingabefelder für die betrachteten Auffang- und Bewässerungsflächen sowie die vier möglichen Bewässerungsarten. Hierbei ist auch die Wahl einer Variante mit konstantem Wasserbedarf über das gesamte Jahr möglich. Diese entspricht z.B. der Wassernutzung für die Toilettenspülung, so dass auch das erforderliche Nutzvolumen für diese Niederschlagswassernutzung ermittelt werden kann.

Abbildung 3-4 zeigt die Ergebnisausgabe für den in Abbildung 3-3 dargestellten Berechnungsfall. Das grüne Kreuz bildet das berechnete Szenario ab (Bewässerungsjahresbedarf 117,5 m³/a). Das Diagramm zeigt das erforderliche Nutzvolumen (exponentiell steigend), die zugehörige Trinkwassernachspeisung (linear steigend) und den Überlauf (linear fallend) für die vorgegebene Auffangfläche in Abhängigkeit von einer Bandbreite des jährlichen Bewässerungsbedarfs. Es bietet somit die Möglichkeit, zu beurteilen, ob höhere oder niedrigere jährliche Bewässerungsbedarfe bei noch vertretbaren Nutzvolumina ausgeschöpft werden können.

EINGABEFELD AUFFANGFLÄCHE

Ort: Berlin
Auffangflächen: 3

Auffangfläche:	Fläche / m ² :	Ertragsbeiwert:	Vorgeschlagener Ertragsbeiwert:
Gründach intensiv	250	Automatisch	0,3
Gründach extensiv	100	Automatisch	0,5
Flachdach mit Kies	500	Manuell 0,75	0,7

Gesamte Auffangfläche: 850 m²
Effektive Auffangfläche: 500 m²

EINGABEFELD BEDARF

Bewässerungsvariante: Variante 3: April - September
Anzahl zu bewässernder Flächen: 2

Bewässerungsfläche:	Fläche / m ² :	Bedarf / m ³ /a:
Blumenbeet	250	0,35
Wiese	150	0,2

Bewässerungsjahresbedarf: 117,5 m³/a

Abbildung 3-3: Eingabefelder des RWB-N Nutzvolumenrechners für die Auffangflächen in den Standorten Köln oder Berlin (oben) und für die Bewässerungsflächen und die vier möglichen Bewässerungsvarianten (unten)

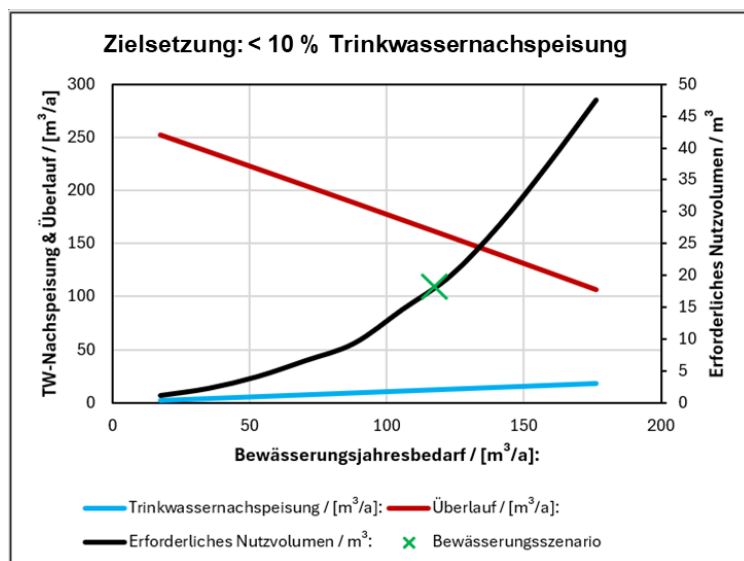


Abbildung 3-4: Ergebnisausgabe des RWB-N Nutzvolumenrechners (Beispiel)

3.2.3 Fazit

Als Ergebnis liegt ein einfach zu bedienendes Tool vor, mit dem für die Standorte Berlin und Köln die erforderlichen Nutzvolumina von Zisternen für effektive Auffangflächen bis 10.000 m² und Bewässerungsjahresbedarfe bis 5.000 m³/a sowie verschiedene Bewässerungsarten ermittelt werden können. Der RWB-N Nutzvolumenrechner sowie eine ausführliche Anleitung sind verfügbar über die Webseite des Verbundvorhabens und des Planungs-Webtools:

<https://www.amarex-webtool.technologiestiftung-berlin.de/amarex/>⁴

⁴ Link zuletzt geprüft am 15.01.2026

3.3 In-situ Versuche zur Bewässerung von Efeu-Fassadenbegrünungsmodulen

Kurzbeschreibung:

- *Retentionszisternen für verschiedene Oberflächenabflüsse: Nutzung zur Bewässerung des Grüntyps Fassadenbegrünung und Retention zur Drosselung von Spitzenabflüssen*
- *Langzeit-Qualitäts- & Quantitätsuntersuchungen zur Nutzbarkeit als Bewässerungswasser*
- *Untersuchungen zum Einfluss von Qualität und Quantität der Bewässerung auf die Vitalität der Efeu-Module*

3.3.1 Methodik

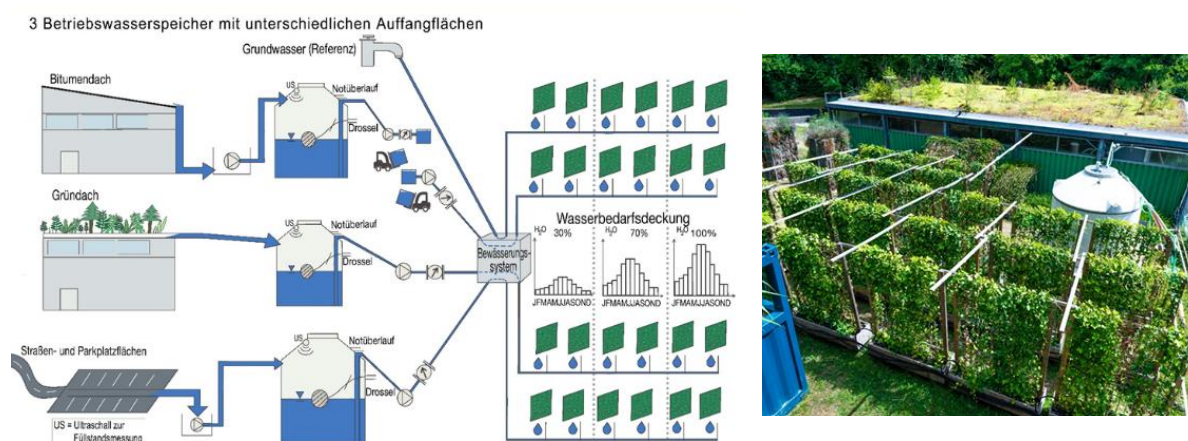


Abbildung 3-5: links: Schema der Versuchsanlage; rechts: Sicht auf die Efeumodule und die Gründachzisterne, der das Dachablaufwasser des dahinterliegenden Gründachs zufließt

Es wurden Langzeituntersuchungen über 3 Wachstumsperioden zur Bewässerung des Grün-typs „Fassadenbegrünung“ mit Oberflächenabflüssen dreier Auffangflächen durchgeführt. Ab-bildung 3-5 gibt links einen Überblick über das Schema der Versuchsanlage. Der rechte Teil gibt einen Eindruck über die Aufstellung der 24 Efeumodule sowie einer der drei Retentions-zisternen. Die Versuchsanlage bestand aus drei Retentionszisternen unterschiedlicher Ab-messung, in die jeweils verschiedene Oberflächenabflüsse i) Bitumendach, ii) Gründach und iii) Straßen-/Parkplatzflächen eingeleitet wurden. Das Zisternenvolumen aller drei Zisternen setzte sich jeweils aus einem Nutzvolumenanteil, der unterhalb der Drossel liegt und langfristig Bewässerungswasser speichert, und einem Retentionsvolumenanteil, der zwischen Drossel und Überlauf liegt und als Kurzzeitspeicherraum für die verzögerte Abgabe von Spitzenabflüs-sen dient, zusammen. Von den Zisternen aus gelangte das Wasser über eine Verteilstation zu 24 Efeumodulen. Insgesamt wurden 18 Efeumodule mit Wasser aus diesen drei Zisternen bewässert. Diese wurden jeweils paarweise mit 100 % (optimale Bewässerung), 70 % (Erhal-tungsbewässerung) und 30 % (kritische Bewässerung) Anteil ihres optimalen Bewässerungs-bedarfs gemäß Erfahrungswerten von HELIX Pflanzensysteme GmbH mit einer bestimmten Wasserqualität bewässert. Als Referenz wurden zusätzlich sechs Efeumodulen mit Grundwas-ser bewässert.

3.3.2 Ergebnisse

Die In-Situ-Versuche wurden von Analytik des Zisternenwassers, Mengenmessungen sämtlicher Wasserströme sowie Analysen zur Vitalität der Efeu-Module begleitet. Zu klären waren u.a. die Fragen nach dem Einfluss von Oberflächenabfluss- bzw. Zisternenwasserqualität und Bewässerungsmenge auf die Pflanzenvitalität. Diese wurde dabei durch monatliche fotografische Dokumentation aller 24 Efeumodule visuell sowie durch Triebblängenmessungen messtechnisch erfasst (siehe Abbildung 3-6).

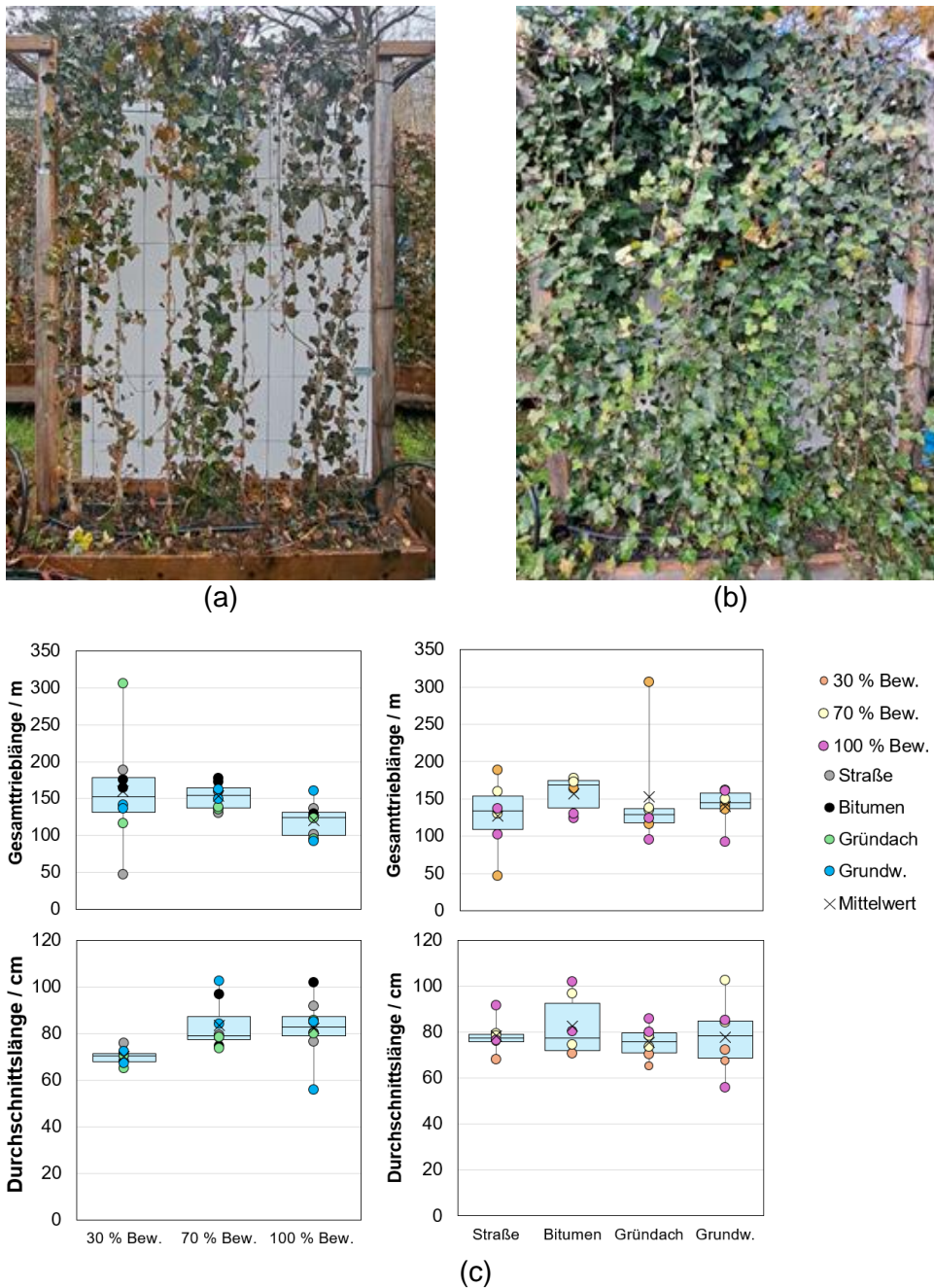


Abbildung 3-6: Beispielbilder zur Fotodokumentation des Efeumoduls Parkplatz 100 %: (a) Beginn Wachstumsperiode 2024 nach einheitlichem Rückschnitt, (b) Ende Wachstumsperiode 2024, (c) Gesamtriethylänge und Durchschnittstriethylänge der Efeumodule bei der Triebblängenmessung nach der Vegetationsperiode 2024 aufgeteilt nach Herkunftswasserqualität und Bewässerungsmenge

Aus der Gesamtschau der Ergebnisse lassen sich für den Einfluss der Bewässerungsmengen und der Wasserqualitäten folgende Folgerungen ziehen:

Für die **Bewässerungsmengen**:

- Die zu Beginn der Untersuchungen als ideal angenommene Jahresbewässerungsmenge von $1,0 \text{ m}^3/\text{a}$ bezogen auf den m^2 Fassadenbegrünungsfläche kann am untersuchten Standort auf $0,5 \text{ m}^3/(\text{a} \cdot \text{m}^2)$ halbiert werden
- 30 % dieser als optimale Menge angesetzten Bewässerungsmenge und das direkt auf die Module gefallene Niederschlagswasser reichen für das **Überleben** der Efeupflanzen aus
- 70 % der als optimal angesehenen Bewässerungsmenge und das direkt auf die Module fallende Niederschlagswasser sind für eine **gute Entwicklung der Pflanzen** ausreichend
- In Trocken-/Hitzephase kann mit 100 % der als optimal angesehenen Bewässerungsmenge die Verdunstungsleistung hoch gehalten werden

Für die **Bewässerungswasserqualitäten**:

- Bei allen drei Zisternen treten **Überschreitungen** der in der Literatur (Albrecht und Pfleger, 2004; DIN, 2009) empfohlenen Konzentrationswerte auf
- **Überschreitungen** der in der Literatur empfohlenen Werte treten hauptsächlich bei **Aluminium, Chrom, Kupfer und Zink** auf
- Beim Bewässerungswasser von **Strassen- & Parkplatzflächen** traten langanhaltende **Auswirkungen von Streusalz** durch erhöhte Natrium- und Chloridkonzentrationen auf
- **Sämtliche verwendeten Bewässerungswasserqualitäten** lassen **gutes Pflanzenwachstum** zu. Es ist **kein signifikanter Unterschied zur Referenz Grundwasser** feststellbar.

4 Handlungsfeld Urbaner Wasserhaushalt

Kurzbeschreibung:

- *Das Wasserhaushaltsmodell R-ABIMO ermöglicht die stadtweite Berechnung der urbanen Wasserbilanz auf Ebene von Blockteilflächen*
- *R-ABIMO erlaubt die Bewertung des Ist-Zustandes sowie von RWB-Szenarien im Vergleich zum unbebauten Zustand in einem Modell*
- *Der einfache Modellansatz erlaubt eine Implementierung im AMAREX Webtool*
- *Erste Auswertungen für Berlin zeigen gute Korrelationen zwischen Wasserhaushalt und Klimaextremen*

4.1 Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt als Indikator für die Planung?

Die Urbanisierung unbebauter Gebiete führt zu einer deutlichen Veränderung des lokalen Wasserhaushaltes. Abbildung 4-1 zeigt dies beispielhaft für Berliner Verhältnisse: Im Vergleich zu der natürlichen Situation steigt im urbanen Fall die Abflusskomponente stark an, zu Lasten der Verdunstung. Dieser veränderte urbane Wasserhaushalt ist ursächlich mit den Auswirkungen von Extremereignissen verknüpft: die rasche Ableitung des Regenwassers kann bei Starkregen zu Überlastung des Kanalnetzes und in der Folge zu Gewässerbelastung und Überflutung führen. Umgekehrt fehlt das abgeleitete Wasser für die Versorgung von städtischem Grün und dadurch für Verdunstungskühlung und Beschattung.

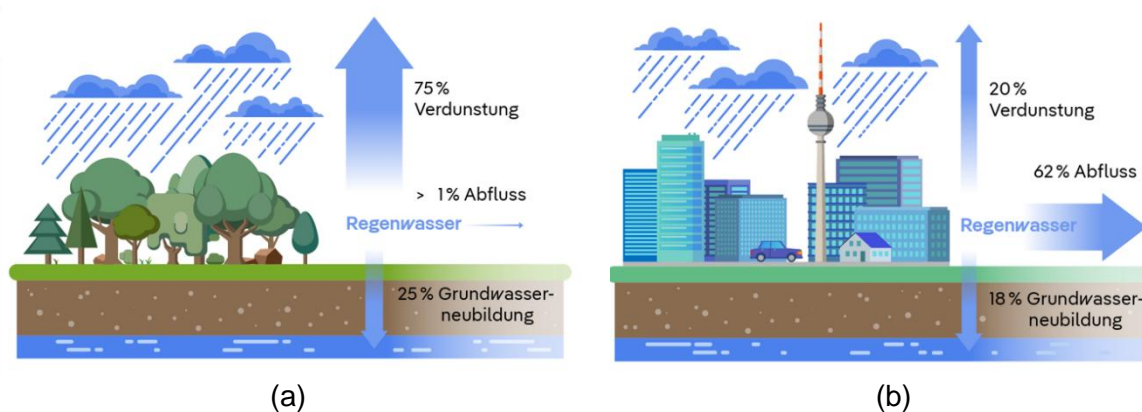


Abbildung 4-1: *Beispielhafte Berechnung der jährlichen Aufteilung des lokalen Wasserhaushaltes in Berlin mit ABIMO für (a) eine typische Parklandschaft und (b) eine hochverdichtete Innenstadtlage*

Aufgrund dieser Verknüpfung mit Klimaextremen schlägt das Merkblatt DWA-M 102-4 (DWA 2022) vor, die Erhaltung des natürlichen Wasserhaushaltes durch gezielte Regenwasserbewirtschaftung (RWB) anzustreben. Für diesen Zweck wird von der DWA mit WABILA auch ein Modellinstrument angeboten mit dem der Effekt dieser RWB-Maßnahmen auf den jährlichen Wasserhaushalt für Bauprojekte berechnet werden kann (Henrichs et al. 2016).

Aus diesen Vorarbeiten entsteht für Kommunen ein Bedarf einer gesamtstädtischen Analyse des Ist-Wasserhaushaltes, der natürlichen Referenz sowie deren Annäherung durch RWB-Maßnahmen. Dafür wurde in AMAREX das Modell ABIMO erweitert, um alle drei Aspekte in

einem einfachen Ansatz zusammenzuführen. Als zentrale Indikatoren wurden die Abweichungen der einzelnen Komponenten des jährlichen Wasserhaushaltes von einer natürlichen Referenz genutzt und zusätzlich eine globale Abweichung ΔW [%] definiert (Guericke et al. 2023a; Guericke et al. 2023b). Dabei wurde in allen in der Folge beschriebenen Beispielen eine Parklandschaft (mit hohem Baumbestand) als natürliche Referenz verwendet.

Zudem wurde in dem Projekt der Frage nachgegangen, wie gut ΔW als Indikator für die strategische Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung geeignet ist. Dazu wurden Berechnungen von ΔW den Ergebnissen von komplexen Modellen gegenübergestellt.

4.2 Weiterentwicklung des open-source Wasserhaushaltsmodells ABIMO

ABIMO ist ein Wasserhaushaltsmodell der Bundesanstalt für Gewässerkunde und der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (SenSBW). Es wurde im Rahmen von AMAREX weiterentwickelt und steht nun R-ABIMO in einem frei verfügbaren R-Paket über den KWB GitHub zur Verfügung (KWB 2023). Das Modell erlaubt eine Berechnung für die Ist-Stadt, den natürlichen Zustand und die Abweichung ΔW . Zudem können die Effekte von BGI abgebildet werden, um die Planung zu unterstützen. Die Effektabbildung wurde mit den Annahmen von WABILA abgeglichen. Das Modellpaket enthält den aktuellen Berliner Datensatz sowie ein Tutorial welches neue Nutzende in das Modell einführt.

4.3 Anwendungsbeispiele für Berlin und Köln

Das Modell wurde im Projekt für die Stadt Berlin aufgebaut und erfolgreich auf die Stadt Köln übertragen (Abbildung 4-2). Die Übertragung nach Köln zeigt, dass eine Anwendung für weitere Städte problemlos möglich ist. Dies erfordert allerdings einige Schritte der Datenaufbereitung, in der Regel eine Kombination von Daten der Kommune oder des Bundeslandes mit Informationen aus Satellitenbildern (Del Punta et al. 2024).

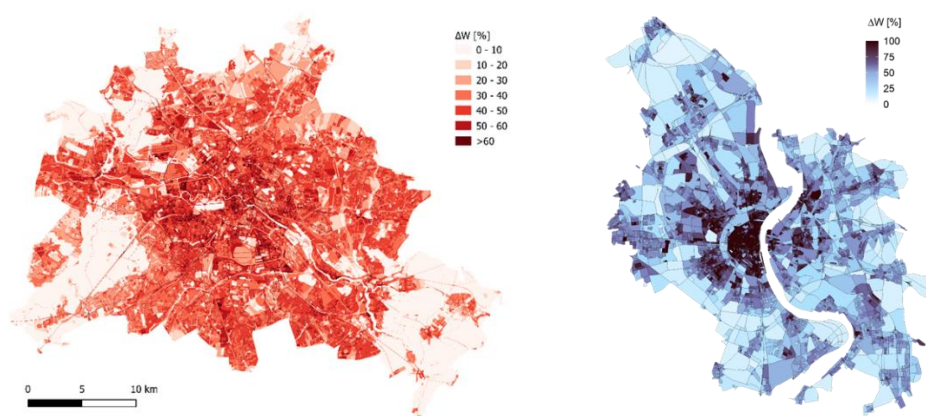


Abbildung 4-2: Karten von ΔW für Berlin (links, rot) und Köln (rechts, blau)

Für Berlin wurde auch die Modellierung der RWB-Maßnahmen extensive Dachbegrünung, Entsiegelung/Teilversiegelung und Versickerungsmulden demonstriert (Abbildung 4-3). Es zeigt sich, dass unterschiedliche RWB-Maßnahmen zu einer Reduktion von ΔW beitragen können. Es ist allerdings wichtig die naturnahe Referenz im Auge zu behalten: Bei der Referenz

eines Parkes mit Baumbestand mit einer Versickerungskomponente von ca. 20% können beispielsweise Versickerungsmulden rasch zu einer Abweichung vom naturnahen Zustand beitragen und dadurch ΔW erhöhen.

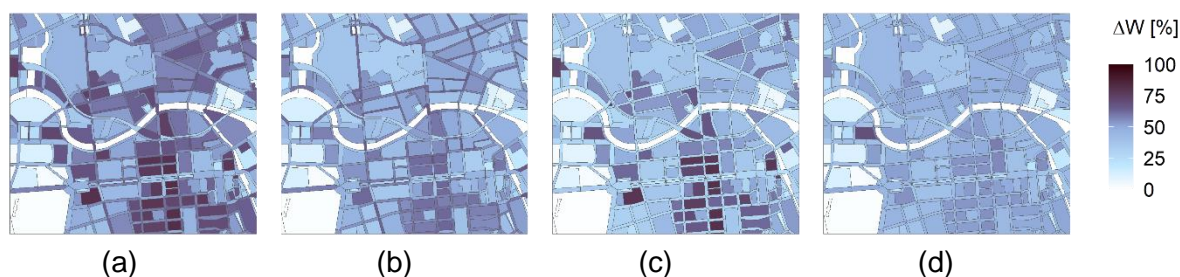


Abbildung 4-3: Effekt von hypothetischen RWB-Szenarien auf ΔW für einen Ausschnitt Berlins: (a) Status quo, (b) 50% der Dachflächen werden extensiv begrünt, (c) alle versiegelten Straßen- und Hofflächen werden in teil-versiegelte Flächen umgewandelt, (d) 50% aller abflusswirksamen Flächen werden an Mulden angeschlossen

Die Berliner Karten werden durch die assoziierte Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen über das Berliner Geoportal zur Verfügung gestellt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Bauen und Wohnen 2025). Über den Link zum Berliner Umweltatlas werden dort zudem alle Eingangsdaten detailliert dokumentiert, was Übertragungen auf weitere Kommunen deutlich vereinfacht. Dank der öffentlichen Karten kann der Indikator ΔW des Ist-Zustandes in Berlin direkt für Planungsprozesse berücksichtigt werden.

Darüber hinaus wurde gemeinsam mit der Technologiestiftung Berlin das Modell in das prototypische AMAREX Webtool integriert (siehe Kapitel 6.3). Der enthaltene Wasserhaushaltsrechner erlaubt ein spielerisches Beplanen von beliebigen Berliner Kulissen mit RWB und liefert live-berechnete Ergebnisse für den Wasserhaushalt. Es zeigt sich, dass das schlanke R-ABIMO-Modell problemlos in einer Webanwendung lauffähig ist, ohne Wartezeiten und Modellvorkenntnisse.

4.4 Aussagekraft der Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt

In AMAREX wurde anhand von einer Korrelationsanalyse mit komplexen, daten- und zeitaufwändigen Modellrechnungen untersucht, ob eine Verbesserung des ΔW tatsächlich eine Abmilderung der drei Klimaauswirkungen Hitzeinseln, Gewässerbelastung (durch Mischwasserüberläufe) und Überflutung zur Folge hat. Während die korrelierten Überflutungssimulationen selber ein Ergebnis aus AMAREX sind (siehe Kapitel 2.1), wurden öffentlich zugängliche Modellierungsdaten zur Tages- und Nachttemperatur aus dem Berliner Geoportal für Hitze und Mischwasserüberlaufsimulationen aus dem Berliner Projekt misa (Knoche et al. 2024) für die Gewässerbelastung verwendet.

Die Ergebnisse zeigen, dass es tatsächlich eine Korrelation zwischen ΔW und den drei untersuchten Klimarisiken gibt (Del Punta et al. 2025; Li 2025). Diese Korrelationen werden für Hitzeinseln insbesondere durch die Abweichung in der Verdunstungskomponente erklärt, während Mischwasserüberläufe und Überflutung einen starken Zusammenhang mit dem Delta der Abflusskomponente zeigen. Aufgrund der großen Datenmenge zum Thema Hitze, konnte hier neben der direkten Korrelation auch ein Modell durch maschinelles Lernen trainiert werden (Abbildung 4-4). Das trainierte Random-Forest-Modell kann die Temperatur in bebauten und teilbebauten Flächen mit hoher Genauigkeit vorhersagen.

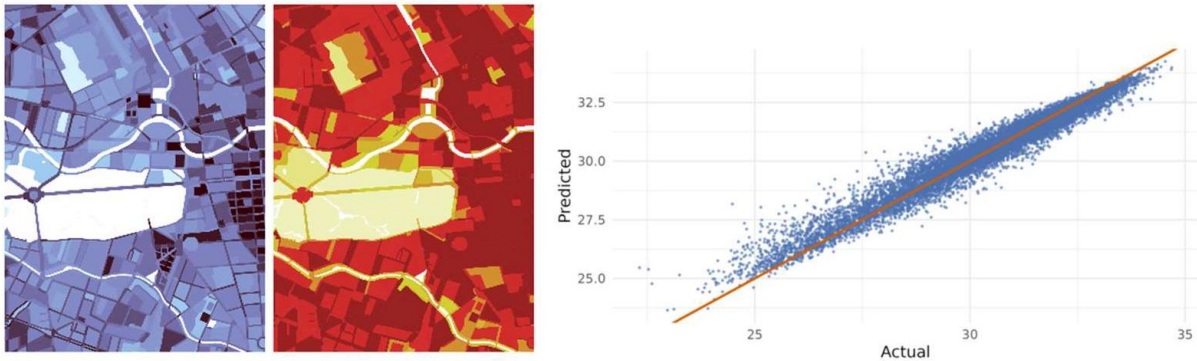


Abbildung 4-4: Korrelationsanalyse zwischen Wasserhaushalt und Sommertemperatur um 14 Uhr. Die Karten zeigen ΔW (in blau) und die simulierte Nachmittagstemperatur (in rot). Die Korrelation zeigt die Übereinstimmung eines wasserhaushaltsgetriebenen Random-Forest-Modells mit der Nachmittagstemperatur.

Entsprechend macht eine Orientierung an einem natürlichen Wasserhaushalt für die strategische Grobplanung sehr viel Sinn. Die Korrelationen und die Sensitivitäten unterscheiden sich aber deutlich zwischen unterschiedlichen städtischen Gebieten, weshalb hier weiterer Forschungsbedarf gesehen wird. Insbesondere könnten ortsspezifische Referenzzustände (anstelle eines Parkes), abhängig von lokalen Zielstellungen, großes Potenzial haben.

5 Handlungsfeld Sozio-ökonomische Bewertung

Im Fokus dieses Handlungsfeldes war es zusätzlich zu direkten wasserbezogenen Effekten weitere Nutzen, z.B. soziale, ökonomische und weitere ökologische Effekte, bzw. die Kosten der RWB-Maßnahmen aufzuzeigen. Die Arbeiten umfassten eine systematische Analyse von Wirkungszusammenhängen für Regenwasserbewirtschaftung, eine Multi-Kriterien-Analyse der Maßnahmen sowie eine monetäre Bewertung ausgewählter Nutzenaspekte und der Maßnahmenkosten. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise und Ergebnisse zum Handlungsfeld Sozio-Ökonomische Bewertung findet sich in Tröltzsch et al. (2026).

5.1 Wirkungszusammenhänge von RWB-Maßnahmen

Im ersten Schritt wurde ein Wirkungsgefüge entwickelt, das die vielfältigen ökologischen, sozialen und ökonomischen Effekte von RWB-Maßnahmen systematisch darstellt. Dieses Wirkungsgefüge bildet die konzeptionelle Grundlage für die anschließende qualitative und quantitative Bewertung.

5.1.1 Methodik

Ausgangspunkt war eine umfassende Literaturrecherche zu Wirkungen blau-grüner Infrastruktur und naturbasierter Lösungen. Dabei wurden sowohl wissenschaftliche Studien als auch Praxisberichte ausgewertet. Identifiziert wurden über 40 potenzielle Funktionen und Wirkungspfade. Diese wurden auf ihre Relevanz für die in AMAREX untersuchten Maßnahmen analysiert und schließlich wurden 20 Funktionen entlang etablierter Kategorien der Ökosystemleistungsforschung strukturiert. Unterschieden wurden zwischen **abiotische Funktionen** (z. B. Retention, Versickerung, Verdunstung, Gewässerschutz, Schutz vor Überschwemmungen, Klimaschutz), **biotische Funktionen** (z. B. Habitat der Landschaft), **kulturelle Funktionen** (z. B. Ästhetik, Naturerfahrung), **Nutzungsfunktionen** (z. B. Erholung, körperliche Gesundheit, soziale Interaktion). Die identifizierten Funktionen wurden in einem Wirkungsgefüge miteinander verknüpft. Dabei wurden direkte Effekte (z. B. Retention) von indirekten Wirkungen (z. B. Schutz vor Überschwemmungen) unterschieden und ihre Wechselwirkungen visualisiert.

5.1.2 Ergebnisse

Das Wirkungsgefüge zeigt, dass RWB-Maßnahmen multifunktionale Systeme sind, deren Nutzen weit über den reinen Überflutungsschutz oder die Trockenheitsvorsorge hinausgeht.

Zentrale direkte Wirkungen sind der Regenwasserrückhalt und Drosselung von Abflussspitzen, die Versickerung und Grundwasserneubildung, Verdunstung und mikroklimatische Kühlung, Wasserspeicherung für Bewässerungszwecke und die Integration von Stadtgrün. Diese direkten Wirkungen lösen eine Vielzahl indirekter Effekte aus, unter anderem die Verbesserung des quantitativen und chemischen Gewässerschutzes durch die Reduktion von Abschlägen aus Mischkanalisationen, einen Beitrag zur Hitzeminderung im urbanen Raum sowie die Förderung von Biodiversität und Habitatvielfalt, der Erholungs- und Gesundheitswirkungen sowie die Stärkung von Identifikation und sozialer Interaktion.

5.2 Multikriterielle Bewertung von RWB-Maßnahmen und Bewertungstool

Kurzbeschreibung:

- *Aufbauend auf dem Wirkungsgefüge wurde eine Multikriterienanalyse (MKA) durchgeführt, um die 20 Maßnahmenvarianten systematisch zu vergleichen.*
- *Ziel war es, neben wasserbezogenen Effekten auch soziale, ökologische, ökonomische und anwendungsbezogene Kriterien gleichrangig zu berücksichtigen.*

5.2.1 Methodik

Zunächst wurden in einem Literaturscreeningsprozess über 175 Einzelkriterien aus 14 Kriteriensets identifiziert und zu sechs Oberkategorien gebündelt: Ökonomische Kriterien, anwendungsbezogene Kriterien, soziale Kriterien, wasserbezogene Kriterien, weitere umweltbezogene/ökologische Kriterien und Synergien (von Starkregen- und Trockenheitsvorsorge). 24 Kernkriterien wurden basierend auf ihrem Bezug zur lokalen Ebene, dem Fokus auf urbane BGI und möglicher Operationalisierungsansätzen ausgewählt, anschließend definiert und anhand von ein bis drei Indikatoren pro Kriterium operationalisiert. Für jedes Kriterium wurden quantitativ oder qualitativ bewertbare Indikatoren definiert und in einem weiteren Schritt auf einer Punkteskala bewertet. Für die erste Bewertung der Indikatoren wurde eine Literaturanalyse durchgeführt und bestehende Daten und Modellierungen analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend durch Einschätzungen und Validierungen von Expert:innen ergänzt. Nach einer Revision des Kriteriensets wurden **18 Kriterien** für die finale Bewertung ausgewählt (Abbildung 5-1).

Ökonomische Kriterien	Soziale Kriterien	Anwendungs-Kriterien	Wasserbezogene Kriterien	Ökologische Kriterien	Synergien
Investitions- und Unterhaltungskosten	Stadtklima	Umsetzbarkeit	Regenwasserfiltration	Lärmreduktion	Synergien zwischen Starkregenereignissen und Trockenheit
Verteilungseffekte	Erholung	Flexibilität	Überflutungsschutz	Biodiversität & Habitatvielfalt	
	Akzeptanz		Wasserspeicherung	Luftreinhaltung	
	Flächenkonkurrenz		Versickerung	Klimawirkung	
			Verdunstung		

Abbildung 5-1: Oberkategorien und relevante Einzelkriterien der Multikriterienanalyse AMAREX

Für die finale Bewertung wurden zudem die AMAREX-Modellierungsergebnisse aus Arbeitspaketen zwei und drei einbezogen, die bei der ersten Bewertung noch nicht verfügbar waren. In einem letzten Schritt wurden zur Vergleichbarkeit die Ergebnisse aller Kriterien normiert und zu einem **Gesamtscore** für jede Maßnahme aggregiert. Dies ermöglicht ein Ranking der Maßnahmen basierend auf den Kriterien. In der Basisauswertung wurden alle Kriterien gleich ge-

wichtet. Zudem wurde ein **MS Excel-Tool** entwickelt, welches es erlaubt die Maßnahmen lokalbezogen zu bewerten. Dieses ermöglicht ebenfalls eine flexible Gewichtung entsprechend lokaler Zielsetzungen.

5.2.2 Ergebnisse

Konventionelle RWB-Maßnahmen schneiden bei den Kosten gut ab, weisen jedoch geringes Innovationspotenzial auf. Maßnahmen mit Speicher- oder smarten Steuerungselementen sind kostenintensiver, erzielen jedoch hohe Werte beim Innovationspotenzial. Maßnahmen mit sichtbaren Grünelementen (z. B. Baumstandorte, intensive Gründächer) erzielen hohe Werte bei Erholung, Akzeptanz und Stadtklima. Unterirdische oder wenig sichtbare Maßnahmen schneiden hier schwächer ab. RWB-N-Maßnahmen profitieren durch indirekte Bewässerungseffekte und höhere Verdunstungsleistungen. Während RWB+ Maßnahmen höhere Werte im Überflutungsschutz erreichen, punkten RWB-N Maßnahmen durch die Möglichkeit der Wasserspeicherung und sich daraus ergebenden indirekte Effekte z.B. im Bereich Verdunstung. Einfach aufgebaute, etablierte Maßnahmen wie es die RWB-Maßnahmen in der Regel sind, sind technisch gut umsetzbar und eher etabliert als Kombinationsmaßnahmen wie die RWB-N Maßnahmen. Maßnahmen mit Grünelementen leisten Beiträge zur Luftreinhaltung und Biodiversität und schneiden neben den RWB-N Maßnahmen in der Gesamtbewertung besonders gut ab, da sie mehrere Zielbereiche gleichzeitig adressieren. Dabei ist hervorzuheben, dass die Analyse bei anderer Gewichtung der Kriterien abweichende Ergebnisse hervorbringen würde. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Anhang 2 zu finden.

5.3 Kosten-Nutzen-Analyse von RWB-Maßnahmen

Kurzbeschreibung:

- *Im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) wurden ausgewählte Nutzenkomponenten monetarisiert und den Investitions-, Betriebs- und Umweltkosten gegenübergestellt.*
- *Ziel war es, den gesamtgesellschaftlichen Wert der Maßnahmen dazustellen und eine Vergleichbarkeit mit alternativen Maßnahmen herzustellen.*
- *Die KNA wurde für Pilotgebiete in Berlin Kreuzberg und Köln-Kalk vorgenommen.*

5.3.1 Methodik

Zunächst wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um bestehende Studien zu identifizieren, die ähnliche BGI bewerten, und um geeignete Kosten- und Nutzenkomponenten sowie deren Monetarisierungsmethoden zu erfassen. Aufbauend darauf wurden die relevanten Nutzen- und Kostenkomponenten in einer Matrix systematisiert, um herauszuarbeiten welche Effekte für die einzelnen Maßnahmen relevant sind. Sechs Nutzenkomponenten wurde monetarisiert und drei Kostenkomponenten berechnet (Tabelle 5-1).

Für jede Komponente wurde, basierend auf jeweiliger Datenverfügbarkeit, eine Monetarisierungsmethoden ausgewählt. Dabei wurden überwiegend die Alternativkosten- und Schadenskostenmethode genutzt; auch die Nutzentransfermethode wurde angewendet. Die Berechnungen wurden in nicht diskontierten Jahreswerte vorgenommen, wobei Investitionskosten über die Nutzungsdauer verteilt wurden. Alleinig „Überflutungsschutz“ wurde nicht auf einer jährli-

chen Basis betrachtet, sondern für ein 100-jährliches Niederschlagsereignis berechnet. Um Unsicherheiten zu berücksichtigen, wurden für die meisten Komponenten Bandbreiten (Minimum, Median, Maximum) ermittelt.

Tabelle 5-1: Nutzen- und Kostenkomponenten der Kosten-Nutzen-Analyse

Nutzenkomponenten	Kostenkomponenten
<ol style="list-style-type: none"> 1. Überflutungsschutz 2. Wasserspeicherung & Nutzung für Bewässerung 3. Regenwasserinfiltration 4. Temperaturregulation von Innenräumen 5. Luftreinhaltung 6. Städtische Ästhetik und urbane Flora und Fauna 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investitionskosten 2. Betriebs- und Instandhaltungskosten 3. Emissionen im Bau

5.3.2 Ergebnisse

Die KNAs für die Pilotgebiete in Berlin Kreuzberg und Köln-Kalk zeigen ein konsistentes Muster: Baumbezogene Maßnahmen und Gründächer erzielen die höchsten jährlichen Nutzenwerte, insbesondere in den RWB- und RWB+-Ausprägungen. Mittlere Nutzenwerte erreichen Rigolen- und Mulden-Rigolen-Systeme, während RWB-N Zisternen und kombinierte Zisternenmaßnahmen die geringsten Werte aufweisen.

Die höchsten Gesamtkosten entstehen bei intensiven Gründächern und RWB-N Retentionsdächern, mittlere Kosten bei Zisternen, baumbezogenen Maßnahmen und RWB+ Retentionsdächer, die niedrigsten bei Mulden-, Rigolen- und Mulden-Rigolen-Systemen.

Betrachtet man das Kosten-Nutzen-Verhältnis, schneiden RWB optimierte Baumstandorte und RWB+ Baumrigolen besonders günstig ab, da sie hohe Nutzenwerte bei niedrigen bis mittleren Gesamtkosten liefern. Ebenfalls vorteilhaft sind RWB- und RWB+-Ausprägungen von Mulden- und Rigolensystemen. Am ungünstigsten zeigen sich alleinstehende Zisternen – durch geringe Umwelt- und Sozialnutzen – und kombinierte RWB-N Maßnahmen durch hohe Kosten.

Eine Übersicht der Ergebnisse für die zwei Pilotgebiete ist in Anhang 2 zu finden.

6 Querschnittsthemen und kommunale Interaktion

6.1 Anlagensteckbriefe für an Wasserextreme angepasste RWB-Anlagen

Kurzbeschreibung:

- *Fundierte Systemanalyse zur funktionalen Anpassung von RWB-Anlagen an die Belange der Starkregenvorsorge (RWB+) und Trockenheitsvorsorge (RWB-N)*
- *Beschreibung von Wirkungen bei Wasserextremen und bezogen auf den Wasserhaushalt, Bemessungs- und Ausführungshinweise, Limitationen und Einschränkungen*
- *Bewertung sozio-ökonomischer Wirkungen*
- *Definition von Modellierungsparametern*

6.1.1 Methodik: Systemanalyse zur funktionalen Erweiterung

Eine zentrale, auch namensgebende Arbeitshypothese von AMAREX war, dass es erforderlich ist, etablierte RWB-Anlagen funktional verbessert an die Wasserextreme Starkregenvorsorge und Trockenheitsvorsorge anzupassen. Dieser Zielsetzung folgend wurden handlungsfeldübergreifend fundierte Systemanalysen von RWB-Anlagen durchgeführt. Darauf aufbauend wurde für die verschiedenen Typen von Versickerungsanlagen, Gründächern, Zisternen und Baumstandorten deren technisch-funktionale Erweiterbarkeit zu angepassten Anlagen gearbeitet und definiert (siehe Abbildung 6-1):

- **RWB+ Anlagen** sind funktional an die Anforderungen der **Überflutungsvorsorge** angepasst. Sie weisen i.d.R. ein gegenüber der Standardausführung (RWB) erweitertes oder vergrößertes Volumen zum **Kurzzeitrückhalt** auf, indem vergleichsweise rasch Starkregenabflüsse zwischengespeichert werden können. RWB+ Anlagen werden nach einem Starkregenereignis innerhalb einer kurzen Zeitspanne von wenigen Stunden wieder planmäßig entleert.
- **RWB-N Anlagen** sind an die Anforderungen der **Trockenheitsvorsorge** angepasst, indem sie i.d.R. eine RWB- oder BGI-Anlage funktional kombinieren mit einer Zisterne als Nutzwasserspeicher. Die Speicherstrategie von RWB-N Anlagen ist auf **Langzeitspeicherung** mit einer möglichst langen Bevorratung des Niederschlagswassers zu Bewässerungszwecken ausgerichtet.

Die Systemanalyse der RWB+ bzw. RWB-N Anlagen wurde in einem ersten Schritt basierend auf Literatur- und Regelwerksangaben zu etablierten RWB-Anlagen durchgeführt und umfasste folgende Aspekte:

- Aufbau, technische Ausführung und Funktionsweise der Anlage,
- Bemessungsangaben und konstruktive Hinweise,
- Erweiterungsmöglichkeiten als RWB+ und RWB-N Anlage

In einem zweiten Schritt wurde die funktionale Anpassung der Anlagen zu RWB+ (Starkregenvorsorge) und RWB-N (Trockenheitsvorsorge) ausgearbeitet und über folgende Aspekte beschrieben:

- Wirkungen und Effekte zur Starkregenvorsorge (RWB+) und Trockenheitsvorsorge (RWB-N)
- Limitationen und Einschränkungen der Anlagen
- Wirkungen von RWB+ und RWB-N Anlagen auf den lokalen Wasserhaushalt
- Sozio-ökonomische Bewertung von RWB+ und RWB-N Anlagen

Hierbei sind zusätzlich die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Handlungsfeldern Starkregenvorsorge (AP 2), Trockenheitsvorsorge (AP 3), Wasserhaushalt (AP 4) und Sozio-Ökonomie (AP 5) eingeflossen.

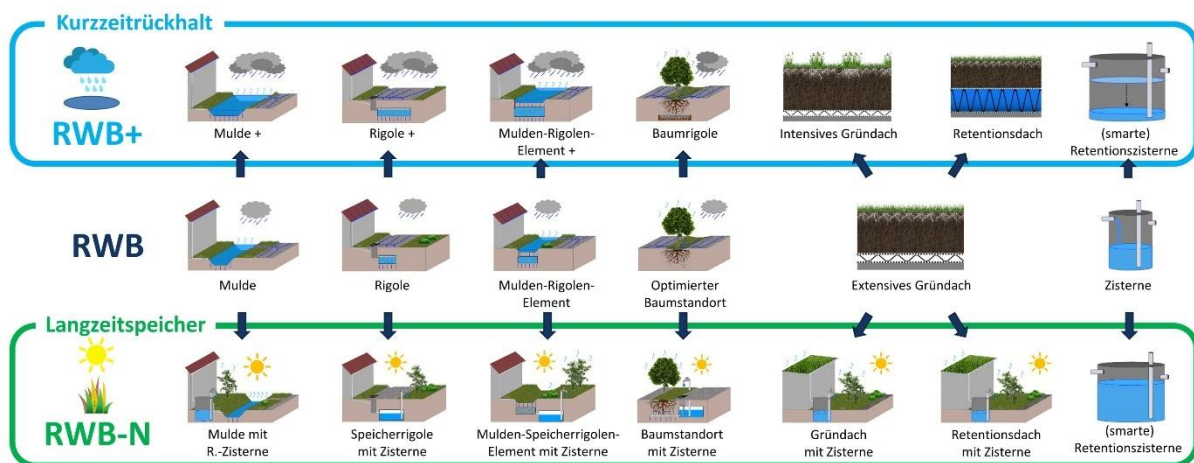
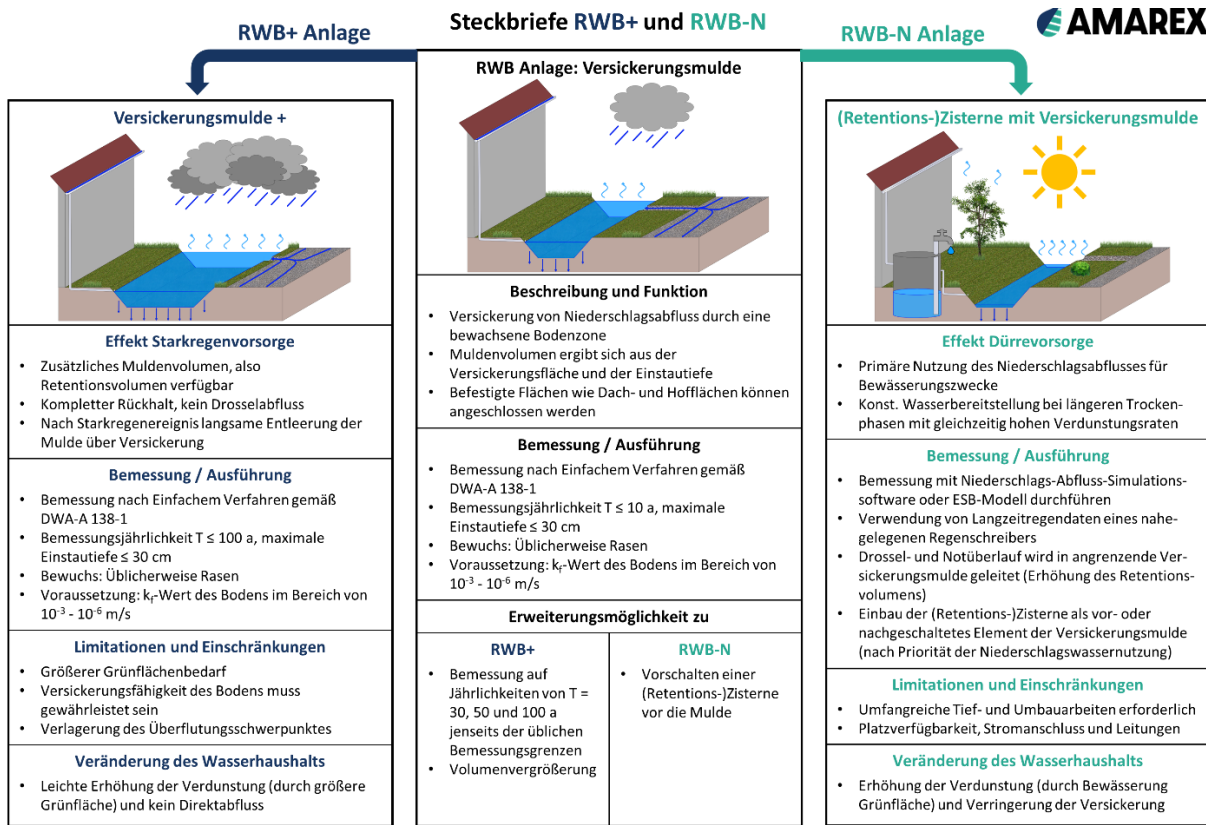


Abbildung 6-1: Funktionale Anpassung von Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB) als für die Belange der Starkregenvorsorge (RWB+ als Kurzzeitrückhalt) und der Trockenheitsvorsorge (RWB-N als Langzeitspeicher)

6.1.2 Maßnahmenkatalog mit RWB+/RWB-N Steckbriefen

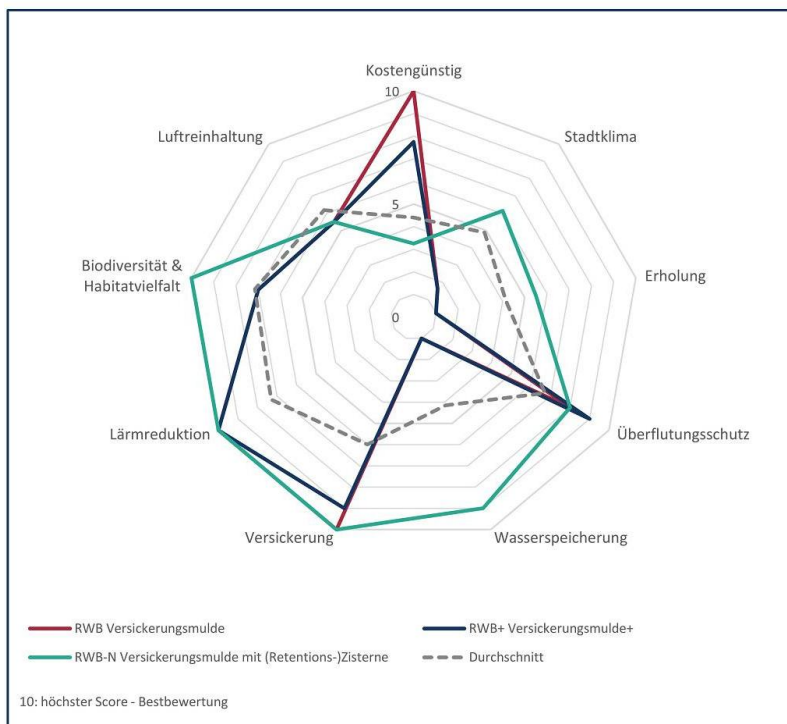
Die beiden Anlagenkonzepte RWB+ und RWB-N wurden in einem Maßnahmenkatalog als Steckbriefe zusammengefasst. Die Steckbriefe setzen sich aus Anlagenskizzen und den oben genannten Aspekt- und Wirkungsbeschreibungen zusammen. Abbildung 6-2 zeigt beispielhaft den Steckbrief der Versickerungsmulde mit ihrer funktionalen Anpassung als RWB+ (linke Seite) und RWB-N Anlage (rechte Seite). Die zweite Seite des Steckbriefs enthält eine kompakte Darstellung der Multikriterienanalyse (Handlungsfeld Sozio-ökonomische Bewertung).

Der AMAREX Maßnahmenkatalog steht als freier Download über die Projekt-Webseite zur Verfügung. Zusätzlich liegen Modellbeschreibungen der Anlagen vor, in denen Modellparametersätze der Low Impact Development (LID) Elemente der Software Storm Water Management Model (SWMM) definiert sind.



Versickerungsmulden

Ergebnisse Multikriterienanalyse



Multikriterienanalyse (MKA)

Die Multikriterienanalyse ermöglicht es, sowohl quantitative als auch qualitative Daten in die Bewertung der RWBA einfließen zu lassen und verschiedene Alternativen anhand diverser Kriterien systematisch zu vergleichen. So wurden bei der MKA neben den wasserwirtschaftlichen Aspekten auch ökonomische, soziale und anwendungsorientierte Kriterien berücksichtigt und gegenübergestellt.

Methode: Die MKA erfolgte in drei Schritten: (1) Identifikation relevanter Kriterien durch Literaturrecherche, Vorauswahl und Strukturierung von 24 Kriterien in sechs Kategorien. (2) Operationalisierung der Kriterien anhand von Indikatoren und erste Bewertung der Maßnahmen anhand von Literatur & Experteneinschätzungen. (3) Revision der Ergebnisse und Finalisierung der Kriterienauswahl, Kategorisierung und Operationalisierung. Finale Gesamtbewertung vervollständigt durch AMAREX Modellierungsergebnisse.

Es ist zu beachten, dass durch die Lokalspezifität der Maßnahmen die Übertragbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt ist.

In dem Spinnendiagramm sind 9 der 18 bewerteten Kriterien abgebildet. Dabei stellt eine Bewertung von 10 Punkten den höchsten Score und damit die Bestbewertung dar. Der Durchschnitt aller Maßnahmen für das jeweilige Kriterium ist durch die graugestrichelte Linie abgebildet.

Abbildung 6-2: Beispiel: Anlagensteckbrief der RWB-Anlage Versickerungsmulde (oben mitte) mit zugehöriger RWB+ Anlage (oben links), RWB-N Anlage (oben rechts) und Multikriterienanalyse (unten)

6.2 RWB-Potenzialkarten Berlin

Kurzbeschreibung:

- *GIS-basierte Potenzialanalyse zur Umsetzbarkeit von dezentralen RWB-Maßnahmen*
- *Bewertung anhand technischer, planerischer und rechtlicher Randbedingungen*

6.2.1 Methodik

Maßnahmenauswahl

Potenzialkarten lassen sich nicht für sämtliche blau-grünen Infrastrukturen in gleicher Detailtiefe und Aussagekraft erstellen. In einigen Fällen fehlen geeignete Datengrundlagen zur räumlichen Abbildung von Umsetzungspotenzialen, in anderen Fällen sind für bestimmte Maßnahmen keine eindeutig definierbaren technischen Randbedingungen vorhanden, sodass eine differenzierte geografische Darstellung nicht möglich ist. Vor diesem Hintergrund wurden auf Basis der verfügbaren Daten folgende dezentrale Versickerungsmaßnahmen in die Analyse einbezogen:

- Flächenversickerung
- Muldenversickerung
- Rigolensystem
- Mulden-Rigolen-Element (mit Drossel)
- Tiefbeet-Rigole
- Baum-Rigole

Kartenbeschreibung

Die nachfolgend beschriebenen Randbedingungen werden auf Grundlage öffentlich verfügbarer Geodaten abgebildet und in ein GIS-basiertes Modell integriert. Jede Randbedingung wird als eigenständiger Ergebnislayer modelliert. Durch die Überlagerung verschiedener Layer entsteht die vollständige Potenzialkarte für die jeweilige Maßnahme. Die Karten werden für jede oben aufgeführte Versickerungsmaßnahmen mit maßnahmenspezifisch angepassten Parametereinstellungen berechnet und für das gesamte Stadtgebiet Berlin mit einer räumlichen Auflösung auf Grundstücksebene ausgewiesen. Die dargestellten Ergebnisse sind als überschlägige Erstbewertung zu verstehen und ersetzen keine standortbezogene Einzelfallprüfung vor Ort.

In Abbildung 6-3 sind die unterschiedlichen Themenblöcke und Randbedingungen für dezentrale Versickerungsmaßnahmen aufgezeigt. Im Block der Restriktionsflächen werden Wasserschutzzone I und II sowie gesetzl. geschützte Biotop für Versickerung ausgeschlossen. Ebenso Wasserflächen und Gebäudeflächen mit einem Abstand von einem Meter. Der Themenblock Versickerungsfähigkeit ist für jede Maßnahme unterschiedlich parametrisiert. Um den einzuhaltenen Grundwasserflurabstand von einem Meter darzustellen, müssen praxisnahe Regeltiefen für alle Maßnahmen festgelegt werden. Hierzu wurde auf das Fachwissen und Regelblätter der Berliner Wasserbetriebe zurückgegriffen. Um eine ausreichende Mächtigkeit der wasserdurchlässigen Schicht (k_f -Wertebereich: $1 \cdot 10^{-3}$ m/s - $1 \cdot 10^{-6}$ m/s) für die einzelnen Maßnahmen zu bestimmen, wurde erneut auf einen Fachkreis der BWB und der Regenwasseragentur zurückgegriffen. Da für oberflächige Versickerungsmaßnahmen bei einer Hangneigung von über 12 % eine Versickerung als unrealistisch eingestuft wird, werden diese

Bereiche entsprechend markiert. Das Festlegen der Abstände unterwies sich aufgrund der Datengrundlage und nicht öffentlich verfügbarer unterirdischer Infrastrukturdaten als schwierig. Es wurde entschieden bei Gebäudeflächen mit Unterkellerung (meistens Tiefgaragen) ein sechs Meter Abstand zu wählen. Für den öffentlichen Baumbestand wird die Hälfte des Kronendurchmessers als Abstand angenommen. Eine Darstellung des Kanalnetzes ist aufgrund der KRITIS-Anforderungen lediglich in einer BWB-internen Variante möglich. Zu technischen Anforderungen einzuhaltender Abstände unterirdischer Infrastrukturen wurden mit Fachexperten der BWB ein interne Workshopreihe durchgeführt. Zusätzlich wurden als planerische Hinweise der Denkmalschutz mit betrachtet und die Wasserschutzzone III markiert als Flächen, in denen für eine Versickerung zunächst eine behördliche Erlaubnis eingeholt werden muss. In der Niederschlagsbelastungskarte werden Straßen- und Gebäudeflächen hinsichtlich ihres Verschmutzungsgrades der Oberfläche bewertet. Für Straßenflächen wird hier Bezug auf den DTV genommen, für Gebäudeflächen wird die Nutzung betrachtet.

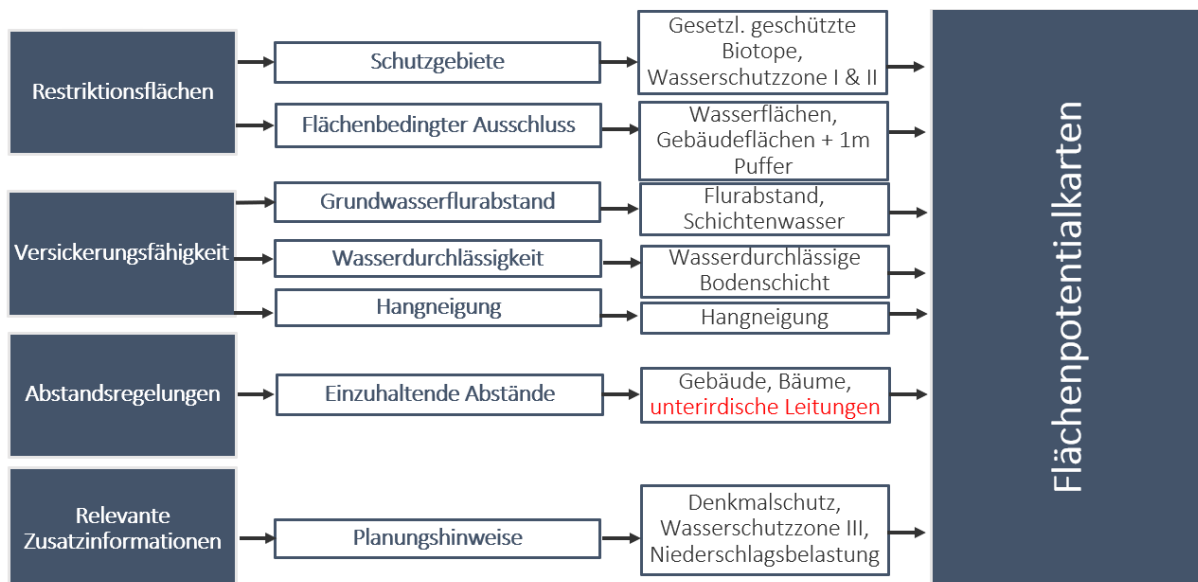


Abbildung 6-3: Im GIS-Modell aufgenommene technische, rechtliche und planerische Randbedingungen für Versickerungsmaßnahmen.

6.2.2 Fazit

GIS-gestützte Modellierungen sind in hohem Maße von der Qualität und Vollständigkeit der zugrunde liegenden Datensätze abhängig. Für das Berliner Stadtgebiet steht insgesamt eine umfangreiche und qualitativ hochwertige Geodatengrundlage zur Verfügung. Dennoch können unvollständige oder ungenaue Eingangsdaten oder die getroffenen Annahmen und Vereinfachungen die realitätsnahe Abbildung der tatsächlichen Verhältnisse einschränken. Darüber hinaus stehen bestimmte als sensibel eingestufte Informationen, etwa zu Altlasten oder unterirdischen Leitungsnetzen, nicht öffentlich zur Verfügung und können daher bei der Bewertung der Umsetzbarkeit einzelner Maßnahmen nicht berücksichtigt werden.

Die Übertragbarkeit der Methodik wurde anhand des Kölner Stadtgebiets erfolgreich geprüft. In welcher Qualität Potenzialkarten für andere Kommunen erstellbar sind, steht in direkter Abhängigkeit mit der verfügbaren Datengrundlage.

Die Potenzialkarten für das Berliner Stadtgebiet sind im Berliner Geoportal veröffentlicht. Abbildung 6-4 zeigt beispielhaft einen Kartenausschnitt.

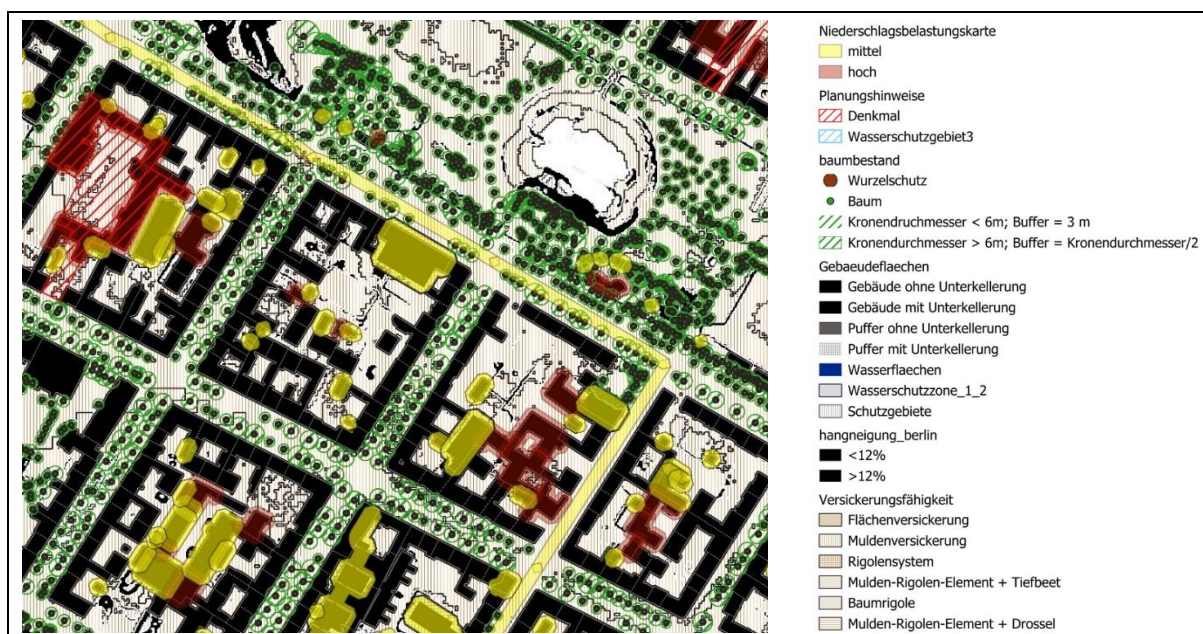


Abbildung 6-4: Kartenausschnitt der Versickerungspotenzialkarte des Pilotgebiets Berlin I mit versickerungsfähiger Grünfläche (orangene Schraffur), verschiedenen Restriktionsflächen und Planungshinweisen

6.3 Kommunal Stakeholderprozess und AMAREX Planungs-Webtool

Kurzbeschreibung:

- *Entwicklungsbegleitung des Planungstools durch kommunale Stakeholder:innen*
- *Dreistufiger Prozess: Akteurs- und Bedarfsanalysen, Validierung und Rückkopplung zur Toolentwicklung, Übertragbarkeit und Implementierungsperspektive*
- *Entwicklung einer freien Webanwendung über die Open Source Software Masterportal*
- *Abschätzung der Umsetzungs- und Wirkungspotenziale von RWB, RWB+ und RWB-N Maßnahmen*
- *Veröffentlichung der Ergebnisse im Webtool und als Quellcode auf GitHub*

6.3.1 Methodik

Ziel der Stakeholder:innenbeteiligung war es, die im Projekt entwickelten Instrumente und Konzepte gezielt an den praktischen Erfordernissen und Erwartungen der kommunalen Akteure in Berlin und Köln auszurichten. Konkret wurde zwischen Forschung und Verwaltungspraxis vermittelt und relevante Interessengruppen systematisch bei der Entwicklung der Instrumente und Tools durch drei Stakeholder:innen-Workshops miteingebunden. Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse dieses Arbeitspakets sind in drei zentralen Prozesslinien zu verorten:

1. Bedarfsanalyse & Stakeholder:innen-Einbindung
2. Validierung & Rückkopplung zur Entwicklung des AMAREX Planungstools
3. Übertragbarkeit & Implementierungsperspektive

6.3.2 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der drei genannten Prozesslinien der Stakeholder:innenbeteiligung und anschließend die Entwicklung und Funktionalitäten des Planungs-Webtools AMAREX beschrieben.

Prozesslinie 1: Bedarfsanalyse & Stakeholder:innen-Einbindung

In Berlin und Köln wurde eine Akteursanalyse durchgeführt, um zu ermitteln, welche Stakeholder über das geplante Webtool erreicht werden sollen oder relevante Anforderungen an dessen Ausgestaltung stellen könnten. Ausgewählt wurden geeignete Akteur:innen aus der Landes- und Bezirksverwaltung, aus Planungsbüros sowie aus dem Kreis der Immobilieneigentümer:innen und für eine Mitwirkung am Projekt gewonnen.

Ziel des **ersten Workshops** war es, **Anforderungen** an ein Webtool zu stellen, welches zur Erfassung von Regenwasserbewirtschaftungspotenzialen und zur Bewertung der Auswirkungen verschiedener blau-grüner Maßnahmen auf Überflutungsereignisse, Trockenperioden und den Wasserhaushalt genutzt werden soll. Zudem sollten bestehende Hürden in der Planung und Umsetzung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung erfasst und Erwartungen an neue digitale Werkzeuge systematisiert werden. Die so entstandenen fachlichen Anregungen und Wünsche der Stakeholder wurden im nächsten Schritt in den zuständigen Arbeitspaketen diskutiert. Zur Vertiefung der inhaltlichen Diskussion wurde die Erarbeitung eines projektinternen **Clickdummy-Prototyps** angeleitet, der eine detaillierte Auseinandersetzung mit der praktischen Umsetzung der Anforderungen ermöglichte. Nach Auswertung des hierzu eingeholten Feedbacks wurde die Entwicklung einer zweiten Version des Prototyps begleitet und unterstützt. Darüber hinaus flossen alle diskutierten Anforderungen und über die Laufzeit des Projekts erstellten Arbeiten, Tools und Werkzeuge in eine Prozessübersicht für ein Planungs-Webtool, die die einzelnen Ebenen des Tools abbilden sollen. Diese ist in Abbildung 6-5 mit dem Aufbau und den angestrebten Funktionen des **AMAREX Webtools** dargestellt.

Anwender:innen sollen die Möglichkeit haben, über ein Projektverzeichnis das Planungstool zu nutzen und Zwischen- und Endstände weiterzuleiten. Innerhalb eines Projekts wird ein Betrachtungsgebiet festgelegt, welches entweder mittels Rechteckausschnitt oder in der Feinauswahl durch Markierung der zu betrachtenden Blockteilflächen ausgewählt wird. Im Anschluss kann auf die verschiedenen Analysemodule des Webtools zugegriffen werden. Die Status-quo Analyse ermöglicht es dem Nutzer den lokalen Wasserhaushalt des gewählten Gebiets, bzw. der markierten Blockteilflächen mit dem eines naturnahen Zustands zu vergleichen und eine einfache Auswertung der Veränderung des Wasserhaushalts durch flächenprozentuale Platzierung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen simulieren. Auch die Annahme verschiedener Klimaszenarien soll getroffen werden können, um Veränderungen des Wasserhaushalts durch Temperatur- und Regenregime abzubilden. Damit soll ein schneller und effektiver Überblick der Möglichkeiten und Auswirkungen von Regenwasserbewirtschaftung im Betrachtungsraum ermöglicht werden. Maßnahmenpotenzialkarten für spezifische Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen unterstützen bei der Simulation von RWB-Maßnahmen. Zusatzinformationen, wie Hitze- Starkregengefahren- und weitere fallspezifische Karten werden ebenfalls bereitgestellt, um die Bedarfssituation des Gebiets möglichst ganzheitlich beurteilen zu können.

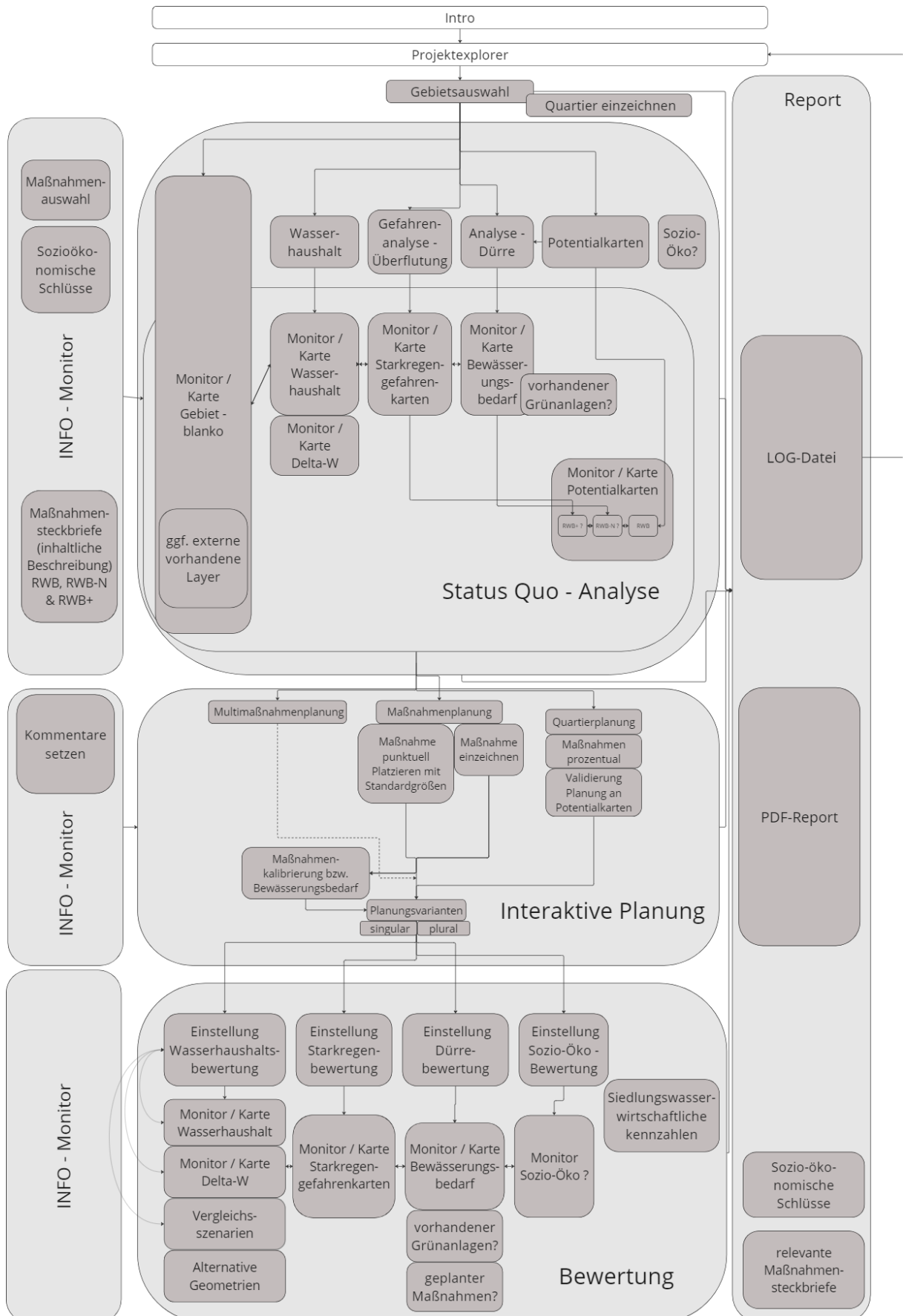


Abbildung 6-5: Entwickelte Prozessübersicht AMAREX Webtool

In der Planungsphase können nun aus einem Maßnahmenkatalog verschiedene RWB-Maßnahmen ausgewählt und innerhalb der Blockteiflächen platziert werden. Die optische Hinterlegung von den entsprechenden Potenzialkarten zeigen dabei an, wo und in welchem Ausmaß Maßnahmen platziert werden können. Über vorgegebene Dimensionierungsparameter können Maßnahmen in unterschiedlichem Ausmaß und Zielsetzung angelegt werden. Die geplante(n) Maßnahme(n) sind innerhalb einer Planungsvariante gespeichert. Sollten mehrere Szenarien für ein Gebiet betrachtet werden, können weitere Varianten angelegt und verglichen werden.

Für Maßnahmen mit Speicherfunktion, bzw. zum Zweck der Bewässerung müssen die Parameter „angeschlossene Fläche“, „zu bewässernde Fläche“ und eine Zielmarke für einen Maximalwert bei der Trinkwasserunterstützung festgelegt werden. Ein Modell berechnet dann die benötigte Dimension eines Speichers.

Die Bewertung einer Variante findet auf Basis der Veränderung des lokalen Wasserhaushalts, sozio-ökonomischer Effekte und ggf. der Veränderung der Überflutungsgefahren statt. Bezogen werden können die Veränderungen entweder auf die jeweilige Blockteifläche oder gemittelt auf alle im Gebiet ausgewählten Blockteiflächen. Aus den berechneten Varianten kann nun ein Report erzeugt werden. Mit einer einfachen Auswahl können einzelne Inhalte des Reports ein- oder ausgeschlossen werden. Dabei sind für jede Variante die Abweichungen vom Status-quo und des natürlichen Wasserhaushalts berücksichtigt und statistisch in Tabellen und Graphen aufbereitet. Auch der Vergleich der angelegten Varianten im Gebiet kann dort abgebildet werden.

Eine Log-Datei, die jede Entscheidung im Projekt dokumentiert, kann als Link versendet und von einem anderen Gerät abgerufen werden. So kann der Projektstand mit Kolleg:innen oder anderen Entitäten geteilt und Varianten diskutiert werden.

Prozesslinie 2: Validierung und Rückkopplung zur Toolentwicklung

Im Rahmen des **zweiten Workshops** kamen eigens entwickelte Planspiele zum Einsatz, die den Teilnehmenden einen realitätsnahen Umgang, mit dem auf Grundlage des im ersten Workshop entstandenem Anforderungskatalogs entwickelten Click-Dummy ermöglichten. Ergänzend wurde ein abschließender Fragebogen eingesetzt, um gezielte Rückmeldungen für die Weiterentwicklung des Prototyps zu erhalten. Darin wurden folgende Hauptkriterien abgefragt:

- Bedienbarkeit und Verständlichkeit der Webanwendung
- Bewertung aller Funktionen/Ebenen des Webtools
- Erweiterung bestehender Funktionen/Inhalte

Bedienbarkeit und Verständlichkeit der Webanwendung

In Berlin wurde eine Benutzeroberfläche angestrebt, die übersichtlich und flexibel gestaltet ist durch einen modularen Aufbau, welcher vom User in beliebiger Reihenfolge angesteuert werden kann. Dies ermöglicht eine Nutzung für unterschiedliche Zielgruppen - von Verwaltung bis Fachplaner:innen. Positiv hervorgehoben wurden insbesondere die Anlehnung an bekannte kartenbasierte Benutzeroberflächen (GIS, google maps), die klare Strukturierung der dargestellten Ebenen/Module im Webtool-Prototyp sowie das große Potenzial des Tools, komplexe fachliche Inhalte anschaulich zu vermitteln und damit die interdisziplinäre Kommunikation im Planungsalltag zu fördern.

Bewertung aller Funktionen/Ebenen des Webtools

Das Tool sollte einen groben Planungsprozess abbilden. Beginnend mit der Lokalisierung von Problemzonen/Handlungsbedarf (Hitze/Dürre, Überflutung) und abschließender Analyse von Potenzialflächen für RWB-Maßnahmen. Die Wirkung einzelner oder kombinierter Maßnahmen auf den Wasserhaushalt sollten nachvollziehbar quantifiziert und dargestellt werden. Von den Stakeholdern wurde überwiegend die Maßnahmenplanung und -bewertung als positiv hervorgehoben. Insbesondere die Möglichkeit Kombinationen von Maßnahmen bewerten zu können. Auf Quartiersebene ist die Effektbewertung hilfreich, um Schwerpunkte zu setzen und für eine grobe Vorplanung auf Blockteileben.

Erweiterung bestehender Funktionen/Inhalte

Die Berliner Stakeholder wünschten sich zusätzlich einen Info-Guide zu Beginn des Webtools, der durch die verschiedenen Funktionen/Ebenen führt, um das Tool besser kennenlernen zu können. Starke Diskussionen kamen vor allem beim Thema Datenschutz und kritische Infrastrukturen auf, die in einem öffentlichen Webtool nicht dargestellt werden können, aber im Planungsprozess eine fundamentale Rolle einnehmen. Des Weiteren wurde die Aufnahme von mehr RWB-Maßnahmen gewünscht bei der Maßnahmenplanung und Bewertung über den Wasserhaushalt. In diesem Zuge kam auch der Wunsch nach einer vom Tool berechneten Dimensionierung und Parametrisierung von Maßnahmen auf. Neben der in der ersten Entwicklung vom Prototyp vorgestellten allgemeinen Gebietsplanung kam die Idee auf eine Detail-Planung einzuführen, die es erlaubt Maßnahmen in einem Blockteil zu platzieren und somit auch Planungsanwendungen auf Straßenräume und Gebäudeebene zu bedienen.

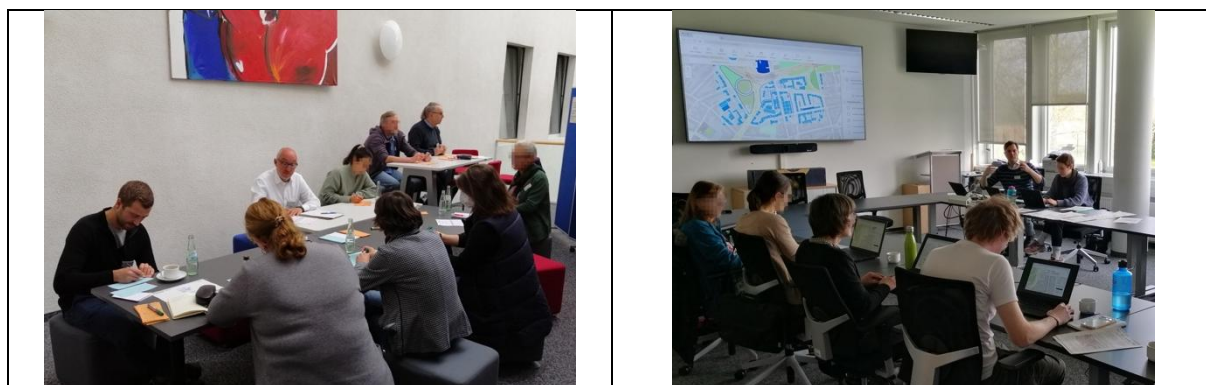


Abbildung 6-6: Teilnehmende der ersten (links) und zweiten (rechts) Workshoprunde in Köln

Prozesslinie 3: Übertragbarkeit & Implementierungsperspektive

Mit der vereinfacht aufgebauten Struktur des Webtool-Prototypen konnte leicht eine Brücke geschaffen werden, die die Nutzung des Prototypaufbaus in anderen Kommunen ermöglichen kann. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Datenverfügbarkeit, die kommunenabhängig stark variieren kann. Im Laufe des Projekts wurden von den Verbundpartnern StEB Köln und TSB die Übertragbarkeit der einzelnen Ebenen/Module des Webtools auf Köln getestet.

Im Rahmen des Projektes wurden darüber hinaus in einer **dritten Workshoprunde** Ansätze zur Implementierung und Verstetigung der erzielten Arbeitsergebnisse für Berlin und Köln dis-

kutiert. Dazu zählen der Webtoolprototyp, die erstellten Potenzialkarten sowie das Wasserhaushaltsmodell. Der Webtoolprototyp für das Berliner Stadtgebiet wird seit Juni 2025 über einen Server der TSB zur Darstellung der Projektergebnisse und über einen geplanten Zeitraum von mindestens zwei Jahren bereitgestellt. Das Angebot ist unter folgendem Link zu erreichen:

<https://www.amarex-webtool.technologiestiftung-berlin.de/amarex/>⁵

Des Weiteren wurde auch der im Rahmen des Projektvorhabens entwickelte Quellcode der Öffentlichkeit als Open Source auf der Plattform GitHub bereits während der Entwicklung zur Verfügung gestellt und laufend aktualisiert. Der finale Stand der Entwicklungsarbeit kann unter diesem Link eingesehen werden:

<https://github.com/technologiestiftung/amarex-masterportal>⁶

In Köln werden die erfolgreich auf Übertragbarkeit getesteten Module und Teilergebnisse weiterverfolgt. Die Potenzialkarten sowie die Ergebnisse des Wasserhaushaltsmodells sind über das Geoportal der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (SenSBW) veröffentlicht und zugänglich gemacht worden. Die Potentialkarten für Köln werden innerhalb der Verwaltung genutzt.

AMAREX Planungs-Webtool: Entwicklung und Funktionalitäten

Die Erkenntnisse aus den durchgeführten Workshops (siehe oben), sowie die darauf basierenden Bedarfsanalysen hatten ergeben, dass die untersuchten Zielgruppen sich in der Mehrzahl ein einfach verständliches Tool zur Konzeptentwicklung und Vorplanung wünschen. In mehreren Iterationen wurden verschiedene Bedienkonzepte intern validiert und niedrigschwellig vertestet.

Da bei vielen Teilnehmenden noch Lernbedarfe zum Thema RWB-Maßnahmen bestand, entschied man sich seitens der Technologiestiftung Berlin für ein Schritt-für-Schritt Konzept, welches im Gegensatz zu bereits existierenden Lösungen die Nutzenden zielgerichteter durch den Planungsprozess führt und damit versucht diese Lernbedarfe in kleinteiligeren Sinnabschnitten zu adressieren.

Als Entwicklungsgrundlage entschied sich die Technologiestiftung Berlin für die Software „Masterportal“ aus der Geowerkstatt Hamburg, welche branchenübliche Bedienungsstandards zur Interaktion mit Kartenmaterial mitbringt. Die Bedienoberfläche des Masterportals wurde aufgrund der Ergebnisse aus den Stakeholder:innen-Workshops an die Anforderungen der Nutzenden angepasst.

Die Technologiestiftung Berlin hat für die Berechnung des Wasserhaushaltsmodells R-ABIMO einen Geoserver aufgesetzt, um die benötigten Karten für die Berechnungen und Ergebnisse im Webtool darstellen zu können. Weitere Karten, wie die Hintergrund- und Themenkarten stammen aus dem Geoportal Berlin.

⁵ Link zuletzt geprüft am 15.01.2026

⁶ Link zuletzt geprüft am 15.01.2026

Die **Arbeitsabläufe** im Webtool entsprechen den gewöhnlichen Planungsabläufen, beginnend mit der Status Quo Analyse des Wasserhaushalts. Anschließend kann eine Variantenbildung durchgeführt und im letzten Schritt dann zur Effektbewertung übergegangen werden. Zur Status Quo Analyse stehen dazu eine Vielzahl an Hintergrund- und Themenkarten aus dem Geportal Berlin zur Verfügung, mit denen die Nutzenden verschiedene Aspekte des Untersuchungsgebietes analysieren können (Abbildung 6-7). Mithilfe des Wasserhaushaltmodells R-ABIMO können die Nutzenden in den nächsten Schritten verschiedene Varianten berechnen. Hierbei stehen zwei Arbeitsmodi zur Verfügung:

- Modus „Gebietsplanung“: Hier können mehrere Blockteilflächen gewählt und auf diesen eine relative Verteilung von RWB-Maßnahmen angesetzt werden (Abbildung 6-8).
- Modus „Lokale Planung“: Hier können innerhalb einer einzelnen Blockteilfläche mehrere Einzelmaßnahmen nach vorgegebenen Dimensionierungen verteilt werden (Abbildung 6-9). Dieses kleinteiligere Vorgehen hat den Vorteil, dass man bereits Vorschläge zur Verortung der gesetzten Einzelmaßnahmen integrieren kann.

Für den letzten Planungsschritt der Effektbewertung können sich die Nutzenden einen Report im PDF-Format herunterladen (Abbildung 6-10).

Weiterhin können Nutzende vorgenommene Bearbeitungen als Projektdatei herunterzuladen und mit diesen zu einem späteren Zeitpunkt im Webtool weiterarbeiten. Durch die Weitergabe der Projektdateien an andere Personen werden zudem kooperative Arbeitsabläufe ermöglicht. Die Dateien stehen im branchenüblichen ZIP-Format zur Verfügung und enthalten die erarbeiteten Arbeitsergebnisse im GeoJSON-Format, welche in den meisten handelsüblichen GIS-Programmen zur weiteren Bearbeitung geöffnet werden können.

Darüber hinaus werden der in AP3 erarbeitete RWB-N Nutzvolumenrechner (ESB Tool, siehe Abschnitt 3.2) im MS Excel-Format als Download zur Verfügung gestellt, sowie das in AP2 erarbeitete RWB+ Webtool (Abschnitt 2.2) verlinkt, um eine einheitliche Anlaufstelle für die im Verbundvorhaben entwickelten Anwendungen zur Verfügung zu stellen.

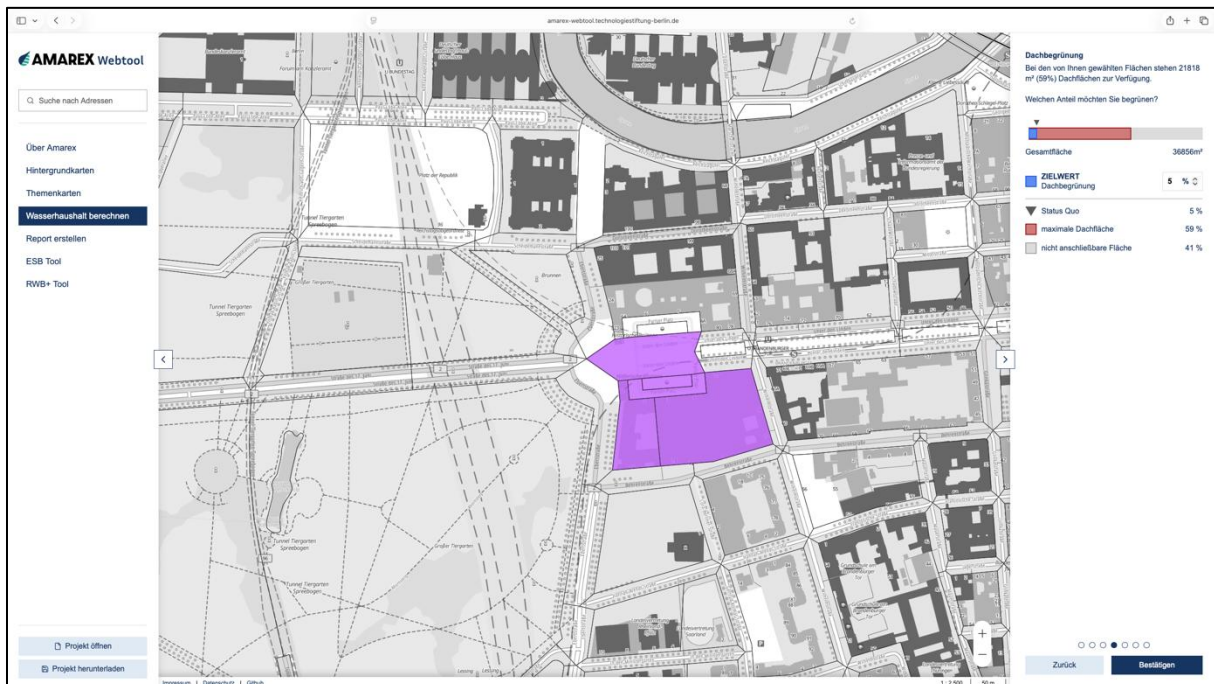


Abbildung 6-7: Screenshot des AMAREX-Webtools mit Schritt-für-Schritt-Anleitung im rechten Menüband für die Durchführung der Wasserhaushaltsberechnung in einem ausgewählten Gebiet (mehrere Blockteillflächen)

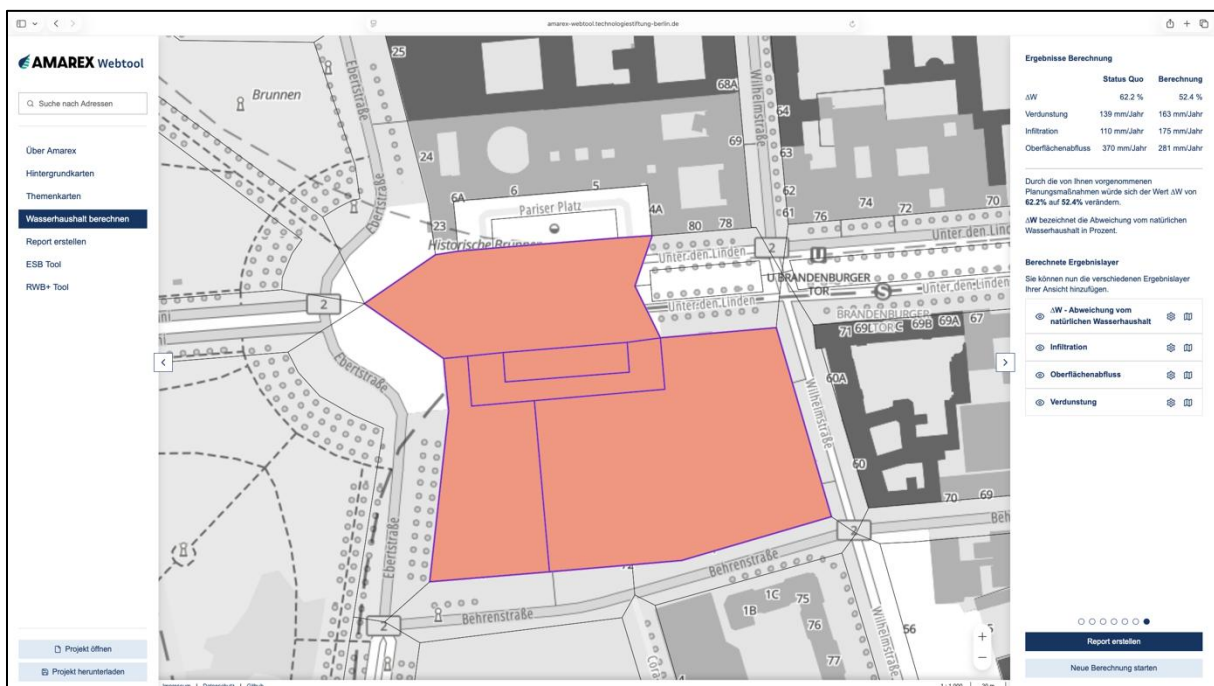


Abbildung 6-8: Durchgeführte "Gebietsplanung" im AMAREX-Webtool mit den Ergebnissen der Wasserhaushaltsberechnung für mehrere Blockteillflächen im rechten Menüband

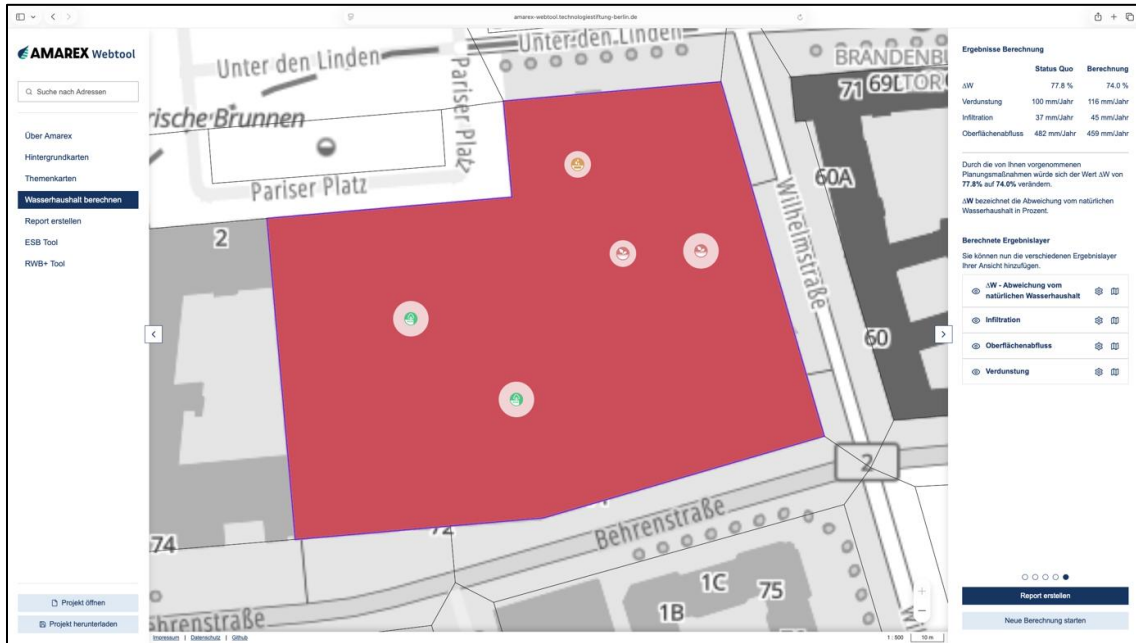


Abbildung 6-9: Durchgeführte "Lokale Planung" im Webtool mit den Ergebnissen der Wasserhaushaltsberechnung auf einer Blockteifläche im rechten Menüband

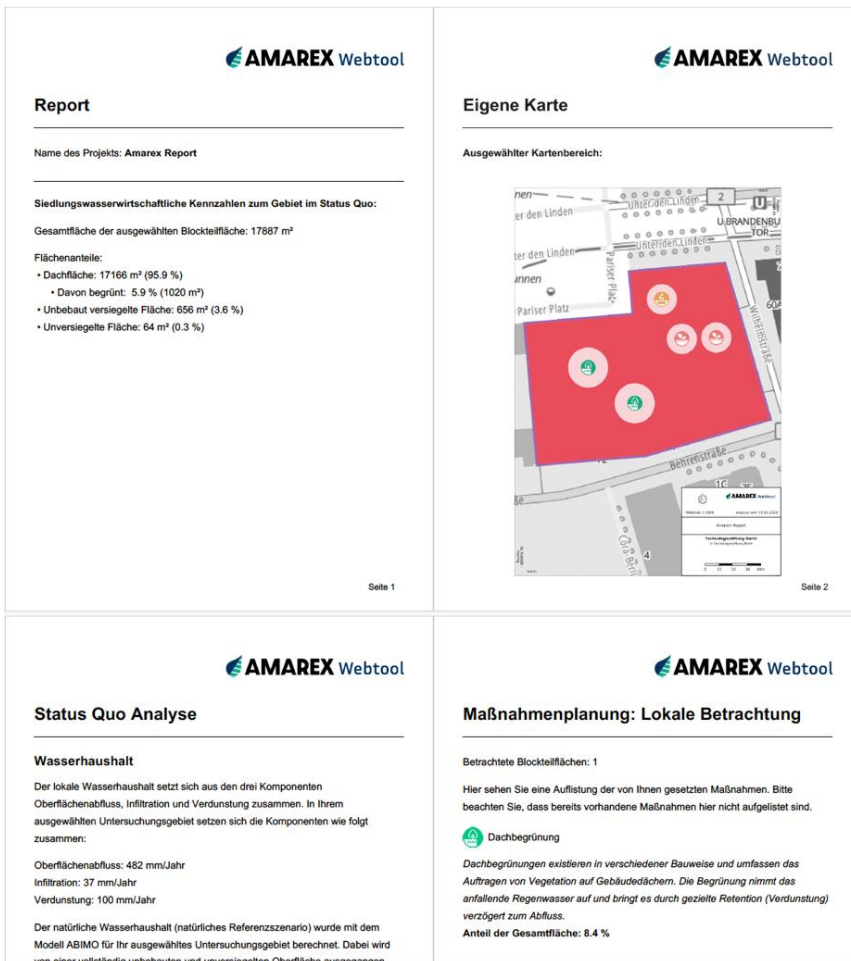


Abbildung 6-10: Beispielreport einer durchgeführten "lokalen Planung" im Webtool

7 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Mit dem Verbundvorhaben AMAREX konnte aufgezeigt und durch verschiedene Untersuchungen quantifiziert werden, wie durch angepasste Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (RWB+ und RWB-N) und blau-grüne Infrastrukturen (BGI) ein besserer Umgang mit den zunehmenden Wasserextremen Starkregenüberflutungen, Trockenheit und Hitze möglich wird. Der erfolgreiche Abschluss des Vorhabens lässt sich sowohl hinsichtlich des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns als auch für die praktische Anwendung des urbanen Regenwassermanagements wie folgt zusammenfassen:

- Mit den technisch-wissenschaftlichen Untersuchungen in den Pilotgebieten und dem Stakeholder:innenprozess des „Kommunalen Ankers“ (AP 1) in Berlin und Köln wurde über die gesamte Projektlaufzeit eine enge **Verknüpfung von Forschung und praktischer Anwendung** gewährleistet im Sinne des Förderziels „Anwendungsorientierte Forschung unter praxisnahen Bedingungen“.
- Der erarbeitete **Katalog angepasster RWB+/RWB-N Maßnahmen** liefert auf kommunaler Ebene konkret anwendbare technische Lösungsvorschläge zum verbesserten Umgang und Management von Wasserextremen. Zugehörig wurde exemplarisch anhand der Pilotgebiete in Berlin und Köln aufgezeigt, in welchem Umfang RWB+ Anlagen positive Wirkungen zur Überflutungsminderung entfalten können und wie vielfältig sich RWB-N Anlagen für die Belange der Trockenheitsvorsorge und Bewässerung urbaner Vegetation einsetzen lassen.
- Die mehrdimensionale **Bewertung der Wirkungen dieser Maßnahmen** (Starkregen- und Trockenheitsvorsorge, urbaner Wasserhaushalt, sozio-ökonomische Dimension) sowie die Bereitstellung diverser zugehöriger Planungstools liefert wertvolle Unterstützungsbeiträge für Kommunen bei der Planung und Umsetzung wasserbezogener Anpassungskonzepte an den Klimawandel.
- Insbesondere mit dem frei verfügbaren **AMAREX Planungs-Webtool** wird den Nutzenden eine niedrigschwellige Möglichkeit angeboten, gestützt auf diverse integrierte Karten kooperativ erste Maßnahmenplanungen mit Reportfunktion und eigene Wasserhaushaltsberechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell R-ABIMO durchzuführen. Das Webtool erfüllt damit die Anforderungen der Nutzenden an ein offen verfügbares, leicht zu bedienendes Webtool, das die kollaborative Zusammenarbeit fördert und kommunale Entscheidungs- und Planungsprozesse vereinfacht.
- Die Untersuchungsergebnisse zum **urbanen Wasserhaushalt** unterstreichen dessen Potenzial als Indikator für die strategische Klimaanpassung in Städten, aufgrund seines direkten Bezugs zu Klimarisiken. Einfache Modellansätze, wie das in AMAREX weiterentwickelte open-source Modell R-ABIMO, sind gut geeignet, um sowohl den Ist-Zustand als auch Zukunftsszenarien einem naturnahen Zielzustand gegenüberzustellen. Besonderer Forschungsbedarf wird bei der Festlegung dieses naturnahen Zielzustandes gesehen: Ein besseres Wirkungsverständnis des Wasserhaushaltes würde ortsspezifische Referenzzustände erlauben, die auf lokale Zielstellungen eingehen.

Quellen und Publikationsliste

- Albrecht, M., Pflieger, I. (2004): Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Fruchtarten in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, 3. Auflage, Eigenverlag
- BoHei (2022): Minke, R., Rott, E. 2022: Abschlussbericht zum BMBF-Vorhaben BoHei – Bolzstrasse Heilbronn - Ein Quartier stellt sich neu auf. Integrierte ressourceneffiziente Stadtentwicklung, Mai 2022
- Del Punta, F.; Sonnenberg, H.; Guericke, L.; Kolesch, D.; Haag, L.; Schwab, L. und Matzinger, A. (2024): Adaptation and Transfer of the Urban Water Balance Model ABIMO. 16th International Conference on Urban Drainage (ICUD), Delft, 9-14 June 2024
- Del Punta, F., Sonnenberg, H., Li, N., Haag, L., Schwab, L. und Matzinger, A. (2025): Simulation der Effekte von blau-grünen Infrastrukturen auf den urbanen Wasserhaushalt: Ein einfaches Berechnungsmodell zur Bewertung von Regenwasserbewirtschaftungsstrategien auf gesamtstädtischer Ebene. "Urbanes Regenwasser bewirtschaften: Herausforderungen – Lösungen – Visionen". Aqua Urbanica Rapperswil, 21.-23. September 2025. <https://doi.org/10.3217/tcfy8-3f443>
- Dicke, F., Tröltzsch, J., Schritt, H. (2025): Sozio-ökonomische Analyse Blau-Grüner Infrastrukturmaßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung. Posterbeitrag, Fachsymposium Stadtgrün, 12.-13. November 2025, Berlin.
- Dicke, F., Schritt, H., Stein, U., and Tröltzsch, J. (2026): Blue-green infrastructure for climate adaptation: a socio-economic assessment of decentralised rain-water management measures in the urban environment, EGUsp-here [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-6344>
- DIN (2009): DIN 19684-10: Bodenbeschaffenheit - Chemische Laboruntersuchungen - Teil 10: Untersuchung und Beurteilung des Wassers bei Bewässerungsmaßnahmen. Deutsche Norm, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, Januar 2009.
- DIN (2024): DIN EN 16941-1, Vor-Ort-Anlagen für Nicht-Trinkwasser -Teil 1: Anlagen für die Verwendung von Regenwasser; Deutsche Fassung EN 16941-1:2024. Deutsches Institut für Normung e. V. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Dittmer, U. (2023a): Ingenieurtechnische Starkregen- und Entwässerungslösungen. Fachtagung Hoch- und Niedrigwassermanagement - Konsequenzen für die städtebauliche Planung und Raumordnung. 19.09.2023, Congress Center Ramstein-Miesenbach
- Dittmer, U. (2023b): Regen in der Stadt – Risiko und Ressource. DWA-Landesverbandstagung Baden-Württemberg, 17./18.10.2023, Pforzheim
- Dittmer, U. (2025): AMAREX - Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse. WaX Abschlusskonferenz, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften Berlin, 12.–13.03.2025.
- Dittmer, U. und Scheid, C. (2023): Wasserbewusste Stadt. Umgang mit zu viel und zu wenig Regenwasser. 12. Kommunalen Erfahrungsaustausch "Regenwasser in der Praxis", 27. April 2023. Gelsenkirchen-Buer.
- Dittmer, U.; Wilhelm, F.; Scheid, C.; Rumberg, M.; Jaworski, T.; Rott, E.; Minke, R. (2023): Blau-grüne Infrastruktur in der Stadt der Zukunft. Proceedings. 56. Essener Tagung für Wasserwirtschaft "Sichere Wasserwirtschaft in Krisenzeiten". 07.-09. März 2023, Eurogress, Aachen.
- Dittmer, U.; Matzinger, A.; Minke, R.; Rosenfeld, N.; Scheid, C. und Tröltzsch, J. (2025): AMAREX - Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse. Abschlussveranstaltung des Forschungsvorhabens AMAREX am 10. Juli 2025, VHS Forum Köln
- DWA (2022): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers. Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef.
- DWA (2024): Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb. Arbeitsblatt DWA-A 138-1. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef.

- FLL (2018): Dachbegrünungsrichtlinien, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. Bonn.
- Guericke, L., Sonnenberg, H., Gunkel, M., Haag, L. & Matzinger, A. (2023a): Evaluation of the deviation from the annual natural water balance of urban areas – Proposition of a model approach, p. 5 In Novatech 2023. Lyon, Frankreich
- Guericke, L.; Sonnenberg, H.; Gunkel, M.; Haag, L.; Matzinger, A. (2023b): Quantifizierung des lokalen Wasserhaushalts im urbanen Raum. "Die wasser- und schadstoffbewusste Stadt - Klimaangepasstes Regenwassermanagement trifft Schadstoffproblematik". Aqua Urbanica München, 09./10. Oktober 2023.
- Henrichs, M., Langner, J. & Uhl, M. (2016) Development of a simplified urban water balance model (WABILA). Water Science and Technology 73 (8): 1785–1795
- Interess-I (2021): Ludwig, F.; Well, F.; Moseler, E.-M.; Eisenberg, B.; Deffner, J.; Drautz, S.; Elnagdy, M.; Friedrich, R.; Jaworski, T.; Meyer, S.; Minke, R.; Morandi, C.; Müller, Hans; Narvaéz Vallejo, A.; Richter, P.; Schwarz-von Raumer, H.-G.; Steger, L.; Steinmetz, H.; Wasielewski, S.; Winker, M. 2021: Integrierte Planung blaugrüner Infrastrukturen. Ein Leitfaden. München. DOI-Link: doi:10.14459/2021md1638459 oder über: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1638459/1638459.pdf>
- Knoche, F., Schumacher, F., Zamzow, M., Sohrt, J., Rehfeld-Klein, M., Matzinger, A., Johne, U., Meier, I., Rouault, P., Pawlowsky-Reusing, E. & Schütz, P. (2024) Strategic planning of blue-green infrastructure to reduce surface water pollution from combined sewer overflows. p. 4. 16th International Conference on Urban Drainage.
- KWB (2023) R-Implementation of Water Balance Model Abimo (Open Source Model). <https://github.com/KWB-R/kwb.rabimo>. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.
- Li, N. (2025) Urban Water Balance as a Proxy for Climate Impacts - A Feasibility Assessment in Berlin. Institut für Technischen Umweltschutz, TU Berlin
- Minke, R. (2024): Beispiele für die Nutzung von alternativen Wasserressourcen zur Dürre/Hitzevorsorge, 39. Bundeskongress des BWK, 19. September 2024, Karlsruhe.
- Minke, R. (2025): Beiträge von angepasster RWB und BGI zur Dürrevorsorge – Anlagenkonzeption und Effekte der Langzeitspeicherung, Fachtagung Urbaner Wasserhaushalt und Wasserextreme, 09. Oktober 2025, Kaiserslautern
- Minke, R., Rott, E. (2025): Modellbasierte Speicherdimensionierung für eine konsequente Dürrevorsorge, DWA-Landesverbandstagung, Pforzheim 21.-22.10.2025.
- Neumann, J.; Scheid, C.; Dittmer, U. (2023): Wirkungspotentiale dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsanlagen zur Starkregenvorsorge. "Die wasser- und schadstoffbewusste Stadt - Klimaangepasstes Regenwassermanagement trifft Schadstoffproblematik". Aqua Urbanica München, 09./10. Oktober 2023.
- Neumann, J.; Scheid, C.; Dittmer, U. (2024a): Potential of Decentral Nature-Based Solutions for Mitigation of Pluvial Floods in Urban Areas—A Simulation Study Based on 1D/2D Coupled Modeling. Water 2024, 16, 811. <https://doi.org/10.3390/w16060811>
- Neumann, J.; Scheid, C.; Dittmer, U. (2024b): Model-based investigations for the potential of decentralised Blue-Green Infrastructure for pluvial flood mitigation. 16th International Conference on Urban Drainage (ICUD), Delft, 9-14 June 2024
- Neumann, J.; Scheid, C.; Dittmer, U. (2024c): Quantifizierung und Übertragbarkeit von Effekten dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen zur Minderung von Starkregen-überflutungen. "Urbanes Niederschlagswassermanagement: Herausforderungen – Möglichkeiten – Grenzen". Aqua Urbanica Graz, 22.-24. September 2024. <https://doi.org/10.3217/qvycb-56751>
- Neumann, J.; Rott, E. und Dicke, F. (2025a): Erweiterte Regenwasserbewirtschaftungsanlagen (RWB+ und RWB-N) gegen Starkregen und Dürre. Posterbeitrag, WaX Abschlusskonferenz, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften Berlin, 12.–13.03.2025.
- Neumann, J.; Scheid, C. und Dittmer, U. (2025b): Minderungseffekte von Regenwasserbewirtschaftungsanlagen zur Starkregenvorsorge (RWB+). Posterbeitrag, WaX Abschlusskonferenz, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften Berlin, 12.–13.03.2025.

- Neumann, J.; Scheid, C.; Dittmer, U. (2025c): Quantification and transferability of decentralised Nature-based Solutions' effects for pluvial flood mitigation. poster paper. Proceedings 13th Urban Drainage Modelling Conference, Innsbruck (Austria), 15 -19 September 2025.
- Rott, E.; Jaworski, T.; Minke, R. (2022): Von der gesamtstädtischen Erfassung und Bilanzierung alternativer urbaner Wasserressourcen über die Verarbeitung der Daten in einem Erfassungs-, Speicherungs- und Bereitstellungsmodell bis zur Planung von Betriebswasserspeichern auf Quartiersebene. Posterbeitrag und Tagungsbandbeitrag, Aqua Urbanica 2022, Glattfelden, Schweiz, 14.–15.11.2022, 160–164.
- Rott, E.; Böhm, T.; Minke, R.; Vogel, H.; Müller, H.; Käß, J. (2023a): Untersuchungen zur Speicherung von Niederschlagsabflüssen und deren Verwendung zur Bewässerung von Efeu-Fassadenbegrünung. Posterbeitrag, WaX Statusseminar, Potsdam 20.–21.09.2023.
- Rott, E.; Jaworski, T.; Minke, R. (2023b): Von der stadtweiten Erfassung und Bilanzierung alternativer urbaner Wasserressourcen bis zur Planung von Betriebswasserspeichern mithilfe des Erfassungs-, Speicherungs- und Bereitstellungsmodells. Posterbeitrag, WaX Statusseminar, Potsdam 20.–21.09.2023.
- Scheid, C. (2022): Anpassung des Regenwassermanagements an Wasserextreme - das Verbundprojekt AMAREX. Fachtagung Emmelshausen. DWA-Landesverband Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland (DWA-HRPS). 13. Oktober 2022. Kaiserslautern
- Scheid, C. (2023): Überflutungsvorsorge und Dürrevorsorge: Synergien oder Zielkonflikte im Umgang mit urbanen Wasserextremen? Wasserfachtagung NIVUS GmbH. 15.-16. Juni 2023. Eppingen
- Scheid, C. und Neumann, J. (2025): Beiträge von angepasster RWB und BGI zur Überflutungsvorsorge – Anlagenkonzeption und Effekte des Kurzzeitrückhalts, Fachtagung Urbaner Wasserhaushalt und Wasserextreme, 09. Oktober 2025, Kaiserslautern
- Scheid, C.; Neumann, J.; Matzinger, A.; del Punta, F.; Minke, R.; Rott, E.; Tröltzsch, J.; Rosenfeld, N. (2025): "Anpassung des urbanen Regenwassermanagements an Wasserextreme – Projekterfahrungen aus AMAREX". Interdisziplinäre Tagung „Extremereignisse im Zusammenhang mit dem Klimawandel – Qualitative und quantitative Auswirkungen auf den Wasserkreislauf“, Universität Koblenz, 24. bis 26. September 2025
- Scheid, C.; Gunkel, M.; Matzinger, A.; Minke, R.; Schwab, L.; Tröltzsch, J. und Dittmer, U. (2026a): "AMAREX: Die Anpassung des urbanen Regenwassermanagements an Wasserextreme". Korrespondenz Wasserwirtschaft 01/2026
- Scheid, C.; Neumann, J. und Dittmer, U. (2026b): "Umgang mit urbanen Wasserextremen durch ein angepasstes Regenwassermanagement - Projekterfahrungen aus AMAREX". 38. Oldenburger Rohrleitungsforum, 05./06. Februar 2026 in Oldenburg.
- Scheid, C.; Neumann, J.; Dittmer, U. (2026c): "Umgang mit urbanen Wasserextremen durch ein angepasstes Regenwassermanagement - Projekterfahrungen zur Starkregenminderung aus AMAREX". gwf Wasser | Abwasser (178) 02/2026, S- 75-81.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Bauen und Wohnen (2025) Geoportal Berlin: Wasserhaushalt 2022 (Umweltatlas). <https://gdi.berlin.de/viewer/main/#>
- Schmitt, T.G.; Krüger, M.; Pfister, A.; Becker, M.; Mudersbach, C.; Fuchs, L. et al. (2018): Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex. In: KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall 65 (Nr. 2), 113-120.
- Schritt, H. (2023): Kommunikation und Partizipation im Verbundprojekt AMAREX. Vortrag im Rahmen des WaX-Workshops zum Querschnittsthema Kommunikation und Partizipation. Juni 2023
- Schwab, L. (2024): AMAREX - Ein Webtool zur Planungsunterstützung für urbane Wasserextreme. WaX-Lunchtalk „Wasserextreme im Fokus – Neue Impulse aus der Forschung“, 05. November 2024 (online)
- Schwerdorf, I. (2025) Präsentation der Ergebnisse AMAREX auf dem Kölner Kanal und Kläranlagenkolloquium Köln, 09.09.2025 Köln
- Stein, U. (2023): "Blue Green Infrastructures and Nature based Solutions for Stormwater Management" Stormwater Poland Conference, 27 September 2023, Katowice.

- Strauß, M., Rott, E., Minke, R., Müller, H., Käß, J., Petersohn, J., Steffgen, F. (2025): Untersuchungen zur Speicherung von Niederschlagsabflüssen und deren Verwendung zur Bewässerung von Efeu-Fassadenbegrü-
nung – Ergebnisse. Posterbeitrag, Abschlussveranstaltung des Forschungsvorhabens AMAREX am 10. Juli
2025, VHS Forum Köln
- Tröltzsch, J., Schritt, H., Stein, U., Dicke, F. (2023): Climate adaptation and urban water systems: Fostering nature-
based solutions and resilient governance systems. 6th European Climate Change Adaptation Conference
(ECCA), 19-21 June 2023, Dublin.
- Tröltzsch, J., Stein, U., Dicke, F., Schritt, H. (2024a): Stormwater management in cities to cope with multiple ext-
reme events: Socio-economic evaluation of nature-based solutions to support climate-resilient urban planning.
CONEXUS Conference: Accelerating urban nature-based solutions, 15-17 May 2024, Barcelona.
- Tröltzsch, J., Schritt, H., Stein, U., Dicke, F. (2024b): Climate adaptation and urban wa-ter systems: Socio-economic
assessment of blue-green infrastructure. Posterbeitrag, WaX Statusseminar, Potsdam 20.–21.09.2023.
- Tröltzsch, J., Stein, U., Dicke, F., Schritt, H. (2024c): Blue-green infrastructure solutions as a strategy for climate-
resilient urban water management - A socio-economic evaluation. Water Research Horizon Conference, 27
September 2024, Leipzig.
- Tröltzsch, J., Dicke, F., Schritt, H. Stein, U. (2026): Sozioökonomische Bewertung für Maßnahmen zum Manage-
ment von Regenwasser: Kosten und Nutzen blau-grüner Infrastrukturen. Ergebnisse des Projekts: Anpassung
des Managements von Regenwasser an Extremereignisse (AMAREX). Ecologic Institut, Berlin.
- US EPA (2016): Rossman, L.; Huber, W.: Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water
Quality Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division, unter:
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRML&dirEntryId=327450 (aufgerufen am
26.05.2025).

ANHANG

Anhang 1: Handlungsfeld Starkregenvorsorge	ii
Anhang 2: Handlungsfeld Sozio-Ökonomie	iii

TABELLEN (ANHANG)

Tabelle A 1: Verwendete Niederschlagslastfälle	ii
Tabelle A 2: Übersicht: Anzahl simulierter Szenarien zur Wirkungsanalyse von RWB/RWB+ Anlagen.....	ii
Tabelle A 3: Gesamtbewertung Multikriterienanalyse	iii
Tabelle A 4: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Pilotgebiet Berlin I (Kreuzberg).....	iv
Tabelle A 5: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Pilotgebiet Köln-Kalk	iv

Anhang 1: Handlungsfeld Starkregenvorsorge

Tabella A 1: *Verwendete Niederschlagslastfälle*

Lastfall	Verteilung	Jährlichkeit T _n	Dauer	Niederschlagshöhe	SRI* [-]
R1E	Modellregen Euler II	100 a	60 min	48,9 mm	7
R2E	Modellregen Euler II	>> 100 a	60 min	100 mm	10
R1B	Blockregen	100 a	60 min	48,9 mm	7
R1E6	Modellregen Euler II	100 a	360 min	74,3 mm	7

* SRI = Starkregenindex nach Schmitt et al. (2018)

Tabella A 2: *Übersicht: Anzahl simulierter Szenarien zur Wirkungsanalyse von RWB/RWB+ Anlagen*

Gebiet Modellszenario	R1E und R2E Implementierung		R1B Implementierung		R1E6 Implementierung	
	0 %	25 - 100 %	0 %	100 %	0 %	100 %
Untersuchungsgebiet						
Referenzmodell	2	-	1	-	1	-
Mulden	-	8	-	1	-	1
Mulden+	-	8	-	1	-	1
Rigolen	-	8	-	1	-	1
Rigolen+	-	8	-	1	-	1
Mulden-Rigolen-Element	-	8	-	1	-	1
Mulden-Rigolen-Element+	-	8	-	1	-	1
Ext. Gründächer	-	8	-	1	-	1
Int. Gründächer	-	8	-	1	-	1
Retentionsdächer	-	8	-	1	-	1
Zisternen	-	8	-	1	-	1
Retentionszisternen, ungedrosselt	-	8	-	1	-	1
Retentionszisternen, gedrosselt	-	8	-	1	-	1
HOB	-	2 *	-	1	-	1
Baumrigolen	-	2 *	-	1	-	1
Validierungsgebiete						
Referenzmodell	4	-	-	-	-	-
Mulden	-	16	-	-	-	-
Mulden+	-	16	-	-	-	-
Retentionsdächer	-	16	-	-	-	-

* nur für Implementierungsgrad 100 %

Anhang 2: Handlungsfeld Sozio-Ökonomie

Tabelle A 3: Gesamtbewertung Multikriterienanalyse

	Kostengünstig	Innovationspotenzial	Stadtklima	Erholung	Akzeptanz	Flächenkonkurrenz	Umsetzbarkeit	Flexibilität	Überflutungsschutz	Gewässerschutz	Wasserspeicherung	Versickerung	Verdunstung	Lärmreduktion	Biodiversität & Habitatvielfalt	Luftreinhaltung	Klimawirkung	Synergien Regen-Trockenheit	Summe
RWB Versickerungsmulde	10	1	2	1	6	7	10	10	8	9	1	9	2	10	7	6	10	1	110
RWB+ Versickerungsmulde+	8	6	2	1	5	4	9	10	9	9	1	9	2	10	7	6	10	1	108
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	3	10	7	6	5	6	8	10	6	7	9	9	7	10	10	6	9	8	128
RWB Rigole	7	1	1	1	3	9	3	1	8	6	1	10	1	1	1	1	10	1	65
RWB+ Versickerungsrigole+	6	6	1	1	3	8	2	1	9	6	1	10	1	1	1	1	9	1	67
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	3	10	6	6	1	7	1	1	1	1	8	3	6	1	4	6	9	5	74
RWB Mulden-Rigolen-Element	5	1	1	1	5	8	8	1	8	9	1	10	1	10	7	6	10	1	92
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	4	6	2	1	3	6	7	1	10	10	1	9	2	10	7	6	10	1	95
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	2	10	6	6	3	6	6	1	6	7	8	3	6	10	10	6	9	8	105
RWB Optimierter Baumstandort	6	1	6	6	10	1	10	1	6	1	1	10	3	10	10	6	10	1	98
RWB+ Baumrigole	3	6	6	6	8	3	8	1	6	1	1	10	2	10	10	6	10	1	97
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	2	10	10	10	6	8	7	1	6	4	9	10	6	10	10	6	9	8	124
RWB Extensives Gründach	9	1	3	1	8	10	8	6	8	9	1	1	4	10	7	10	7	1	103
RWB+ Intensives Gründach	4	1	6	10	8	10	7	6	10	10	1	1	6	10	10	10	2	1	112
RWB+ Retentionsdach	7	6	4	1	8	10	7	6	10	10	1	1	5	10	10	10	4	1	110
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	3	10	8	6	6	8	7	6	5	7	4	3	9	10	10	10	5	5	117
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	2	10	9	6	6	6	7	6	6	7	2	3	10	10	10	10	1	4	111
RWB Zisterne	3	1	6	6	3	9	10	1	2	2	9	3	6	1	4	6	8	6	80
RWB+ Smarte Retentionszisterne	1	10	6	6	1	8	6	1	8	6	10	3	6	1	4	6	8	10	91
RWB-N Smarte Retentionszisterne	1	10	8	6	1	9	6	1	2	2	10	3	6	1	4	6	9	7	85

Tabelle A 4: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Pilotgebiet Berlin I (Kreuzberg)

Berlin 1	Nutzen in 1.000 €			Kosten in 1.000 €		
	pro Ereignis Überflutungsschutz	pro Jahr Gesamtnutzen (ohne Überflutungsschutz)			pro Jahr Gesamtkosten	
		min	med	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	1.843 €	954 €	958 €	961 €	130 €	312 €
RWB+ Versickerungsmulde+	2.977 €	1.039 €	1.047 €	1.054 €	276 €	666 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	0 €	1.043 €	1.047 €	1.050 €	1.314 €	5.554 €
RWB Rigole	1.867 €	902 €	902 €	902 €	109 €	269 €
RWB+ Versickerungsrigole+	2.839 €	935 €	935 €	935 €	215 €	529 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	0 €	327 €	327 €	327 €	407 €	997 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	2.143 €	924 €	926 €	928 €	264 €	514 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	2.982 €	998 €	1.003 €	1.009 €	674 €	1.301 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	0 €	386 €	388 €	390 €	1.662 €	6.703 €
RWB Optimierter Baumstandort	0 €	12.568 €	17.456 €	24.220 €	1.357 €	4.215 €
RWB+ Baumrigole	0 €	10.104 €	14.372 €	20.522 €	1.853 €	5.039 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	0 €	4.303 €	7.096 €	11.781 €	1.548 €	6.362 €
RWB Extensives Gründach	2.788 €	2.542 €	3.216 €	4.685 €	897 €	2.786 €
RWB+ Intensives Gründach	2.978 €	7.768 €	11.646 €	17.205 €	6.145 €	18.701 €
RWB+ Retentionsdach	2.978 €	2.542 €	3.216 €	4.685 €	1.930 €	5.929 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	0 €	2.869 €	3.543 €	5.012 €	3.302 €	13.434 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	0 €	2.869 €	3.543 €	5.012 €	6.517 €	26.232 €
RWB Zisterne	860 €	327 €	327 €	327 €	1.196 €	5.408 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	2.762 €	327 €	327 €	327 €	3.232 €	14.393 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	2.423 €	327 €	327 €	327 €	2.137 €	9.517 €

Tabelle A 5: Gesamtkosten- und Nutzenübersicht Pilotgebiet Köln-Kalk

Köln Kalk	Nutzen in 1.000€			Kosten in 1.000€	
	min	med	max	min	max
RWB Versickerungsmulde	767 €	769 €	772 €	111 €	256 €
RWB+ Versickerungsmulde+	823 €	828 €	833 €	211 €	490 €
RWB-N Versickerungsmulde mit (Retentions-)Zisterne	923 €	925 €	928 €	760 €	3.299 €
RWB Rigole	727 €	727 €	727 €	100 €	240 €
RWB+ Versickerungsrigole+	743 €	743 €	743 €	182 €	433 €
RWB-N Speicherrigole als Zisterne	259 €	259 €	259 €	282 €	675 €
RWB Mulden-Rigolen-Element	747 €	749 €	750 €	263 €	497 €
RWB+ Mulden-Rigolen-Element+	793 €	796 €	799 €	561 €	1.050 €
RWB-N Mulden-Speicherrigolen-Element mit Zisterne	293 €	295 €	296 €	1.027 €	4.070 €
RWB Optimierter Baumstandort	6.846 €	9.996 €	14.579 €	1.022 €	3.395 €
RWB+ Baumrigole	5.139 €	7.824 €	11.945 €	1.365 €	3.808 €
RWB-N Baumstandort mit (Retentions-)Zisterne	3.260 €	5.394 €	8.967 €	1.027 €	4.286 €
RWB Extensives Gründach	1.435 €	1.948 €	3.064 €	787 €	2.432 €
RWB+ Intensives Gründach	4.342 €	6.722 €	10.308 €	5.189 €	15.770 €
RWB+ Retentionsdach	1.435 €	1.948 €	3.064 €	1.639 €	5.021 €
RWB-N Gründach mit (Retentions-) Zisterne	1.694 €	2.207 €	3.323 €	2.172 €	8.918 €
RWB-N Retentionsdach mit Zisterne	1.694 €	2.207 €	3.323 €	3.234 €	12.493 €
RWB Zisterne	259 €	259 €	259 €	656 €	3.127 €
RWB+ Smarte Retentionszisterne	259 €	259 €	259 €	1.927 €	9.072 €
RWB-N Smarte Retentionszisterne	259 €	259 €	259 €	1.173 €	5.519 €

Hinweis: Nutzen „Überflutungsschutz“ nicht für Köln Kalk berechnet da Überflutungsdaten aus den Modellierungen nur für Berlin I vorliegen.