


Sachbericht zum Verwendungsnachweis (I – Kurzbericht und II – Eingehende Darstellungen)

(Anlage 1 zu Nr. 4.2 NABF 2022)

Zuwendungsempfänger: Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH (KWB), vertreten durch: <ul style="list-style-type: none">• Dr. Andreas Matzinger, Gruppe Regenwasser und Gewässer (Teilprojektleitung)		Förderkennzeichen: 02WEEE1624C
Vorhabensbezeichnung: AMAREX – Anpassung des Managements von Regenwasser an Extremereignisse Teilprojekt 3		
Laufzeit des Vorhabens:	01.02.2022 - 31.07.2025	
Berichtszeitraum:	01.02.2022 - 31.07.2025	
Berichterstattung:	Andreas Matzinger, Francesco Del Punta, Hauke Sonnenberg Kompetenzzentrum Wasser Berlin	

I. Kurzbericht

I.1 Aufgabenstellung und wissenschaftlicher/technischer Anknüpfungstand

Die Aufgabenstellung des Teilvorhabens des Kompetenzzentrums Wasser Berlin (KWB) fokussierte auf die folgenden Fragestellungen:

- Aussagekraft „Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt“: Das DWA-Merkblatt M102-4 schlägt mit dem konkreten Bewertungskriterium der „Abweichung der Wasserhaushaltskomponenten gegenüber dem un bebauten Referenzzustand“ einen innovativen Ansatz vor und betritt damit, auch international, Neuland. In AMAREX sollen erste Untersuchungen gemacht werden, wie weit die langjährige Abweichung vom naturnahen Wasserhaushalt als Maß für Klimaextreme, bzw. Klimavorsorge dienen kann. Das Ziel sind zum einen vereinfachte Ansätze für die Planung von Klimavorsorge, zum zweiten ein Beitrag zur Diskussion des naturnahen Wasserhaushalts als urbane Zielstellung.
- Erweitertes urbanes Wasserhaushaltsmodell: Für die Umsetzung des Ansatzes in die Planung bei Neubau und im Bestand fehlt bislang die direkte Verknüpfung der Regenwasserbewirtschaftung (RWB) mit den lokalen Gegebenheiten. Zudem mangelt es an Beispielen für größere städtische Gesamträume. Im Rahmen von AMAREX sollen diese Lücken durch die Arbeiten des KWB geschlossen werden, indem ein existierendes Wasserhaushaltsmodell mit neuen urbanen Datenquellen verbessert, um die Effekte der RWB erweitert und übertragbar gemacht wird.
- Digitalisierung: Das Modell soll in enger Zusammenarbeit mit den Partnern als „Wasserhaushaltsrechner“ in ein webbasiertes Planungstool integriert werden. Der Anspruch des Tools ist es, Planern und Kommunen ein einfach nutzbares Instrument an die Hand zu geben, das es ermöglicht Klimafolgen bereits in der Vorplanungsphase zu

berücksichtigen und bestehende Pläne hinsichtlich Klimavorsorge zu prüfen. Entsprechend liegt in der Entwicklung effizienter Modellansätze und deren Übertragung in ein praktikables Webtool für die Planung eine besondere Herausforderung.

Neben den inhaltlichen Fragestellungen soll das KWB sein Know-How zu den vielfältigen Wirkungen von RWB, über Extremereignisse hinaus, in die Arbeiten in AMAREX einbringen. Ein weiteres, nicht-wissenschaftliches Arbeitsziel bestand in der Verantwortung für die Projektwebseite und die damit verbundene Zusammenarbeit für die Gesamtprojektkommunikation.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Alle Arbeiten des KWB fanden in enger Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern statt. Das KWB hat zudem das AP4 „Planungstool der Regenwasserbewirtschaftung zur Reduktion von Klimafolgen“ koordiniert. Gegenüber der Projektplanung mussten die Arbeitsbeiträge zu einzelnen Teilarbeitspaketen inhaltlich und zeitlich angepasst werden. Die sich ergebenden Verzögerungen gegenüber der ursprünglichen Zeitplanung ließen sich im Zuge der bewilligten Laufzeitverlängerung des Vorhabens um 6 Monate kompensieren (siehe auch Abschnitt II.3).

1.3 Wesentliche Ergebnisse

Die wichtigsten Ergebnisse der KWB-Arbeiten werden in den folgenden Unterkapiteln kurz erläutert. Eine detaillierte Darstellung folgt unter II.1.

1.3.1 Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt als Indikator für die Planung?

Städte führen zu einer deutlichen Veränderung des lokalen Wasserhaushaltes. Im Vergleich zu der natürlichen Situation steigt im urbanen Fall die Abflusskomponente stark an, zu Lasten der Verdunstung. Dieser veränderte Wasserhaushalt ist eine Hauptursache für Gewässerbelastung und Überflutung, sowie für Trockenheit und Hitzeinseln in Städten. Als Planungsziel für die Klimaanpassung wird die Annäherung des natürlichen Wasserhaushaltes vorgeschlagen (DWA Merkblatt M102/4). Um diese Annäherung zu messen wurde in AMAREX eine prozentuale Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt eines Parkes als ΔW definiert.

1.3.2 Das Wasserhaushaltsmodell 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 als frei verfügbares R-Paket über den KWB GitHub zur Verfügung. 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. Das Modell wurde im Projekt für die Städte Berlin und Köln angewendet. Eine Anwendung für weitere Städte ist problemlos möglich, erfordert aber einige Schritte der Datenaufbereitung, in der Regel eine Kombination von Daten der Kommune oder des Bundeslandes mit Informationen aus Satellitenbildern.

1.3.3 Anwendungen für Berlin und Köln

Die Berliner Ergebnisse stehen direkt als Karten auf dem Geoportal der SenSBW zur Verfügung. Dadurch kann der Indikator ΔW des Ist-Zustandes direkt für Planungsprozesse berücksichtigt werden. Die für Köln berechneten Karten wurden an die Kölner Projektpartner übergeben und stehen dort zur Verfügung.

Zudem wurde gemeinsam mit der Technologiestiftung Berlin das Modell in das prototypische AMAREX Webtool integriert. 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 ABIMO-Modell problemlos in einer Webanwendung lauffähig ist, ohne Wartezeiten und Modellvorkenntnisse.

I.3.4 Aussagekraft der Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt

In AMAREX konnte im Rahmen einer Korrelationsstudie gezeigt werden, dass eine Verbesserung des ΔW tatsächlich eine Abmilderung der drei Klimaauswirkungen Hitzeinseln, Gewässerbelastung (durch Mischwasserüberläufe) und Überflutung zur Folge hat. Entsprechend kann eine Orientierung an einem natürlichen Wasserhaushalt für die strategische Grobplanung durchaus Sinn machen. 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.

I.4 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die Arbeiten fanden in enger Zusammenarbeit mit den folgenden Verbundpartnern und assoziierten Partnern statt, die im weiteren Text über die abgekürzten Namen (in Klammer) genannt werden:

- *Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU), Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft*
- *Universität Stuttgart (Uni S), Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- u. Abfallwirtschaft, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft u. Wasserrecycling*
- *Berliner Wasserbetriebe AöR (BWB)*
- *Ecologic Institut gemeinnützige GmbH, Berlin (EI)*
- *Technologiestiftung Berlin (rechtsfähige Stiftung des bürgerlichen Rechts), Berlin (TSB)*
- *HELIX Pflanzensysteme GmbH, Kornwestheim (HELIX)*
- *Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR (StEB Köln)*
- *Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin (SenMVKU)*
- *Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin (SenSBW)*
- *Stadt Köln, Amt für Landschaftspflege und Grünflächen (Stadt K)*

II. Eingehende Darstellungen

II.1 Erzielte Projektergebnisse mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.1.1 AP 0: Kommunikation

Zusätzlich zur Kommunikation der erzielten Forschungsergebnisse (siehe II.6) war das KWB für die Gestaltung und Pflege der Projektwebseite verantwortlich. Die Projekt-Webseite wurde in Abstimmung mit der Verbundleitung und den Verbundpartnern am KWB inhaltlich konzipiert sowie graphisch gestaltet. Die Programmierung wurde über einen Unterauftrag vergeben und durch das KWB geprüft. Die Webseite ist seit Herbst 2022 online (siehe Abbildung 1) unter www.amarex-projekt.de.



Abbildung 1: Screenshot der AMAREX-Webseite

Im Sinne der Gesamtkommunikation und als Voraussetzung für die Webseite wurde auch ein Projektlogo durch das KWB erstellt. Ausgangspunkt bildeten die Projektinhalte, auf deren Basis verschiedene erste Logo-Varianten angelegt wurden (siehe Abbildung 2). Gemeinsam mit den Partnern und der Verbundleitung wurde ein Logotyp ausgewählt und bis zur finalen Variante (in der Kopfzeile dieses Berichtes) verfeinert.

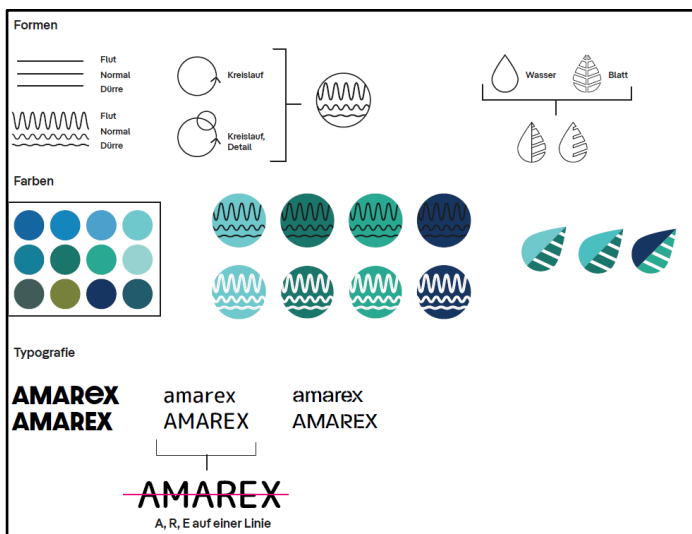


Abbildung 2: Ausgangspunkte der Logogestaltung

II.1.2 AP4 Planungstool der Regenwasserbewirtschaftung zur Reduktion von Klimafolgen

Das KWB hat in seiner Rolle als AP-Leitung regelmäßige Abstimmungstreffen alle 2 Monate organisiert, in denen es um ein Update der Arbeitsstände, die Abstimmung der Arbeiten, sowie die Einbindung der beiden Partnerstädte (Berlin, Köln) ging. Ständige Teilnehmende waren die AP4-Partner Technologiestiftung Berlin (TSB) und Berliner Wasserbetriebe (BWB), sowie mehrere Vertreter:innen der Städte (Köln: Stadtentwässerungsbetriebe – StEB Köln, Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen – SenSBW, Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt – SenMVKU, Regenwasseragentur). Das KWB hat darüber hinaus die Präsentation des AP4 (in Abstimmung mit den AP4-Partnern) bei Verbundtreffen, bei der Abschlussveranstaltung und bei den regelmäßigen AP-Leiter-Treffen (online) übernommen. Zudem hat das KWB auch Kurztexpte zu den AP4-Arbeiten für verschiedene AP-übergeordnete Formate geliefert.

II.1.2.1 Aufgabe A 4.1 Weiterentwicklung Wasserhaushaltsmodell

Die Weiterentwicklung des Wasserhaushaltsmodells ABIMO stellte einen Schwerpunkt der inhaltlichen Arbeit des KWB dar. Insbesondere wurden die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- *Refactoring und Untersuchung des in C++ vorliegenden ABIMO-Quellcodes*
- *Übersetzung des Quellcodes in die Programmiersprache R (neuer Name: R-ABIMO)*
- *Validierung des Modells für Berlin*
- *Modellerweiterung: Übertragbarkeit, Abbildung RWB-Maßnahmen, Neue Daten*
- *Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt Delta-W (ΔW)*
- *Demonstration der neuen Komponenten und Übertragung von Berlin nach Köln*
- *Release der finalen Version als frei verfügbares R-Paket*
- *Veröffentlichung geographischer Karten im Geoportal des Landes Berlin*

Refactoring und Untersuchung des in C++ vorliegenden ABIMO-Quellcodes

Das ursprünglich von der Bundesanstalt für Gewässerkunde entwickelte und für den urbanen Standort Berlin angepasste Wasserhaushaltsmodell ABIMO 3.2 wurde zum Projektstart vom Land Berlin über den GitHub-Bereich des Umweltatlas Berlin open source bereitgestellt (Umweltatlas 2022).

Für das Refactoring von ABIMO wurde ein Repository auf der Entwicklerplattform GitHub angelegt (KWB 2022). Dadurch wurde der Programmcode vereinfacht und vor allem lesbarer, was eine grundlegende Untersuchung der Berechnungsschritte erlaubte (vgl. z.B. Abbildung 3).

ABIMO v3.2

unversiegelte Teilflächen

Quelle: file:///Y:/SUW_Department/Projects/AMAREX/Work-packages/AP_4/Literatur/Abimo/Abimo3_2.pdf

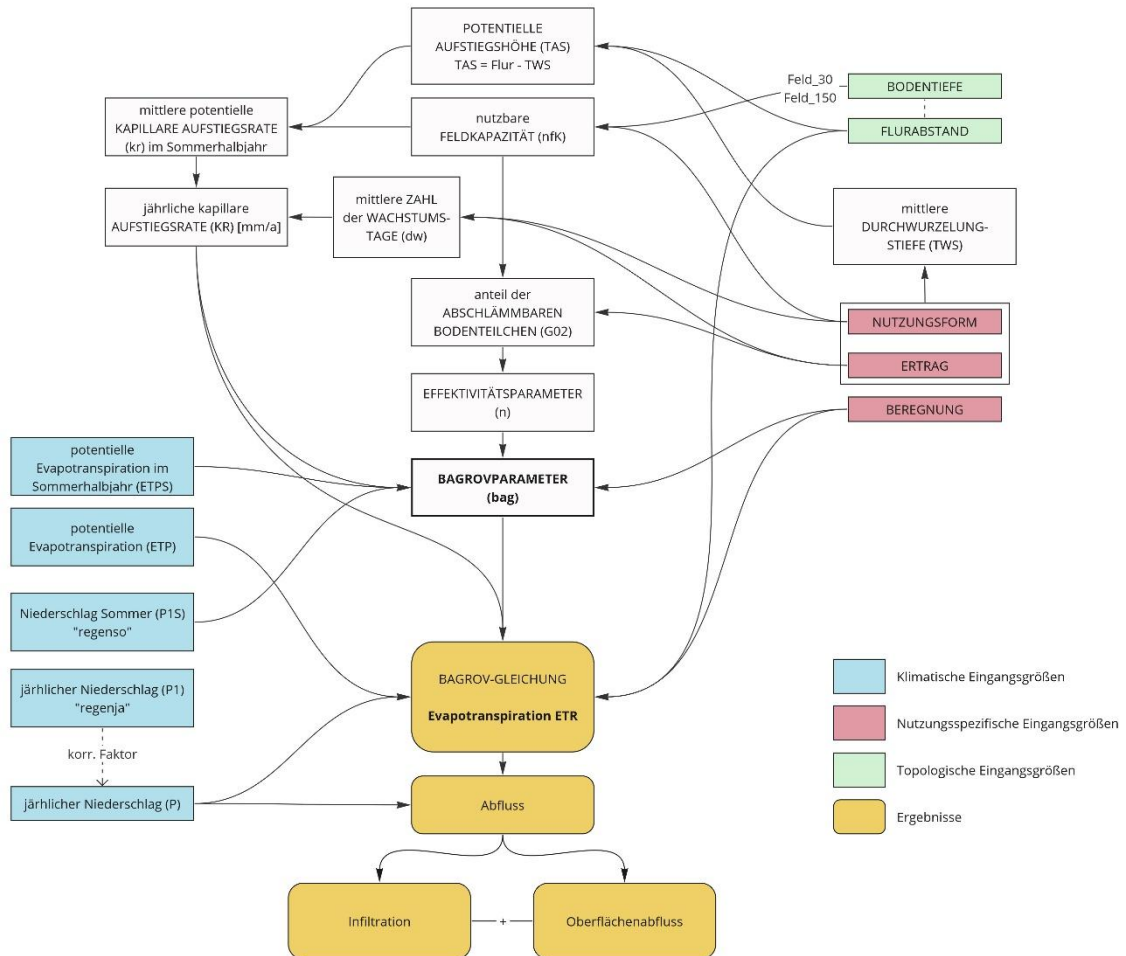


Abbildung 3 – Fließschema des ABIMO-Modells bei der Berechnung des Wasserhaushalts von unversiegelten, un bebauten Flächen

Übersetzung des Quellcodes in die Programmiersprache R (neuer Name: R-ABIMO)

Das bessere Verständnis des ABIMO-Programmcodes erlaubte es, das gesamte Modell von C++ in die Programmiersprache R zu übersetzen. Das ABIMO-Modell in R (im Folgenden: R-ABIMO) bietet gegenüber der ursprünglichen Version folgende Vorteile:

- Der R-Code kann von mehreren Personen am KWB beurteilt und bearbeitet werden.
- Die Bearbeitungszeit verkürzt sich, da der Code nicht kompiliert werden muss.
- Das Modell kann in Form eines R-Pakets installiert und weitergegeben werden. Das für R-Pakete vorgegebene Rahmenwerk zur Dokumentation und zu automatisiertem Testen kann verwendet werden.
- Das Modell lässt sich gut in bestehende Arbeitsabläufe in R, inklusive Datenvorbereitung, Ergebnisanalyse und -darstellung, integrieren.
- Für das Modell lässt sich über das R-Paket „plumber“ eine Programmierschnittstelle (API) generieren, die von der Web-Anwendung (in A4.4) verwendet werden kann, um R-ABIMO anzusteuern. Diese Schnittstelle ist laut TSB einfacher anzusteuern als eine entsprechende Schnittstelle zum ursprünglichen C++-Modell.

Die mit der Übersetzung von C++ nach R einhergehenden Performanceeinbußen konnten zu großen Teilen kompensiert werden, indem die übergeordnete (in R langsame) Programmschleife aufgegeben und in Form von (in R schnellen) Vektor- und Matrixoperationen nachgebildet wurde. R-ABIMO wird vom KWB seit 2023 in Form des R-Pakets „kwb.rabimo“ auf der Entwicklerplattform GitHub unter folgendem Link frei und open source zur Verfügung gestellt: <https://github.com/kwb-r/kwb.rabimo>.

Validierung des Modells für Berlin

ABIMO wurde für die Abflusskomponente anhand jährlicher Daten von Kläranlagen validiert, die Abwasser und Regenwasser aus der Mischwasserkanalisation (etwa 60 km² versiegelte, angeschlossene Fläche) im Stadtzentrum von Berlin aufnehmen. Die jährliche Regenwassermenge konnte durch Subtraktion des hochgerechneten Trockenwetterabflusses vom auf den Kläranlagen behandelten Gesamtabfluss ermittelt werden. Um die Menge des Oberflächenabflusses an der vor der Einleitung in die Kanalisation abzuschätzen, wurde die Mischwasserüberlaufmenge (extrapoliert aus einer Simulation der Berliner Wasserbetriebe für ein durchschnittliches Klimajahr) zu dem in der Kläranlage ankommenden Regenwasser addiert. ABIMO wurde für die jährlichen Niederschlags- und potenziellen Verdunstungsdaten für die Jahre 2007 bis 2021 ausgeführt und die Ergebnisse mit diesen manuell berechneten Regenwassermengen verglichen.

Der Vergleich zeigt eine sehr gute Übereinstimmung (Abbildung 4), obwohl letztlich zwei unsichere Berechnungen des Regenwasserabflusses verglichen werden. Abbildung 4 zeigt zudem, dass beide Schätzungen eine vergleichbare Empfindlichkeit gegenüber jährlichen Klimaänderungen aufweisen.

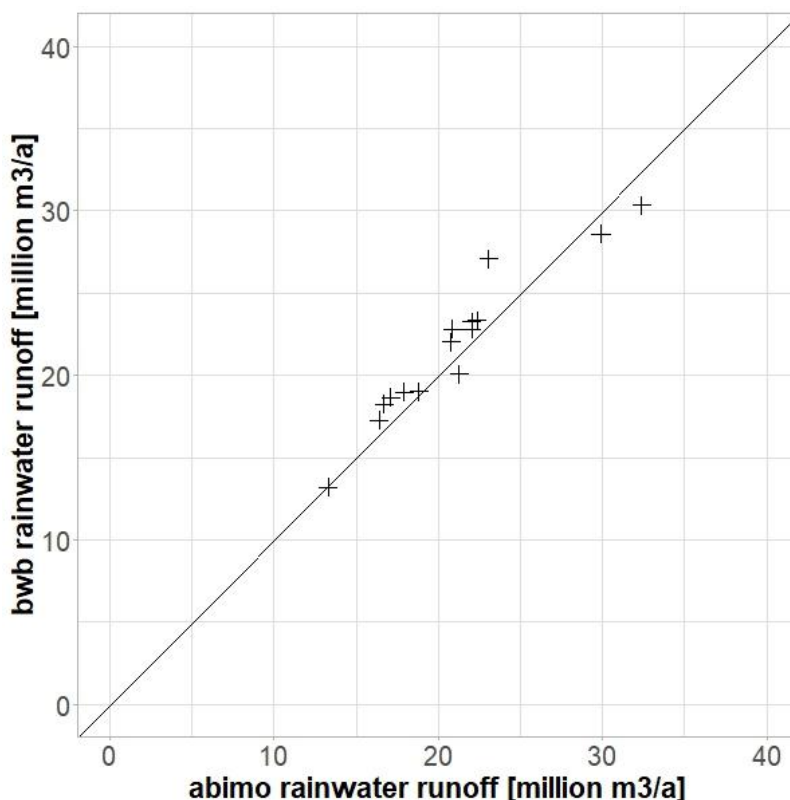


Abbildung 4: Validierung der ABIMO-Abflusskomponente in Berlin (abimo rainwater runoff) durch Vergleich mit Abflussmessungen aus den Berliner Klärwerken (bwb rainwater runoff) unter Berücksichtigung der geschätzten Mischwasserüberläufe. Jeder Datenpunkt entspricht einem Jahr zwischen 2007 und 2021.

Modellerweiterung: Übertragbarkeit, Abbildung RWB-Maßnahmen, Neue Daten

Um das Wasserhaushaltsmodell ABIMO auch auf andere Standorte als Berlin übertragen zu können, wurden Änderungen am ABIMO-Datenmodell vorgenommen.

Das Datenmodell wurde so verändert, dass es keine Abhängigkeit mehr von den Berliner Verhältnissen gibt. Die Berlin-spezifischen Spalten „Stadtstrukturtyp“ und „Nutzungstyp“ wurden aus dem erwarteten Eingabeformat entfernt, und die zuvor intern berechneten Größen „Hauptnutzung“, „Ertrag“ und „Beregnung“ als neue Spalten im Eingabedatensatz hinzugefügt. Da der „Ertrag“ ein Maß für die auf der Fläche wachsende Vegetation ist, wurde die Spalte umbenannt in Vegetationsklasse. Mit dem neuen Datenmodell ist der Nutzer nicht mehr auf feste Zuordnungen bestimmter Flächen- oder Nutzungstypen zu Vegetationsklassen angewiesen, sondern kann sie selbst für jede Blockteilfläche vorgeben. Die Vegetationsklasse kann z.B. aus der Auswertung von Satelliten- oder Überfliegungsdaten abgeschätzt werden. Auch „Hauptnutzung“ und „Beregnung“ können nun explizit vom Nutzer angegeben werden. Das Modell gewinnt damit an Flexibilität. Eine weitere Abhängigkeit von Berlin wurde dadurch entfernt, dass die potentielle Evaporation nun genauso wie der Niederschlag explizit im Eingabedatensatz angegeben wird. Im ursprünglichen Modell wurde sie aus einer Konfigurationsdatei über die Berliner Bezirksnummer zugeordnet.

Zwecks Internationalisierung wurden zudem die Spalten im Eingabe- und Ergebnisdatensatz von deutsch nach englisch übersetzt. Ebenso wie die Spaltennamen wurden auch die im Programmcode verwendeten Variablennamen vereinheitlicht und ins Englische übersetzt.

In ABIMO, das ursprünglich keine Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung vorsah, wurden zwei solche Maßnahmentypen integriert: Dachbegrünung und Versickerungsmulden. Die erste wird durch die Einführung eines neuen Flächentyps erreicht: Begrünte Dächer in ABIMO werden wie Flächen behandelt, die eine höhere Verdunstungsleistung aufweisen. Versickerungsmulden, die als Zuleitung Abfluss von versiegelten Bereichen und von Dächern erhalten können, werden hingegen als nachgeschalteter Schritt in der Modellberechnung gesehen. Bei Vorhandensein von Mulden wird der errechnete Gesamtabfluss nochmals aufgefangen und in zusätzliche Infiltration und Verdunstung umgewandelt. Der entscheidende Modellparameter für die Muldenversickerung ist der an die Mulde angeschlossene Flächenanteil und nicht die Größe der Mulde, die als passend dimensioniert angenommen wird. Hinsichtlich der Integration ins Webtool wurde auch eine dritte Maßnahme konzipiert: die Flächenentsiegelung. Für diese Maßnahme war keine Modellanpassung notwendig, denn ABIMO war bereits in der Lage, den Wasserhaushalt von unversiegelten oder teilversiegelten Flächen zu modellieren. Hilfsfunktionen für die Nutzung der Maßnahme „Flächenentsiegelung“ im Tool mussten aber dafür bereitgestellt werden (siehe Aufgabe 4.4).

Da die Maßnahmen als (zusätzliche) Spalten im Eingabedatensatz vorgesehen werden, können Maßnahmen, die im Modellgebiet bereits existieren, abgebildet werden. Der Effekt zusätzlicher Maßnahmen kann simuliert werden, indem der Wert der jeweiligen Maßnahmenspalte entsprechend erhöht (bzw. im Falle der Flächenentsiegelung verringert) wird.

Zum besseren Verständnis, zur Veranschaulichung und zum Testen der entsprechenden Ansätze wurde zuerst eine Implementierung in Excel angefertigt. Diese wurde dann in das R-Paket übertragen. Mit einem Testskript wurde nachgewiesen, dass die Ergebnisse der R-Implementierung mit den Ergebnissen der Excel-Implementierung übereinstimmen. Ebenfalls zum besseren Verständnis der Abbildung von Maßnahmen in R-ABIMO wurden 3D-Darstellungen erzeugt, die die Flächenanteile und die Anteile des Wasserhaushalts (Verdunstung, Versickerung, Abfluss) demonstrieren (Abbildung 5).

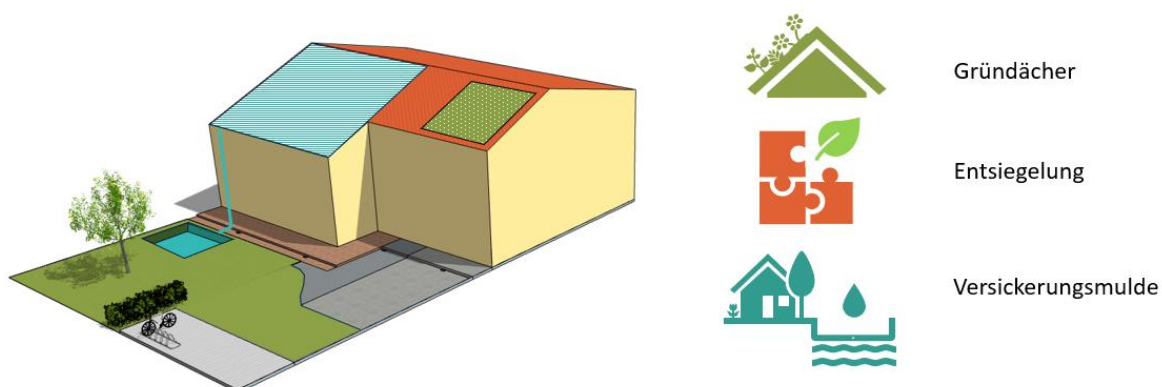


Abbildung 5: 3D-Darstellung der Maßnahmen zum besseren Verständnis der Umsetzung im Modell. Blau-schraffiert zeigt die angeschlossene Fläche an eine neu geplante Versickerungsmulde, grün-gepunktet den Anteil des Daches, das mit einer extensiven Begrünung versehen wird, grün die unversiegelten bzw. entsiegelten Flächen und grau die versiegelte unbebaute Fläche (Grautöne zeigen unterschiedlichen Grad von Teilversiegelung)

Eine bedeutende Herausforderung hat die Kalibrierung/Validierung der implementierten Maßnahmen dargestellt. Für die Gründächer wurde als Kalibrierungsansatz der Vergleich mit dem „Wasserbilanz Expert“ (WABILA) der DWA verfolgt. Die entsprechenden Gleichungen aus WABILA wurden in einem R-Skript nachprogrammiert. Für ein Beispiel-Gründach wurde der Wasserhaushalt sowohl mit ABIMO als auch mit den WABILA Gleichungen berechnet, und die Differenz zwischen den beiden Modellergebnissen erfasst. Anschließend wurden die ABIMO-Modellparameter gewählt, die diese Differenz für den meisten Klimaszenarien minimieren. Für die Kalibrierung der Versickerungsmulde steht in ABIMO ein Konfigurationsparameter zur Verfügung, der bestimmt, wie viel Prozent der zur Mulde umgeleiteten Oberflächenabfluss wieder verdunsten soll. Die zwei Maßnahmen wurden so konzipiert, dass eine Veränderung der damit verbundenen Eingabedaten aus dem Webtool ansteuerbar ist. Damit wird die Simulation von Szenarien der Regenwasserbewirtschaftung im Webtool ermöglicht.

Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt Delta-W (ΔW)

Um die Abweichung des Wasserhaushaltes eines Siedlungsgebietes vom Wasserhaushalt desselben Gebietes im naturnahen Zustand zu bewerten, wird in Anlehnung an (DWA 2022) ein neuer Summenparameter Delta-W (ΔW) vorgeschlagen:

$$\Delta W = \frac{1}{2} * (|ev_{nat} - ev_{urb}| + |ri_{nat} - ri_{urb}| + |rs_{nat} - rs_{urb}|) * \frac{100\%}{P}$$

Dabei ist P der über eine Serie von Jahren gemittelte Jahresniederschlag (in mm/a), ev (Verdunstung), ri (Infiltration) und rs (Oberflächenabfluss) sind die drei Komponenten des Wasserhaushalts, jeweils gegeben in mm/a. Die Werte für die natürliche Referenzfläche sind durch den Index „nat“ (natural) und die Werte für die urbane Fläche durch den Index „urb“ (urban) gekennzeichnet. Unter der Voraussetzung, dass der Niederschlag die einzige Wasserquelle einer Fläche darstellt, nimmt ΔW Werte zwischen 0 % (= natürliche Referenz) und 100 % (= maximale Abweichung) an.

Mit dem in der Gleichung beschriebenen Abweichungsmaß ΔW kann der Wasserhaushalt einer urbanen Fläche unter Berücksichtigung aller drei Wasserhaushaltskomponenten mit dem Wasserhaushalt der gleichen Fläche im natürlichen Referenzzustand verglichen werden. Abbildung 6 zeigt das Ergebnis der Abweichungsberechnung unter Verwendung des 30-jährigen Niederschlagsmittels von 1991 bis 2020 für einen Ausschnitt von Blockteiflächen der Berliner Innenstadt. Als naturnahe Referenz wurde im Modell die Stadt/Versiegelung entfernt und durch die Vegetation einer Parklandschaft mit Bäumen ersetzt. In weißer Farbe, die eine sehr geringe Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt anzeigt, ist in Abbildung 6 der Berliner

Tiergarten erkennbar, eine städtische Grünfläche mit Bäumen, Sträuchern und Wiesen. Im Gegensatz dazu zeigt der stark versiegelte Innenstadtbereich östlich des Tiergartens hohe ΔW -Werte $> 60\%$, die hauptsächlich durch Gebäude verursacht werden. Der Straßenraum weist mittlere bis hohe Abweichungen auf, je nach Umfang des Straßenbegleitgrüns. Die weiteren Modellergebnisse zeigen auch einen großen Einfluss des Klimas (trockenes oder feuchtes Jahr) und der gewählten Referenz für den „natürlichen“ Zustand (Wald oder Parklandschaft) auf ΔW .

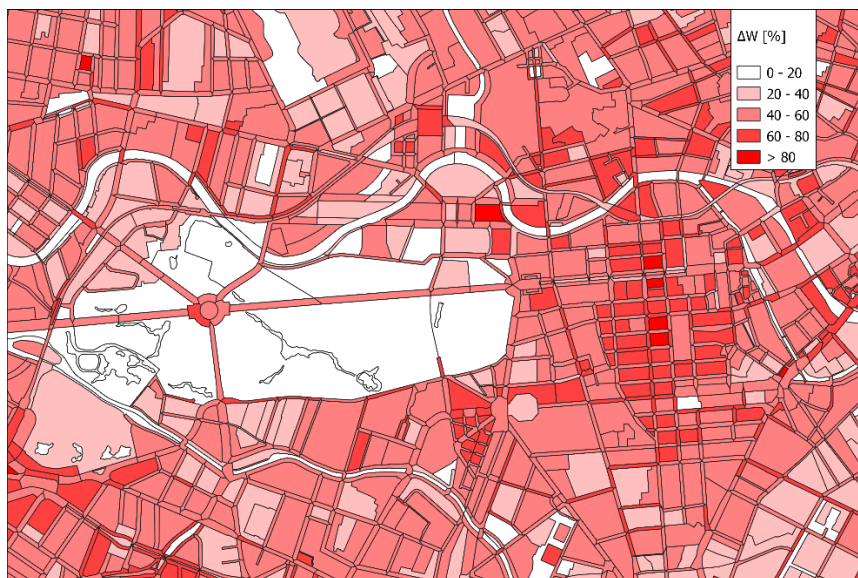


Abbildung 6: Innenstadtausschnitt Berlins mit Darstellung ΔW je Blockteilfläche, gerechnet mittels R-ABIMO (Version 2.0.0) für ein 30-jähriges Mittel (1991-2020). Als naturnahe Referenz diente eine gemischte Parklandschaft ohne Versiegelung.

Demonstration der neuen Komponenten und Übertragung von Berlin nach Köln

Nach dem 2023 durchgeführten ersten Test der Anwendung von R-ABIMO auf die Stadt Köln wurde 2024 an einem aktualisierten Eingabedatensatz gearbeitet. Insbesondere war das Ziel, analog zum Datensatz für Berlin die Straßenflächen, die im aktuellen Datensatz nicht erfasst waren, mitmodellieren zu können.

Die Erarbeitung der neuen Daten erfolgte durch intensiven Austausch mit den StEB Köln, die diverse Datensätze zur Verfügung gestellt haben. Weitere Datensätze wurden aus dem Geodaten-Portal von Nordrhein-Westfalen gewonnen. Obwohl Straßendaten vorhanden sind, konnte man keine einheitliche Geometrie zwischen Block- und Straßenfläche erreichen. Es wurde beschlossen, eine Datengeometrie zu nutzen, bei der die Blockgrenzen in der Mitte der Straßen verlaufen. Damit werden die Straßenflächen berücksichtigt, selbst wenn sie – anders als in Berlin – nicht als separate Flächen erfasst sind. Durch die Verschneidung dieses Datensatzes mit den weiteren nötigen ABIMO Eingabedaten konnte der Wasserhaushalt, analog zu Berlin, im Ist-Zustand und für die natürliche Referenz eines Parkes berechnet werden (Abbildung 7). Zum Projektende wurden die erstellten Karten an den Projektpartner StEB Köln übergeben.

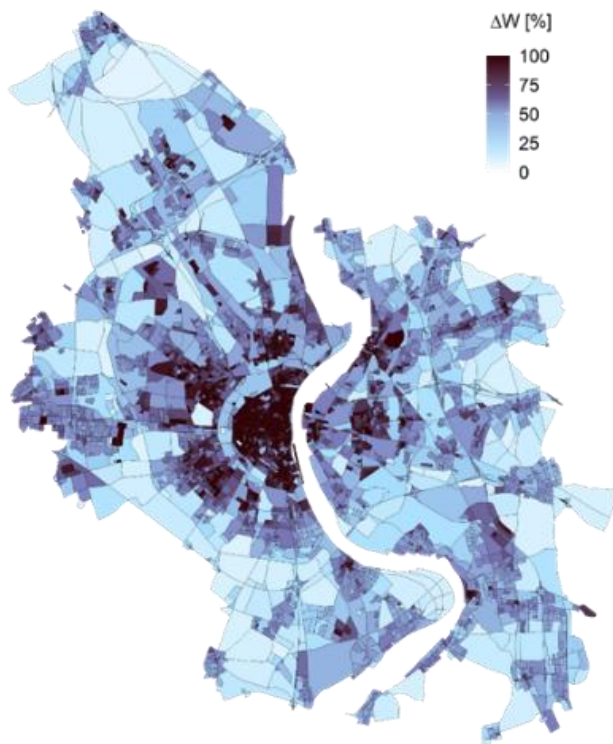


Abbildung 7: Darstellung der Wasserhaushaltsabweichung ΔW für die Stadt Köln, gerechnet mittels R-ABIMO (Version 2.0.0) für ein 30-jähriges Mittel von Niederschlag und potentieller Evaporation (1991-2020). Als naturnahe Referenz diente eine gemischte Parklandschaft ohne Versiegelung.

Release der finalen Version als frei verfügbares R-Paket

R-ABIMO wird vom KWB als R-Paket „kwb.rabimo“ auf der Entwicklerplattform GitHub unter folgendem Link zur Verfügung gestellt: <https://github.com/kwb-r/kwb.rabimo>. Die Version „kwb.rabimo v2.0.0“ enthält dabei alle in AMAREX umgesetzten Anpassungen und Erweiterungen. Die kompletten, aufbereiteten Berliner Eingangsdaten werden im R-Paket kwb.rabimo ebenfalls bereitgestellt, so dass ein großer Testdatensatz für neue Anwender zur Verfügung steht. Zusätzlich enthält das Paket ein Tutorial, das durch die wichtigsten Funktionalitäten des Modells führt (<https://kwb-r.github.io/kwb.rabimo/articles/tutorial.html>).

Neben dem eigentlichen Wasserhaushaltsmodell enthält das Paket Check-Funktionen für die Eingangsdaten zu R-ABIMO. Diese prüfen die Eingabedaten auf Vollständigkeit und Plausibilität und geben ggf. Fehlermeldungen aus, so dass Nutzer informiert werden, falls etwas im Datensatz nicht dem erwarteten Format entspricht. Es wird z.B. geprüft, ob alle benötigten Spalten vorhanden sind, ob es fehlende Werte in den Spalten gibt oder ob die Summe aller Oberflächentypen-Anteile den Wert eins ergibt. Die Check-Funktionen werden vor jedem Modelllauf automatisch ausgeführt.

In Bezug auf die „Delta-W“-Berechnung werden im R-Paket zusätzlich bereitgestellt:

- eine Funktion zur Umwandlung von Flächen in ein „naturnahes Szenario“,
- eine Funktion zur Berechnung von „Delta-W“.

Darüber hinaus wurde eine Funktion in das R-Paket aufgenommen, die den Wasserhaushalt sowie die Abweichung des simulierten Wasserhaushalts vom angenommenen natürlichen Wasserhaushalt (Wasserhaushaltsdifferenz „Delta-W“) in Form eines „hydrologischen Dreiecks“ darstellt (Abbildung 8).

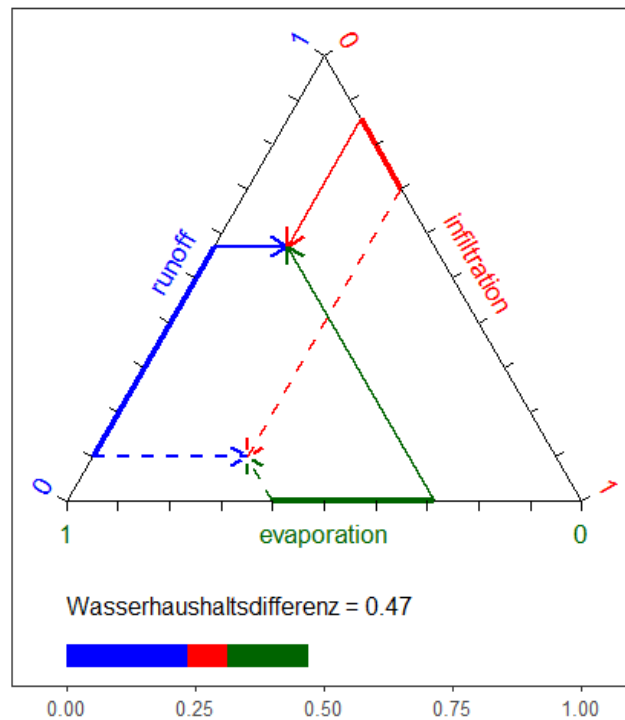


Abbildung 8: Abbildung des Wasserhaushalts und der Wasserhaushaltsdifferenz in einem "hydrologischen Dreieck"

Veröffentlichung geographischer Karten im Geoportal des Landes Berlin

Die Berliner Ergebnisse stehen als geographische Karten auf dem Geoportal der Landes Berlin zur Verfügung (Webseite: <https://gdi.berlin.de/viewer/main/>, Fachkarten: Wasserhaushalt 2022). Sie können im Portal angezeigt werden (siehe Abbildung 9) oder als Vektordaten heruntergeladen werden. Dadurch kann der Indikator ΔW des Ist-Zustandes in Berlin direkt für Planungsprozesse berücksichtigt werden. Die Datenbasis und die Karten sind im Berliner Umweltatlas ausführlich dokumentiert (<https://www.berlin.de/umweltatlas/wasser/wasserhaushalt/2022/zusammenfassung/>).

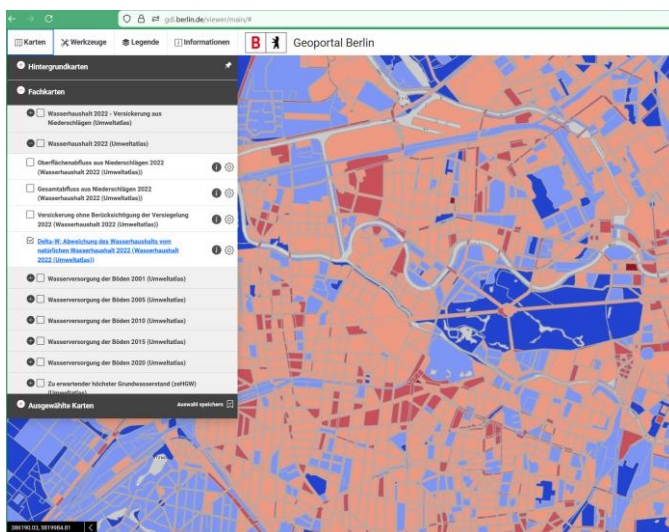


Abbildung 9: Screenshot der ΔW -Karte im Berliner Geoportal (<https://gdi.berlin.de/viewer/main/>, Fachkarten: Wasserhaushalt 2022)

II.1.2.2 Aufgabe A 4.3 Aussagekraft Wasserhaushalt für Klimafolgen

Im Fokus stand die systematische Untersuchung der Aussagekraft von ΔW für klimarelevante Effekte im urbanen Raum anhand einer Analyse seiner Korrelation mit anderen Umwelt- und Klimarisiken. Die Motivation hinter diesem Ansatz liegt in der vergleichsweise einfachen und schnellen Modellierbarkeit des Wasserhaushalts, insbesondere im Vergleich zur Modellierung der betrachteten Risiken, die oft hohe Rechenleistungen erfordern und zeitintensiv sind. Die folgende drei Klima- und Umweltrisiken wurden näher betrachtet:

- *Urbane Hitzeinseln: Anhand öffentlich zugänglicher Modellierungsdaten zur Tages- und Nachttemperatur (Geoportal Berlin) im Sommer, die in Berlin mit derselben räumlichen Auflösung wie die für die Wasserbilanz verwendeten Blockteilflächen vorliegen, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Ergänzend dazu wurden die Daten der Wasserbilanz genutzt, um ein Random Forest Machine-Learning-Modell zu trainieren, das die Oberflächentemperatur vorhersagen kann.*
- *Überflutungsvolumen: Auf Basis von Modellergebnissen zur Simulation der Überflutungstiefe – entwickelt im Rahmen des Projekts AMAREX für ausgewählte Einzugsgebiete in Berlin – wurde der Zusammenhang zwischen dem überfluteten Volumen und der städtischen Wasserbilanz im jeweiligen Simulationsgebiet analysiert. Die räumliche Zuordnung zwischen den beiden Größen ist in diesem Fall weniger eindeutig, da ABIMO keine Interaktionen zwischen Flächen berücksichtigt und das Kanalnetz – ein zentrales Element bei der Überflutungssimulation – ebenso unberücksichtigt bleibt. Daher wurde der Zusammenhang zwischen der Gesamtwasserbilanz des Einzugsgebiets und dem gesamten überfluteten Volumen untersucht, wobei unterschiedliche Umsetzungsszenarien von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, wie z. B. Gründächer oder Versickerungsmulden, miteinander verglichen wurden.*
- *Mischwasserüberläufe: In ähnlicher Weise wurden die Ergebnisse des Projekts MISA genutzt. Dort wird mithilfe einer Modellkette simuliert, wie sich – unter verschiedenen Szenarien zur Entkopplung von Flächen im Mischwassergebiet – das Mischwasserüberlaufvolumen sowie die daraus resultierende Reduktion des gelösten Sauerstoffs in Berliner Gewässern verändern. Diese Ergebnisse wurden mit der Wasserbilanz der für jeden Mischwasserauslass relevanten Flächen in Beziehung gesetzt.*

Die durchgeführte Analyse zeigt eine starke Korrelation zwischen der modellierten Temperatur und sowohl ΔW als auch der jährlich berechneten Verdunstung (Abbildung 10). Das trainierte Random-Forest-Modell kann die Temperatur in bebauten und teilbebauten Flächen mit hoher Genauigkeit vorhersagen. Die Prognosequalität in öffentlichen Straßenbereichen fällt hingegen geringer aus. Diese reduzierte Modelleistung lässt sich vermutlich auf die geringe Variabilität der Straßeneigenschaften zurückführen, was ein adäquates Training erschwert. Zudem hängen die Temperaturen in diesen Bereichen von weiteren, im Modell nicht berücksichtigten Einflussfaktoren ab – etwa Verschattung, räumlicher Ausrichtung oder Gebäudehöhen. Auch die beiden weiteren untersuchten Umweltrisikofaktoren – Mischwasserüberläufe und Überflutungsvolumen – zeigen qualitativ nachvollziehbare Zusammenhänge mit dem Wasserhaushalt, die jedoch aufgrund begrenzter Datengrundlagen weniger umfassend bewertet werden können.

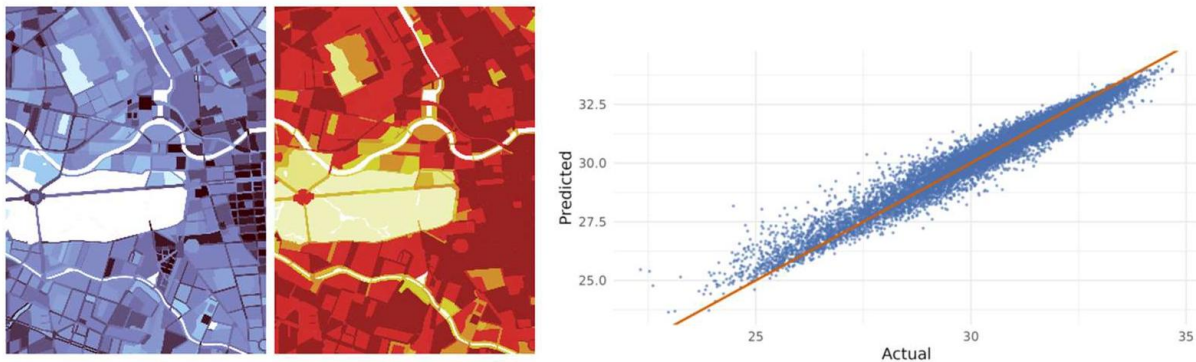


Abbildung 10: Korrelationsanalyse zwischen Wasserhaushalt und Sommertemperatur um 14 Uhr. Die Karten zeigen ΔW (in blau) und die simulierte Nachmittagstemperatur (in rot). Die Korrelation zeigt die Übereinstimmung eines wasserhaushaltsgetriebenen Random-Forest-Modells mit der Nachmittagstemperatur.

II.1.2.3 Aufgabe A 4.4 Entwicklung webbasiertes Planungstool

Weiteres Ziel der KWB-Arbeiten war es, die Integrierbarkeit des Wasserhaushaltsmodells als „Wasserhaushaltsrechner“ in ein Webtool zu demonstrieren. KWB und TSB arbeiteten dabei im Rahmen von Programmiersprints eng miteinander zusammen. Es gab Absprachen zur Aufteilung zwischen Modellsoftware (Backend), Benutzeroberfläche (Frontend) und über Austauschformate (payloads). Fragen von TSB bezüglich des Datenaustauschs zwischen Frontend und Backend (R-Abimo) wurden geklärt.

Unter anderem wurde ein „Schieberegler-Konzept“ für die Maßnahmenplanung entwickelt. Die Veränderung eines Maßnahmen-Schiebers auf der Benutzeroberfläche entspricht einer Anpassung der Maßnahmen-Parameter in den jeweiligen Spalten des Eingabedatensatzes für R-ABIMO. Für das Frontend hat KWB Berechnungsschritte und Formeln für die gewichteten Mittelwerte und Maximalwerte geliefert, die als Ausgangs- bzw. maximale „Schiebereglerpositionen“ der verschiedenen Maßnahmentypen (als Prozent der Gesamtfläche) benötigt werden.

Um das R-Paket `kwb.rabimo` über eine Web-Programmierschnittstelle (application programming interface – API) anzusteuern, wurde das R-Paket „plumber“ genutzt. KWB stellte Beispielskripte zur Verfügung, die die Nutzung dieses Pakets zur Berechnung des Wasserhaushalts (mit oder ohne RWB-Maßnahmen) bzw. zur Berechnung der Wasserhaushaltsdifferenz demonstrieren. Im R-Paket wurde zudem eine Funktion bereitgestellt, mit der die API-Schnittstelle getestet werden kann. Sie stellt einen so genannten „endpoint“ (`/run_rabimo`) bereit, der einen optionalen Parameter zur Übergabe von Maßnahmen akzeptiert. Wenn Zielwerte für Maßnahmen angegeben werden, wird die Funktion `run_rabimo_with_measures()` aus dem R-Paket aufgerufen, ansonsten die Funktion `run_rabimo()`, die kein Maßnahmenargument erwartet.

Die Berechnungsfunktion `run_rabimo_with_measures()` erhält als Argumente eine Tabelle (data frame) mit ausgewählten Blockteifflächen und eine Liste von Zielwerten für die drei Maßnahmen (Gründach, Mulde, Entsiegelung), die jeweils einem Anteil an der Gesamtblockteiffläche entsprechen. Die Zielwerte werden zuerst transformiert, so dass sie sich auf ihre in R-ABIMO verwendeten Bezugsflächen beziehen (Gründach: Dachfläche, Mulde: gesamt versiegelte Fläche, d.h. Dachfläche + unbebaut versiegelte Fläche, Entsiegelung: Gesamtfläche). Dann werden die Zielwerte „verteilt“ auf die einzelnen Blockteifflächen, deren Umsetzungsgrad noch kleiner ist als der Zielwert. Ziel der Verteilung ist, dass die über alle ausgewählten Blockteifflächen „mittleren“ Umsetzungsgrade den Zielwerten entsprechen. Blockteifflächen, deren Umsetzungsgrad den Zielwert bereits übersteigen, behalten ihren Umsetzungsgrad, alle anderen Blocks erhalten Umsetzungsgrade, die entsprechend kleiner

sind als die Zielwerte. Dieser „Verteilungsalgorithmus“ wurde zuerst in Excel entworfen und getestet, dann in R implementiert und schließlich automatisiert geprüft, ob die R-Funktion die gleichen Ergebnisse liefert, wie die Exceldatei.

Mögliche Fehler, die beim jeweiligen Funktionsaufruf auftreten, werden abgefangen. Der endpoint liefert eine Liste zurück mit den elementen `data` (die Ergebnistabelle), `weighted_means` (flächengewichtete Mittelwerte von Abfluss, Versickerung und Verdunstung (z.B. um im Web-Tool ausgegeben zu werden) und `error` (Fehlermeldung oder leerer String). Da es zu Fehlern im Web-Tool kam, wurden Checks, die sich auf nicht erforderliche Spalten beziehen, deaktiviert. In Bezug auf fehlende Spalten wurde die Fehlerausgabe verbessert.

Für die Auswahl und Platzierung einer Einzelmaßnahme auf einer Blockteifläche im Web-Tool wurde ein Konzept erstellt (Abbildung 11). Es wurden Standardgrößen von RWB-Maßnahmen definiert sowie Formeln für die Umrechnung auf entsprechende Flächenanteile für R-ABIMO geliefert.

Maßnahmenplanung auf BTF Ebene

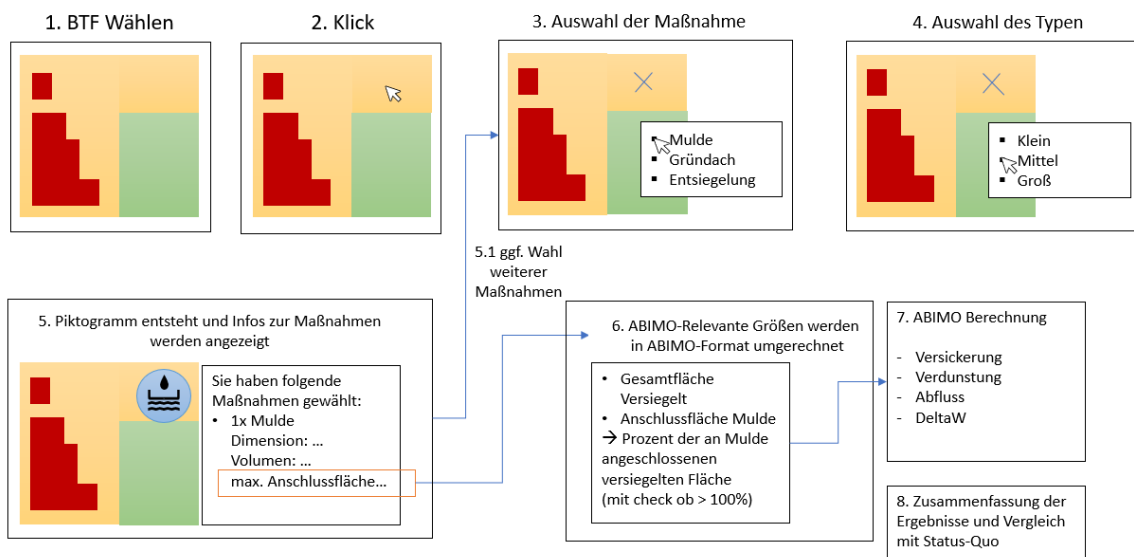


Abbildung 11: Schematischer Ablauf der Wasserhaushaltsberechnung im Webtool

Vorberechnete ABIMO-Modelle (Eingabedatensatz und Ergebnisse) sowie die zugehörige Abweichung ΔW für den Status Quo wurden in Shape-Dateien umgewandelt und an TSB geliefert. Darüber hinaus wurde beschrieben, wie ΔW aus dem Wasserhaushalt für den Ist-Zustand und dem Wasserhaushalt für den „natürlichen“ Zustand berechnet wird. Der "natürliche" Zustand wurde in verschiedenen Formaten (shape, csv) zur Verfügung gestellt.

Letztlich konnte das Modell R-ABIMO, gemeinsam mit der Technologiestiftung Berlin, erfolgreich in deren prototypisches AMAREX Webtool integriert werden (Link: <https://amarex-web-tool.technologiestiftung-berlin.de/amarex/>). Der enthaltene Wasserhaushaltsrechner erlaubt ein spielerisches Beplanen von beliebigen Berliner Kulissen mit blau-grünen Infrastrukturen (BGI) und liefert live-berechnete Ergebnisse für den Wasserhaushalt (Abbildung 12). Es zeigt sich, dass das schlanke ABIMO-Modell problemlos in einer Webanwendung lauffähig ist, ohne Wartezeiten und Modellvorkenntnisse.

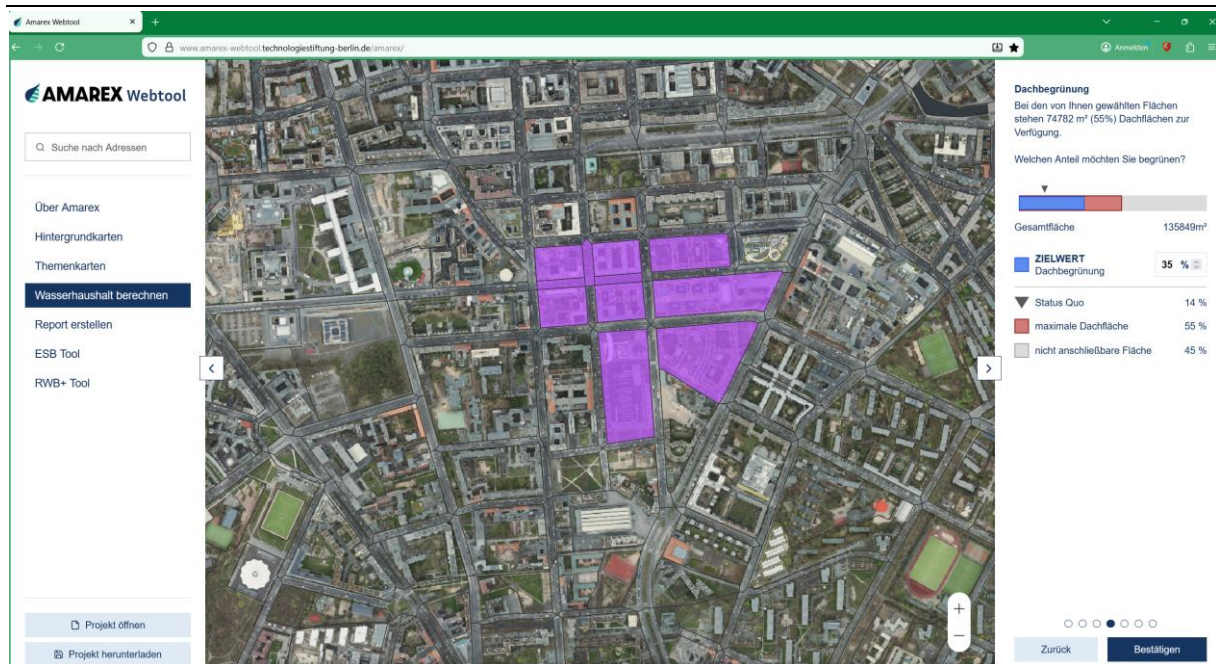


Abbildung 12: Screenshot: Spielerische Planung der Dachbegrünung im Wasserhaushaltsrechner des AMAREX Webtools (<https://amarex-webtool.technologiestiftung-berlin.de/amarex/>)

II.1.3 Weitere Arbeitspakete

Im Zuge dieses Teilvorhabens wurde zudem an verschiedenen Projektergebnissen der weiteren Arbeitspakete mitgewirkt, die nachfolgend nur kurz benannt werden. Zur detaillierteren Beschreibung wird auf die Sachberichte der jeweiligen Verbundpartner verwiesen.

Arbeitspaket 1

Das KWB hat sich aktiv an der Vorbereitung und der Durchführung der Stakeholderworkshops in den Partnerstädten Berlin und Köln beteiligt. Zusätzlich hat sich das KWB auch an verschiedenen internen Formaten zur Weiterentwicklung des Webtools (Aufgabe 4.4) beteiligt.

Arbeitspaket 2

Das KWB hat bestehendes Know-How zu RWB-Anlagen aus den Projekten KURAS und netWORKS4 zur Verfügung gestellt. Zukünftig sollen für die Ausgestaltung der RWB+ Maßnahmen auch mögliche Effekte auf den Wasserhaushalt berücksichtigt werden.

Weiter hat sich das KWB an der Auswahl der Berliner Pilotgebiete beteiligt.

Arbeitspaket 3

Die Ergebnisse aus Arbeiten des KWB zur stofflicher Belastung des Regenwasserabflusses aus urbanen Gebieten wurden den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

Arbeitspaket 5

Im Rahmen eines Austausches zwischen ecologic und KWB wurden einerseits Wirkungen und Wirkungspfade gemeinsam durchgesprochen. Zudem wurden auch die unterschiedlichen KWB-Arbeiten aus den BMFTR-Projekten KURAS und netWORKS4 genauer besprochen. Alle relevanten Arbeitsschritte der erzielten Ergebnisse aus diesen Projekten wurde auch als Datensätze übergeben, damit sie in die Bewertungen in AP5 einfließen können.

II.2 Verwendung der Zuwendung hinsichtlich der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Zur Verwendung der Zuwendung für das Forschungsvorhaben wird auf den gesondert vorgelegten zahlenmäßigen Verwendungsnachweis verwiesen. In ihm wird die Verwendung der wichtigsten Zuwendungspositionen (Personalausgaben, sächliche Verwaltungsausgaben) im Detail belegt. Insgesamt ergab sich das Erfordernis, nicht beanspruchte sächliche Verwaltungsausgaben für Verbrauchsmaterial und Reisekosten in Personalmittel für die kostenneutrale Laufzeitverlängerung umzuwidmen.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die allgemeine Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten werden hiermit bestätigt. Im Kontext der Hemmnisse und Erschwernisse in der Projektdurchführung war eine Verlängerung der Projektlaufzeit zur Erreichung der Projektziele unumgänglich. Diese konnte durch die effiziente Verwendung der Fördermittel und entsprechende Umwidmungen einerseits realisiert werden (siehe dazu Punkt II.2). Gegenüber der Projektplanung mussten auch die Arbeitsbeiträge zu einzelnen Teilarbeitspaketen inhaltlich und zeitlich angepasst werden, wie nachfolgend näher beschrieben:

- *A4.4 / A4.1 Weiterentwicklung Wasserhaushaltsmodell: Die Übersetzung des Wasserhaushaltsmodells in die Programmiersprache R und die Entwicklung des R-Pakets „kwb.rabimo“ als beste Lösung für die Umsetzung des Webtools. Beides war im Antrag nicht vorgesehen. Die ursprüngliche Strategie den C++ Code ansteuerbar zu machen, hat sich in Absprache mit TSB als nicht zielführend herausgestellt. Der Aufbau des R-Pakets „kwb.rabimo“ führte zu einer zeitlichen Verzögerung.*
- *A4.1 Übertragbarkeit Wasserhaushaltsmodell: Die Übertragbarkeit des Wasserhaushaltsmodells auf Köln sollte laut Antrag erst zum Projektende „geprüft“ werden. Da sich die Übertragbarkeit im Projektverlauf aufgrund unterschiedlicher Datenverfügbarkeiten als sehr wichtige aber anspruchsvolle Zielstellung herausgestellt hat, ist ein iterativer Prozess daraus geworden, der mit deutlich mehr Aufwand verbunden war als die ursprünglich geplante Prüfung. Der finale Release des Modells (inkl. Dokumentation) hat sich entsprechend verzögert.*
- *A4.3 Aussagekraft Wasserhaushalt für Klimafolgen: Aufgrund personeller Ausfälle musste die Bearbeitung dieser Fragestellung verschoben werden. Die erforderliche Neuuzuweisung von Arbeiten hat den Bearbeitungsprozess des Arbeitspakets verzögert.*

Die sich aus den oben genannten Gründen insgesamt ergebenden Verzögerungen für das Teilprojekt 3 gegenüber der ursprünglichen Zeitplanung ließen sich im Zuge der bewilligten Laufzeitverlängerung des Vorhabens um 6 Monate kompensieren (siehe Abbildung 13).

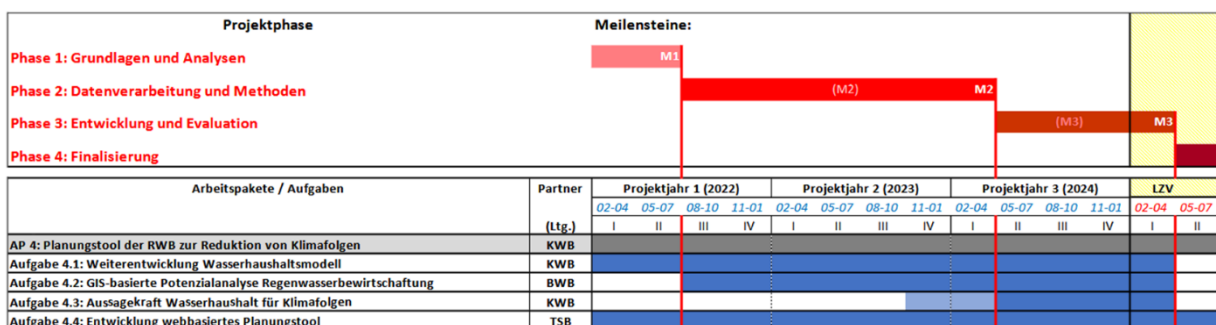


Abbildung 13: Angepasstes Gantt-Chart des AP4 mit Laufzeitverlängerung

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Projektes

Die im Rahmen des Arbeitspakets 4 gewonnenen Erfahrungen in den folgenden drei Bereichen haben eine hohe Anwendungs- und Anschlusspotenzial:

- *Aussagekraft „Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt“: Die im Projekt untersuchte Aussagekraft des urbanen Wasserhaushalts für Extremereignisse stellt ein wissenschaftliches Novum dar. Die Abweichung ΔW des urbanen Wasserhaushalts von einem naturnahen Zustand wurde als integraler und einfacher Indikator für Klimafolgen und Klimaanpassung vorgeschlagen. In Zusammenarbeit mit den Partnern konnte gezeigt werden, dass ΔW eine deutliche Korrelation zu den Extremereignissen Hitze, Überflutung und Gewässerbelastung (durch Mischwasserüberläufe) zeigt. Diese Ergebnisse zeigen ein großes Potenzial von ΔW für die Planung und das Monitoring von Klimaanpassung in Städten, müssen allerdings für andere Standorte und Problemstellungen validiert werden.*
- *Wasserhaushaltsmodell R-ABIMO: Für die Berechnung von ΔW auf gesamtstädtischer Ebene wurde das Wasserhaushaltsmodell ABIMO weiterentwickelt. Im Sinne weiterer Vernetzung wurde das entwickelte Wasserhaushaltsmodell auf Übertragbarkeit getestet und wird auch im Anschluss an das Projekt open source zur Verfügung gestellt. Neben dem Modell selbst wurden gesamtstädtische Karten von ΔW für die Partnerstädte Köln und Berlin erstellt und können dort direkt für Planungsprozesse verwendet werden. In Berlin sind die neu berechneten Karten auch im öffentlichen Berliner Geoportal verfügbar.*
- *Übersetzung von wissenschaftlich/technischen Ergebnissen in Webtool: Zudem wurde das Wasserhaushaltsmodell in enger Zusammenarbeit mit der Technologiestiftung Berlin als „Wasserhaushaltsrechner“ erfolgreich in das webbasierte Planungstool integriert. Dieser Rechner unterstützt auf innovative und spielerische Weise die kommunale Kommunikation und den Informationsaustausch, was letztlich auch Umsetzungsprozesse von der Planung zur Realisierung beschleunigen kann.*

Die Ergebnisse wurden neben den projektinternen Stakeholderworkshops und der offiziellen Abschlussveranstaltung bei zahlreichen Fachkonferenzen und weiteren öffentlichen Veranstaltungen präsentiert. Zudem wurde das Wasserhaushaltsmodell, die resultierenden Karten und das Webtool bei den Stadtentwässerungsbetrieben Köln, der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen und der Berliner Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt inhouse präsentiert.

Die mit den Verbundpartnern erarbeiteten Ergebnisse sind dabei auf sehr großes Interesse aus der kommunalen Anwendung gestoßen. Aufgezeigte offene Fragen haben eine hohe Relevanz für zukünftige Forschungsprojekte privater oder öffentlicher Förderung.

II.5 Beschreibung zwischenzeitlich bekannt gewordener FE-Ergebnisse Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens

Hier gibt es keine zwischenzeitlich bekannt gewordene FE-Ergebnisse Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Projektergebnisse

Die folgenden Projektergebnisse des **Teilvorhabens KWB** wurden veröffentlicht bzw. sind zur Veröffentlichung eingereicht oder geplant:

Artikel / Konferenzpapiere:

- Guericke, L., Sonnenberg, H., Gunkel, M., Haag, L. und Matzinger, A. (2023) Evaluation of the deviation from the annual natural water balance of urban areas – Proposition of a model approach, p. 5, Novatech 2023, Lyon, Frankreich.
- Guericke, L., Sonnenberg, H., Gunkel, M., Haag, L. und Matzinger, A. (2023) Quantifizierung des lokalen Wasserhaushalts im urbanen Raum, p. 252-258, Aqua Urbanica 2023, Garching.
- 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. p. 4, 16th International Conference on Urban Drainage, Delft, June, 2024
- Del Punta, F., Sonnenberg, H., Li, N., Haag, L., Schwab, L. & Matzinger, A. (2025) Simulation der Effekte von blau-grünen Infrastrukturen auf den urbanen Wasserhaushalt: Ein einfaches Berechnungsmodell zur Bewertung von Regenwasserbewirtschaftungsstrategien auf gesamtstädtischer Ebene. Aqua Urbanica 2025.
- Scheid, C.; Gunkel, M.; Matzinger, A.; Minke, R.; Schwab, L.; Tröltzsch, J. und Dittmer, U. (2026): "AMAREX: Die Anpassung des urbanen Regenwassermanagements an Wasserextreme". Korrespondenz Wasserwirtschaft 01/2026: 42-46

Tools/Code:

- KWB (2022) ABIMO 3.3.0: Water Balance Model for Urban Areas. <https://github.com/KWB-R/abimo>. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.
- KWB (2022) kwb.abimo - R Package with Functions for Working with Water Balance Model ABIMO <https://github.com/KWB-R/kwb.abimo>. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.
- KWB (2025) kwb.rabimo – R Implementation of Water Balance Model Abimo. Version 2.1.0 – <https://github.com/KWB-R/kwb.rabimo>. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.

Vorträge und Kurzartikel:

- Matzinger, A. & Guericke, L. (2022) AMAREX - Die Stadt zum Wald machen. p. 32-33. Jahresbericht 2022. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.
- Matzinger, A. (2022) Aspekte des urbanen Wasserhaushaltes am Beispiel Berlins, Vortrag beim Difu-Dialog „Wassersensible Stadt- und Regionalentwicklung: Herausforderungen für Berlin“. Online-Seminar
- Guericke, L. (2023) Wie lässt sich der urbane Wasserhaushalt berechnen?, Vortrag beim Stammtisch der Jungen DWA. Berlin, 30.03.2023
- Matzinger, A. (2023) How does stormwater management impact urban water bodies? Searching for answers using different model approaches. Vortrag beim Kolloquium Wasserwesen der TU Berlin. 13.07.2023.
- Rouault, P., Del Punta, F., Matzinger, A. (2024) Wasserhaltung in urbanen Räumen am Beispiel der Stadt Berlin. Vortrag bei der Tagung „Schlamm- oder Schwammlandschaft? – Der Boden entscheidet“ des UBA. Bundespresseamt, Presse- und Besucherzentrum Berlin, 06.12.2024
- Del Punta, F., Sonnenberg, H. (2024) Found in Translation. Artikel auf der Amarex-Homepage: <https://amarex-projekt.de/de/news/abimo-r-abimo>
- Del Punta, F., Sonnenberg, H. (2024) Vorstellung des Wasserhaushaltsmodells im Rahmen der Berliner „Woche der Klimaanpassung“ im Workshop „Digitale Lösungen für die Klimaanpassung: Innovationen im urbanen Raum“ mit und an der Technologiestiftung Berlin, 19.9.2024.
- Rosenfeld, N., Del Punta, F. (2024) Planungshilfe für die Bewirtschaftung des Regenwassers. Vortrag bei der Wasserwerkstatt mit und an der Technologiestiftung Berlin, 23.10.2024
- 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
- Sonnenberg, H., Junghans, L. (2024) Vorstellung des AMAREX-Webtools im Rahmen des Klimafests 2025 für ein lebenswertes Xhain zusammen mit der Regenwasseragentur, 05.07.2025.
- Del Punta, F., Sonnenberg, H. Matzinger, A. (2025) Vorstellung des R-ABIMO Modells im Rahmen der AMAREX Abschlusskonferenz in Köln, 10.07.2025
- 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 AMA-

REX". Interdisziplinäre Tagung „Extremereignisse im Zusammenhang mit dem Klimawandel – Qualitative und quantitative Auswirkungen auf den Wasserkreislauf“, Universität Koblenz, 24. bis 26. September 2025

Studienarbeiten:

Li, N. (2025). Urban Water Balance as a Proxy for Climate Impacts: A Feasibility Assessment in Berlin. Master's Thesis. p. 79. TU Berlin.

Weitere Literatur:

DWA (2022) Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4: Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers. German Water Association

KWB (2022) ABIMO 3.3: Water Balance Model for Urban Areas. p. <https://github.com/KWB-R/abimo>.

Umweltatlas (2022) Wasserhaushaltsmodell Berlin ABIMO 3.2. p. <https://github.com/umweltatlas/abimo>.