

## Quantifizierung des lokalen Wasserhaushalts im urbanen Raum

Lukas Guericke<sup>1</sup>, Hauke Sonnenberg<sup>1</sup>, Michel Gunkel<sup>2</sup>, Leilah Haag<sup>3</sup>,  
Andreas Matzinger<sup>1</sup>

1 Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB), Cicerostrasse 24, 10709 Berlin

2 Berliner Wasserbetriebe, Cicerostrasse 24, 10709 Berlin

3 Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin,  
Fehrbelliner Platz 1, 10707 Berlin

### Kurzfassung:

Siedlungsgebiete weisen im Vergleich zu natürlichen Flächen einen abweichenden Wasserhaushalt auf. Zur Quantifizierung dieser Differenz wurde ein einfacher Modellansatz verwendet und am Beispiel des Berliner Kanalmischgebietes für den Oberflächenabfluss validiert (NSE = 0,87 für 15 betrachtete Jahre). Die vorliegende Arbeit schlägt ein Abweichungsmaß  $\Delta W$  des lokalen Wasserhaushalts von einem natürlichen Referenzzustand vor, welches in Stadtgebieten tendenziell niedrigere Werte ( $\Delta W < 20 \%$ ) für Grünanlagen und erhöhte Werte ( $\Delta W > 60 \%$ ) für verdichtete Innenstadtgebiete aufweist.

**Key-Words:** ABIMO, AMAREX, Extremwetterereignisse, Modellierung, urbanes Klima, Wasserhaushalt

## 1 Einleitung

Die Prognosen des Klimawandels lassen vermuten, dass klimatische Extremereignisse wie Starkregen und Dürren in Zukunft häufiger auftreten und an Intensität zunehmen werden. Diese Entwicklungen haben besonders gravierende Auswirkungen auf den urbanen Raum, welcher mit Einflüssen wie Überflutungen, Dürre und Hitzewellen konfrontiert ist. Die Erforschung des lokalen Wasserhaushalts kann hierbei eine zentrale Rolle bei der Untersuchung dieser Einflüsse, sowie deren Ursachen darstellen. Dabei weisen Siedlungsgebiete im Vergleich zu natürlichen Flächen, wie z.B. Flächen mit Wäldern oder Wiesen einen veränderten Wasserhaushalt auf (Uhl et al., 2013). Das Merkblatt DWA M102-4/BWK-M 3-4 (DWA, 2022) schlägt vor, diese durch Urbanisierung entstandene Abweichung in den drei Komponenten - Verdunstung, Grundwasserneubildung/Infiltration und Oberflächenabfluss - so gering wie möglich zu halten. Als Referenz wird der unbebaute Zustand als „gebietscharakteristische Kulturlandnutzung ohne Siedlungs- oder Verkehrsflächen“ (DWA, 2022; Henrichs et al., 2019) definiert. Für die Bilanzierung des Wasserhaushalts eines bebauten Zustands (inkl. Regenwasserbewirtschaftung) wird auf der Ebene einzelner Maßnahmen die Software WABILA bereitgestellt (Henrichs et al., 2016). Für eine umfassendere Skalierung bis hin zur gesamtstädtischen Bilanzierung des Wasserhaushalts wird in dieser Arbeit das ursprünglich von der Bundesanstalt für Gewässerkunde entwickelte und für den urbanen Raum angepasste Abflussbildungsmodell ABIMO zur Simulation des jährlichen Wasserhaushalts verwendet (Glugla and König, 1989). Die vorliegende Arbeit schlägt ein Maß  $\Delta W$  zur Quantifizierung der Gesamtabweichung des lokalen Wasserhaushalts vom unbebauten Referenzzustand vor und zeigt dessen Anwendung auf ein gesamtstädtisches Gebiet am Beispiel Berlins. Zudem wird das zur Berechnung

verwendete Wasserhaushaltsmodell ABIMO mitsamt den im Rahmen des BMBF geförderten Projekts AMAREX durchgeführten Modellverbesserungen vorgestellt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Bestimmung der Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt

Um die Abweichung des Wasserhaushalts eines städtischen Gebiets vom Wasserhaushalt desselben Gebiets im natürlichen Zustand zu bewerten, wird in Anlehnung an (DWA, 2022) ein neuer zusammenfassender Parameter  $\Delta W$  vorgeschlagen:

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

Dabei ist  $P$  der gemittelte Jahresniederschlag (in mm/a) und  $k$  der Korrekturfaktor des jährlichen Niederschlags (einheitenlos),  $ev$ ,  $ri$  und  $rs$  sind die drei Komponenten Verdunstung, Infiltration und Oberflächenabfluss (jeweils in mm/a). Die Werte für die natürliche Referenzfläche sind durch den Index „nat“ und die Werte für die urbane Fläche durch den Index „urb“ gekennzeichnet. Unter der Voraussetzung, dass der Niederschlag die einzige Wasserquelle einer Fläche darstellt, nimmt  $\Delta W$  Werte zwischen 0 % (= natürliche Referenz) und 100 % (= maximale Abweichung) an.

### 2.2 Methodik des Wasserhaushaltsmodells ABIMO

Zur Simulation des lokalen Wasserhaushalts für einen urbanen Raum wird eine Software verwendet, die auf dem open source Wasserhaushaltsmodell Berlin ABIMO 3.2 (Glugla et al., 1999; Goedecke et al., 2019; Rachimow and Rachimow, 2009; Umweltatlas Berlin, 2022) basiert und die aktuell im Rahmen des Projekts AMAREX weiterentwickelt wird. Die weiterentwickelte Modellversion ABIMO 3.3 (KWB, 2022a), sowie ein R-Paket, mit Hilfe dessen die Software ABIMO aus der Programmiersprache R heraus angesteuert werden kann (KWB, 2022b), wird vom KWB ebenfalls als Open-Source-Projekt auf GitHub bereitgestellt. Das Modell berechnet die drei Komponenten des jährlichen lokalen Wasserhaushalts (Verdunstung, Grundwasserneubildung/Infiltration und Oberflächenabfluss) auf der Grundlage von Daten zu Niederschlag und potenzieller Verdunstung, Landnutzung, Versiegelungsgraden, Kanalanschlussgraden sowie Boden- und Grundwasserdaten. In einem ersten Schritt wird die reale Evapotranspiration mit Hilfe der Bagrov-Gleichung (Glugla et al., 1999) berechnet. In einem zweiten Schritt wird die Differenz zwischen der realen Evapotranspiration und dem Niederschlag in Infiltration und Oberflächenabfluss aufgeteilt, basierend auf den Boden- und Grundwasserbedingungen sowie der Versiegelung, der Art der Versiegelung (über 4 Belagsklassen) und dem Kanalanschlussgrad (Goedecke et al., 2019; Rachimow and Rachimow, 2009).

Alle geographischen Eingangsdaten basieren auf dem Geoportal Berlin (SenSBW, 2022). Für die Niederschlags- und potentiellen Verdunstungsdaten wurden monatliche 1x1 km Rasterdaten auf Basis von Interpolationen zwischen Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2022) für einzelne Jahre oder das 30-Jahres-Intervall von 1991-2020 aggregiert.

### 2.3 Szenarien

Das Wasserhaushaltsmodell ABIMO wurde auf die Stadt Berlin unter Einbezug der obigen Daten angewendet. Die gesamtstädtische Fläche Berlins war in 25.325 Blockteilmflächen unterteilt, für die mithilfe von ABIMO jeweils ein mittlerer jährlicher Wasserhaushalt für das 30-

Jahres-Intervall von 1991-2020 simuliert wurde. Es wurde zuerst der aktuelle Wasserhaushalt der Stadt Berlin (Szenario „Stadt“) anhand der aktuellen Daten des Geoportals berechnet. Daneben erlaubt ABIMO auch eine Berechnung dieser Flächen in einem natürlichen Referenzzustand. Beispielsweise können alle Blockteilflächen in Wald oder Ackerland verwandelt werden. Für die vorliegende Arbeit wurde der natürliche Referenzzustand (Szenario „Natur“) durch Entsiegelung aller Blockteilflächen, Anpassung des Nutzungstyps zu „Wald“ bei Beibehaltung lokaler Boden- und Grundwassereigenschaften definiert.

## **2.4 Validierung**

Der Innenstadtbereich Berlins verfügt über eine ca. 60 km<sup>2</sup> an die Mischwasserkanalisation angeschlossene versiegelte Fläche, für die eine Bilanzierung des Regenwasserabflusses an den entsprechenden Kläranlagen möglich war. Mithilfe dieser Regenwasserbilanzierung sowie simulierter Mischwasserüberläufe wurde der Oberflächenabfluss des Modells ABIMO für die mischkanalisierte Fläche für die Jahre von 2007 bis 2021 validiert. Die Validierung dient damit einmal der großflächigen Prüfung des Modellansatzes. Zudem wird geprüft, inwiefern das Modell ABIMO, das für langjährige Mittelwerte ausgelegt ist auch für Einzeljahre anwendbar ist.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Validierung**

Trotz der hohen Unsicherheiten sowohl in der Regenwasserbilanzierung an den Kläranlagen und Mischwasserüberläufen, als auch in den Modellberechnungen wies der Vergleich des Oberflächenabflusses im Mischkanalisationsgebiet Berlins eine hohe Genauigkeit auf. Abbildung 72 zeigt diesen Vergleich des simulierten jährlichen Oberflächenabflusses durch das Modell ABIMO auf der Abszissenachse mit der Regenwasserbilanzierung auf der Ordinatenachse für die Jahre 2007 bis 2021 als Punkte dargestellt. Der berechnete Mean Absolute Percentage Error (MAPE) von 5,89 % zur Quantifizierung der Modellabweichung weist auf eine geringfügige Abweichung der Punkte von der Identitätsdiagonalen in Abbildung 72 hin. Die Werte des Nash-Sutcliffe-Effizienzkoeffizienten (NSE) von 0,87 und des R<sup>2</sup> von 0,91 zeigen Ergebnisse nahe an 1, was auf eine hohe Vorhersageleistung des Modells hinweist.

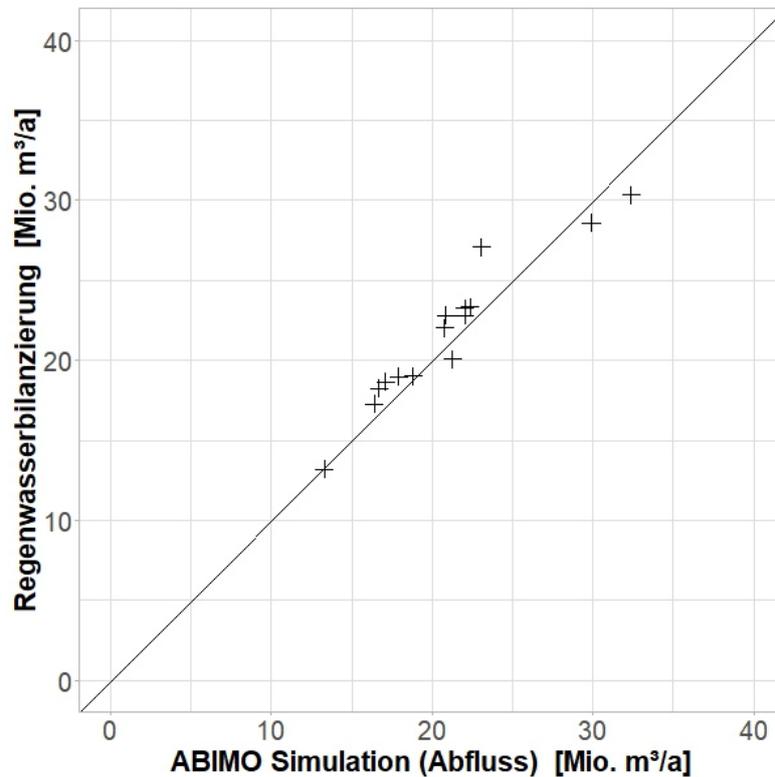


Abbildung 72: Validierung des jährlichen Oberflächenabflusses des Wasserhaushaltsmodells ABIMO (Abszisse) mithilfe einer Bilanzierung von Regenwasser des Mischkanalgebietes in Berlin (Ordinate) für die Jahre 2007 bis 2021

### 3.2 Vergleich der 3 Wasserhaushaltskomponenten mit der natürlichen Referenz

Abbildung 73 zeigt einen Vergleich zwischen den natürlichen („Natur“) und den derzeitigen städtischen („Stadt“) Bedingungen für alle 25.325 Blockteilflächen in Berlin (ohne Oberflächengewässer). Wie erwartet, führt die Verstädterung zu einem Anstieg des Abflusses auf Kosten der Verdunstung. Bei der Infiltration weist die städtische Fläche geringfügig höhere Werte auf, als die natürliche. Der Grund dafür sind halbdurchlässige Oberflächen (z.B. Pflastersteine) im Stadtgebiet, die eine Versickerung, aber nur eine sehr geringe Verdunstung ermöglichen. Die Boxplots spannen dabei die Unterschiede über die unterschiedlich bebauten Blockteilflächen auf. So weisen stark versiegelte Innenstadtbereiche einen Oberflächenabfluss > 40 % bei einer Verdunstung < 30 % auf. Dagegen sind aktuelle Park- und Waldflächen weitestgehend im natürlichen Zustand.

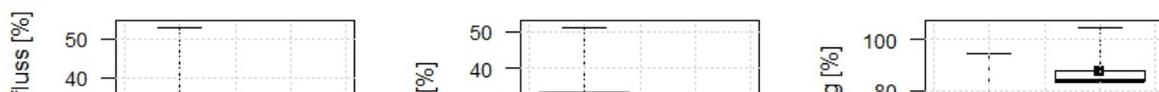


Abbildung 73: Vergleich der Stadt Berlin (Stadt) und einer natürlichen Referenz (Natur) für die drei Komponenten des Wasserhaushalts: Oberflächenabfluss, Infiltration und Verdunstung (in % auf mittlere jährliche Niederschlagshöhe bezogen); die Boxplots stellen einen 30-Jahres-Durchschnitt von 1991 bis 2020 dar und zeigen eine statistische Verteilung über 25.325 Blockteilflächen in Berlin

### 3.3 Berechnung des Abweichungsmaßes $\Delta W$

Über das in Gleichung 1 beschriebene Abweichungsmaß  $\Delta W$  kann, unter Berücksichtigung aller drei Wasserhaushaltskomponenten, der Wasserhaushalt einer urbanen Fläche mit dem Wasserhaushalt derselben Fläche in ihrem natürlichen Referenzzustand verglichen werden. Abbildung 74 zeigt das Ergebnis der Abweichungsberechnung bei Verwendung des 30-jährigen Niederschlagsmittels von 1991 bis 2020 für einen Ausschnitt von Blockteiflächen des Berliner Innenstadtbereichs. Auf mittlerer Höhe links ist in blau, der Farbe, die eine sehr geringe Abweichung vom natürlichen Wasserhaushalt anzeigt, der Berliner Tiergarten zu erkennen. Dabei handelt es sich um eine städtische Grünfläche mit Baumbestand, Sträuchern und Wiesen. Dagegen wird für den hoch versiegelten Innenstadtbereich, mittig in Abbildung 74, ein hohes  $\Delta W > 60\%$  angezeigt, welches vor allem durch Gebäude verursacht wird.

## 4 Fazit & Ausblick

Die Simulation der Wasserhaushaltskomponenten mittels des Modells ABIMO ermöglicht eine Abschätzung des Wasserhaushalts für ein gesamtes Stadtgebiet sowie seiner Abweichung vom natürlichen Zustand auf Basis von Geodaten wie sie für Berlin vorliegen. Diese „natürliche“ Referenz wird direkt in ABIMO gerechnet und kann unterschiedlich definiert werden. Alternativ zu einem natürlichen Zustand ohne Bebauung könnte auch ein erwünschter Klimaanpassungszustand als Referenz definiert werden.

Es wurde gezeigt, dass sich die Abweichungen der Einzelkomponenten des Wasserhaushalts zu einem Gesamtparameter  $\Delta W$  kumulieren lassen, dessen graphische Darstellung eine rasche Identifikation von Standorten mit hohen Abweichungen vom natürlichen Wasserhaushalt erlaubt. Im weiteren Verlauf des Projektes AMAREX ist zu prüfen, inwieweit die jährlichen Abweichungen in den drei Wasserhaushaltskomponenten und der neue Parameter  $\Delta W$  ein geeignetes Maß für Klimafolgen (z.B. Dürre) sind. Um dieser Fragestellung gerecht zu werden, ist eine enge Zusammenarbeit mit Projektpartnern geplant, die sich auf die Simulation von Klimafolgen spezialisiert haben.

ABIMO soll zudem weiterentwickelt werden, um einfach auf andere Städte anwendbar zu sein und Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zu integrieren. Dazu sind Umstrukturierungen und Erweiterungen im ABIMO-Quellcode vorgesehen. Ziel ist, mit ABIMO ein Werkzeug für die Grobplanung von Maßnahmen der hydrologischen Klimaanpassung innerhalb eines Stadtgebiets zur Verfügung zu stellen.



Abbildung 74: Innentadtausschnitt Berlins mit Darstellung  $\Delta W$  je Blockteifläche, gerechnet mittels ABIMO 3.3 für ein 30-jähriges Mittel (1991-2020)

## 5 Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung des Verbundvorhabens "AMAREX" (Förderkennzeichen 02WEE1624C) sowie allen Projektpartnern (<https://amarex-projekt.de/de/partners>) für die tolle Zusammenarbeit.

## 6 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, p. 56, German Water Association.
- DWD 2022 Climate Data Center of Deutscher Wetterdienst, p. [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/monthly/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/monthly/).
- Glugla, G., Goedecke, M., Wessolek, G. and Fürtig, G. 1999 Langjährige Abflußbildung und Wasserhaushalt im urbanen Gebiet Berlin., pp. 34-42.
- Glugla, G. and König, B. 1989 Der mikrorechnergestützte Arbeitsplatz Grundwasserdargebot. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 39.Jg.
- Goedecke, M., Gerstenberg, J. and Haag, L. 2019 Wasserhaushaltsmodell Berlin ABIMO 3.2 – Handreichung für Anwendende.
- Henrichs, M., Langner, J. and Uhl, M. 2016. Development of a simplified urban water balance model (WABILA). Water Science and Technology 73(8), 1785-1795.
- Henrichs, M., Steinbrich, A., Leistert, H., Scherer, I., Schuetz, T., Uhl, M. and Weiler, M. 2019 Model Based Estimation of a Natural Water Balance as Reference for Planning in Urban Areas, pp. 953–957.
- KWB 2022a ABIMO 3.3: Water Balance Model for Urban Areas, pp. <https://github.com/KWB-R/abimo>.
- KWB 2022b kwb.abimo - R Package with Functions for Working with Water Balance Model ABIMO pp. <https://github.com/KWB-R/kwb.abimo>.
- Rachimow, C. and Rachimow, M. 2009 ABIMO3.2 – Abflußbildungsmodell. Algorithmus zum BAGROV-GLUGLA-Verfahren für die Berechnung langjähriger Mittelwerte des Wasserhaushalts (Version 3.2). Beschreibung des Verfahrens zur Behandlung grundstücksbezogener Daten.
- SenSBW 2022 Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen. Geoportal Berlin: <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>.
- Uhl, M., Langner, J. and Henrichs, M. 2013 Bilanzierung des Wasserhaushaltes in Siedlungen, p. 27.
- Umweltatlas-Berlin 2022 Wasserhaushaltsmodell Berlin ABIMO 3.2, p. <https://github.com/umweltatlas/abimo>.

**Korrespondenz:**

Lukas Guericke

Kompetenzzentrum Wasser Berlin gemeinnützige GmbH

Cicerostraße 24, D-10709 Berlin

lukas.guericke@kompetenz-wasser.de

