

Methodik der Modellierungen im BGI-Planer

Starkregenmodellierung

Modellgrundlage

Die vorliegenden Modellierungen basieren auf der Methodik der Starkregengefahrenkarten für Berliner Mischwassereinzugsgebiete unter Verwendung der Software InfoWorks ICM (Innovyze / Autodesk). Der gekoppelte 1D-2D Modellansatz kombiniert ein 1D-Kanalmodell der Berliner Wasserbetriebe (BWB) mit einem 2D-Modell zur Berechnung des Oberflächenabflusses. Der Austausch zwischen dem Kanalmodell und dem Oberflächenmodell erfolgt über Kanalschächte und Straßenabläufe. Dadurch kann das Wasser sowohl aus dem Kanalmodell in das Oberflächenmodell als auch umgekehrt fließen.

Untersuchungsraum

Für die Bewertung blau-grüner Infrastrukturmaßnahmen auf die Überflutungsgefährdung bei Starkregen wurde ein Gebiet von etwa 4,5 km² betrachtet, welches sich im Berliner Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg befindet. Es ist geprägt durch eine überwiegend geschlossene Blockrandbebauung aus der Gründerzeit und zählt zu den Gebieten mit der höchsten Bevölkerungsdichte in Berlin. Das betrachtete Gebiet befindet sich im Mischwassereinzugsgebiet – Schmutz- und Regenwasser werden dementsprechend gemeinsam im Kanal abgeleitet.

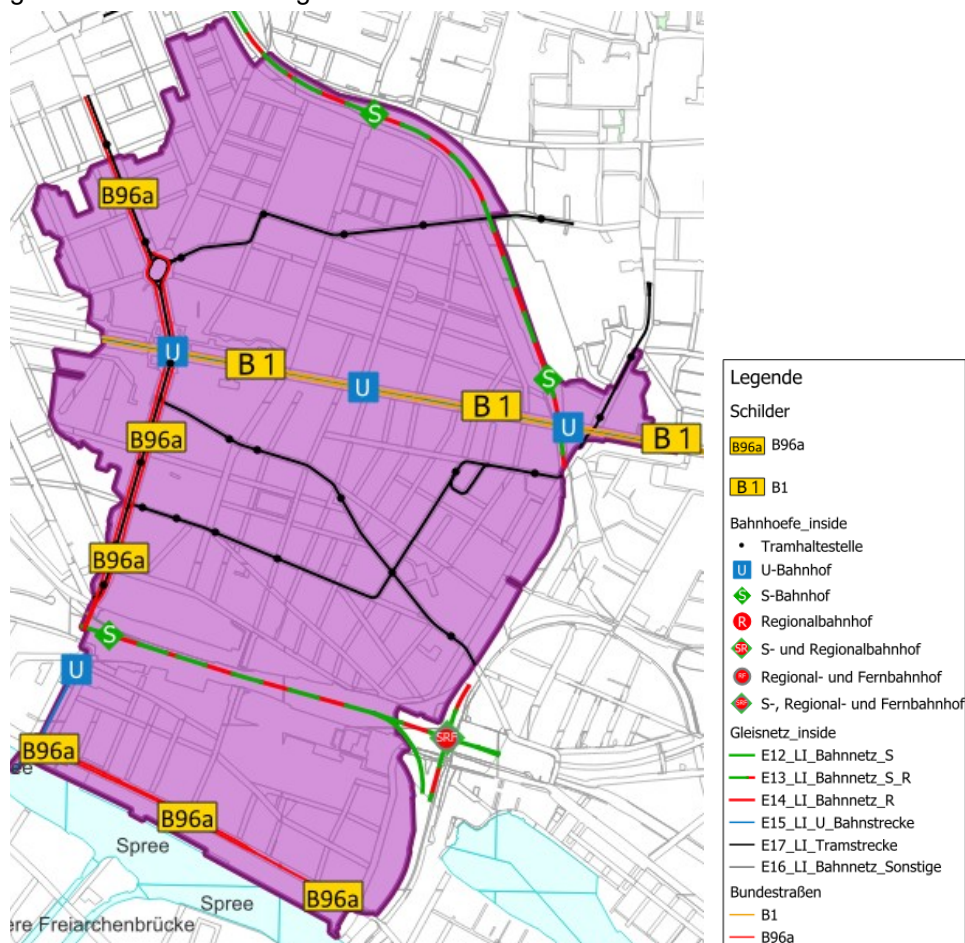


Abbildung 1: Untersuchungsraum der Starkregenmodellierung – (Tabea Broecker, 2025; BWB); Kartengrundlage: Geoportal des Landes Berlin, abgerufen am 01.07.2025

Datengrundlage

Für die Erstellung der Simulationsergebnisse wurden folgende Daten verwendet:

- Projektgebietsgrenze (BWB)
- Kanalnetzmodell für das Gebiet APw Bln XII (BWB)
- befestigte private Flächen (Flächendaten der Niederschlagswassergebühr, ehemals Entgeltdaten) (BWB)
- Haltungsflächen/Flurstücksflächen mit Kanalanschlussinformationen (BWB)
- Straßenabläufe (Anschlusspunkte, -leitung) (BWB)
- Überstauatlas (Feuerwehreinsätze und Meldungen von Bürgern) (BWB)
- Gebäudeflächen, Gebäudedurchfahrten (Geoportal)
- Höhendaten (XYZ ASCII) (ATKIS® DGM) Digitales Geländemodell (Geoportal)
- Luftbilder (Orthophotos) (Geoportal)
- Gebäudeflächen (Geoportal)
- Bodenkundliche Kennwerte (Geoportal)
- Straßenbefahrung (Fahrbahn, Bordstein) (Geoportal)
- Gewässer- und Vegetationsflächen (Geoportal)
- Gründächer (Geoportal)

Diese Daten wurden durch die BWB zur Verfügung gestellt sowie dem Geoportal des Landes Berlin entnommen. Alle Daten wurden im Jahr 2024 zusammengestellt.

Modellaufbau

Bei den Gebäudeflächen wird unterschieden zwischen Gebäuden mit Dachflächen, welche in das betrachtete Kanalnetz einleiten, und denen, die nicht in das Kanalnetz einleiten. Die einleitenden Dachflächen werden über das 1D-Modell betrachtet, während die restlichen Dachflächen über das 2D-Oberflächenmodell abgebildet werden. Die Gebäudedurchfahrten bleiben im 2D-Modell bestehen, um die Betrachtung von Zu- und Abläufen an Höfen zu gewährleisten.

Zur Abbildung des Fließwiderstands auf der Geländeoberfläche wurden verschiedene Rauheitsbeiwerte für Grünflächen und Straßen angewandt. Für alle Straßen wurde eine Rauheit von $k_{st} = 50 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s}$ angenommen. Für die Grünflächen wurde eine wasserstandsabhängige Rauheit von $5 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s}$ bis 5 mm Wasserstand angenommen, darüber hinaus wurde ein k_{st} -Wert von $25 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s}$ festgelegt.

In dem betrachteten Gebiet wird hauptsächlich Mittelsand mit einer sehr hohen Durchlässigkeit vorgefunden. Um die Infiltrationsvorgänge realistisch abzubilden, wie in der Methodikbeschreibung der Starkregengefahrenkarten für Berliner Mischwassereinzugsgebiete vorgegeben, wird die Infiltrationsfähigkeit in den Boden für alle Grünflächen auf maximal $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ begrenzt.

Für alle Effektbewertungen wird ein Starkregenszenario mit einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren simuliert. Grundlage dieser Modellniederschläge bildet der KOSTRA-Datensatz. Auf Basis dieser Daten wurde ein synthetisches Niederschlagsereignis nach Euler Typ II mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten und einer Gesamtdauer von 180 Minuten erzeugt. Zeitlich wurde das Niederschlagsmaximum auf das Schmutzwassertagesmaximum gelegt.

Um die zeitlichen und räumlichen Veränderungen von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet zu ermitteln, wurde ein hydrodynamisches Modell angewandt. Nach Durchführung der ersten Starkregensimulationen im Referenzzustand wurden im Einzugsgebiet verschiedene Überflutungsbereiche erkannt. Diese Flächen zeigen größere Wasseransammlungen oder hohe Wassertiefen. Diese Bereiche wurden zunächst über Orthofotos überprüft und anschließend bei Vor-Ort-Begehungen genauer betrachtet. Ziel war es, die Modellberechnungen mit den tatsächlichen Gegebenheiten abzugleichen und Auffälligkeiten besser einschätzen zu können. Zu diesem Zweck erfolgt auch ein Abgleich mit dem Überstauatlas der BWB. Diese Daten enthalten sowohl Feuerwehreinsätze bei Regen als auch Beschwerden und Störungsmeldungen von Anwohner:innen sowie Medienberichte.

Basierend auf den Simulationsergebnissen zu Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und -richtungen

wurde auch die Gefährdung durch Starkregen gemäß der Zuordnung im Naturgefahrenportal¹ ermittelt (siehe Abbildung 2).

		max. Fließgeschwindigkeit →			
max. Überflutungstiefe ↓		0 - 0,2 m/s	> 0,2 - 0,5 m/s	> 0,5 - 2 m/s	> 2 m/s
	0 - 5 cm	1	1	1	1
	> 5 - 10 cm	2	2	3	4
	> 10 - 50 cm	3	3	4	4
	> 50 - 100 cm	3	4	4	4
	> 100 cm	4	4	4	4
		Stufe 1: gering	Stufe 2: mittel	Stufe 3: hoch	Stufe 4: sehr hoch

Abbildung 2: Zuordnung der Gefährdungsstufen bei Starkregen gemäß Naturgefahrenportal Quelle: Eigene Darstellung BWB (2026); anlehnend an Klassifizierung im Naturgefahrenportal, aufgerufen am 04.08.2026, https://www.naturgefahrenportal.de/de/help_ngp_data_info?hash=rain

Implementierung von BGI-Maßnahmen im Modell

Je nach Maßnahme werden die blau-grünen Infrastrukturen entweder im 2D- oder im 1D-Modell implementiert. Grünflächen sowie Teilentsiegelung werden im 2D-Oberflächenabflussmodell v. a. durch die Anpassung von Rauheit und Infiltration implementiert. Da in der Methodikbeschreibung der Starkregengefahrenkarte Bäume lediglich durch die entsiegelte Fläche bzw. Baumscheibe erfasst werden, erfolgt hier derselbe Ansatz wie für die Grünflächen.

Für alle weiteren hier betrachteten BGI-Maßnahmen (Gründächer, Mulden, Rigolen, Mulde-Rigole) erfolgte in InfoWorks die Verwendung der integrierten Sustainable Drainage Systems (SuDS)-Elemente. Hierdurch können Maßnahmen zur Rückhaltung, Speicherung, Versickerung und gedrosselter Ableitung von Niederschlagswasser prozessnah abgebildet werden. Tabelle 1 zeigt die gewählten Parameter für die jeweiligen Maßnahmen, welche mit Hilfe der SuDS-Elemente integriert wurden.

¹ https://www.naturgefahrenportal.de/de/help_ngp_data_info?hash=rain

Tabelle 1: Verwendete SUDS-Modellparameter für die Überflutungsmodellierung bei Starkregen in InfoWorks ICM

Layer	Parameter	Einheit	Mulde	Rigole	Mulde-Rigole	extensives Gründach
Oberfläche	Bermenhöhe	[mm]	300	-	300	5
	Volumenanteil Vegetation	[vol fr.]	0.1	-	0.1	0.1
	Oberflächenrauigkeit (Mannings n)	[s/m ^{1/3}]	0.07	-	0.07	0.1
	Oberflächenneigung	[m/m]	0.02	-	0.02	0.02
Boden	Bodendicke	[mm]	500	-	-	100
	Bodenporosität	[vol fr.]	0.5	-	-	0.55
	Feldkapazität	[vol fr.]	0.2	-	-	0.3
	Welkepunkt	[vol fr.]	0.1	-	-	0.05
	Leitfähigkeit	[mm/h]	12.7	-	-	70
	Leitfähigkeitsneigung	[-]	10	-	-	15
	Saughöhe	[mm]	88.9	-	-	58.8
Speicher	Speicherdicke	[mm]	-	600	600	-
	Porenanteil des Speichers	[-]	-	0.35	0.35	-
	Sickerwasserrate	[mm/h]	-	120	120	-
	Cloggingfaktor Speicher	[-]	-	3	3	-
	Durchflusskoeffizient	[mm/h]	-	50	50	-
	Durchflussexponent	[-]	-	0	0	-
	Versatzhöhe	[mm]	-	0	0	-
Dränagematte	Mattendicke	[mm]	-	-	-	100
	Porenanteil der Matte	[vol fr.]	-	-	-	0.633
	Mattenrauigkeit (Mannings n)	[s/m ^{1/3}]	-	-	-	0.03

Simulationen und Ergebnisdarstellung

Neben dem Referenzzustand (Ist-Zustand) wurden Simulationen mit zusätzlichen BGI-Maßnahmen durchgeführt. Zunächst wurden daher für jede Maßnahme potenzielle Flächen im betrachteten Gebiet ermittelt. Diese Flächen dienten als Maximalszenario (100 %). Von diesem Szenario aus wurden im Anschluss Unterszenarien betrachtet mit je 75 %, 50 % und 25 %. Auch Kombinationen der Maßnahmen wurden betrachtet, mit der Annahme eines Implementierungsgrads von jeweils 25 % bzw. 50 %.

Ein Vergleich dieser Simulationsergebnisse zum Referenzzustand wird durch Karten und Diagramme in Modul 3 „Maßnahmen planen und bewerten“ des BGI-Planers möglich. Die Karten stellen hierbei die gefährdeten Flächen, den Wasserstand sowie Fließgeschwindigkeit und -richtung im Referenzzustand sowie für die jeweilige Maßnahme mit 100 % Implementierung im Vergleich dar. Die Diagramme ermöglichen zudem Aussagen für Unterszenarien sowie Kombinationen und berücksichtigen eine Reduktion der gefährdeten Flächen sowie der Überflutungsvolumina.

Stadtklimamodellierung

Modellgrundlage

Die Effekte der verschiedenen blau-grünen Infrastrukturen auf das Stadtklima wurden für verschiedene Umsetzungsgrade modelliert. Hierfür wurde die Stadtklimamodellierungssoftware ENVI-met genutzt. ENVI-met ist eine dreidimensionale, prognostische Mikroklima-Simulationssoftware, die speziell für die Analyse des Stadtklimas auf Quartiers- und Straßenraumbene entwickelt wurde. Das Modell bildet die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Gebäuden, Oberflächen, Boden und Vegetation in einem gekoppelten, ganzheitlichen Modellsystem ab. Typische Modellgebiete umfassen einige hundert Meter Kantenlänge bei einer räumlichen Auflösung (Kästchengröße) von etwa 1 bis 10 Metern. Simuliert werden in der Regel Zeiträume von 24 bis 48 Stunden.

Das Modell besteht aus mehreren gekoppelten Teilmodellen, u. a.:

- Atmosphärenmodell: Berechnung von Wind- und Turbulenzfeldern, sowie von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit
- Boden- und Oberflächenmodell: Wärme- und Wasserhaushalts, inkl. Verdunstung; sowie unterschiedliche Boden- und Belagstypen (z. B. Asphalt, Pflaster, ...)
- Vegetationsmodell, z. B. Bäume, Sträucher und Rasenflächen
- Gebäudemodell: Dreidimensionale Gebäudegeometrien
- Thermischer Komfort: Berechnung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET)

Für die Modellerstellung aus Geodaten steht ein QGIS-Plug-in zur Verfügung, mit dem Vektordaten, etwa Gebäude-, Baum- und Flächenlayer, direkt in das ENVI-met-Modellformat (.INX) überführt werden können.

Untersuchungsraum

Die Stadtklimamodellierung wurde für ein Simulationsgebiet rund um den Traveplatz im nordöstlichen Teil des Ostkreuzkieses (Berlin-Friedrichshain) durchgeführt. Es liegt innerhalb des größeren Projektgebiets, das auch der Starkregenmodellierung zugrunde liegt, wurde jedoch verkleinert, da die Mikroklimasimulation deutlich rechenintensiver ist: Das kleinere Gebiet ermöglicht kleinere Gitterzellen und damit die höhere räumliche Auflösung, die für die Darstellung kleinteiliger BGI-Maßnahmen notwendig ist.

Datengrundlage und Modellaufbau

Daten für den Modellaufbau:

- Das Modellgebiet wurde in der GIS-Software QGIS aufgebaut. QGIS eignet sich hierfür besonders gut, da mit dem Plug-in „Geodata to ENVI-met“ Geodaten direkt in eine ENVI-met-Modelldatei (.INX) überführt werden können. Jedes Modellgebiet besteht aus fünf Ebenen (Layern), die im Plug-in geladen und gemeinsam in die .INX-Datei überführt werden: Gebäudelayer (inklusive bestehender Gründächer) (ALKIS-Gebäudebestand, Geoportal Berlin, Stand: 2020; Begrünte Dachteilflächen, Stand: 2020)

- Baumlayers (Straßen- und Parkbäume, Geoportal, Stand: 2024)
- Grünflächen-Layer (Geoportal Berlin, Stand: 2022)
- Oberflächenbelagslayer (Straßenbefahrung, Geoportal Berlin, Stand: 2014)
- Rezeptorlayer (Kalibrierungspunkte, eigene Darstellung)

Gebäude und Gründächer:

Der Gebäudelayer setzt sich aus dem Gebäudebestand und den bestehenden Gründächern zusammen. Jedem Gebäude wird eine Höhe zugewiesen, die entweder direkt aus dem Bestand übernommen oder aus der Geschosshöhe abgeleitet wurde. Den Gebäudepolygonen mit bestehendem Gründach wurde eine zusätzliche Attributspalte angehängt, die über eine ENVI-met-Materialkennung (ID) angibt, dass und mit welchem Aufbau das Dach begrünt ist. Beim Export über das Plug-in wird das Gründach dadurch automatisch an der richtigen Stelle im Modell erzeugt.

Bäume:

Der Baumlayers wurde aus den Datensätzen der Straßen- und Parkbäume des Geoportals zusammengesetzt und durch manuell platzierte Bäume in Innenhöfen und auf privaten Grundstücken ergänzt. Bei der Zuweisung der Baumtypen stand die Baumhöhe im Vordergrund: Es wurden sieben Höhenklassen mit einem Intervall von jeweils 5 m definiert, denen ENVI-met-Pflanzen-IDs zugeordnet wurden. Jede ID verweist auf einen Baumtyp aus der ENVI-met-Vegetationsdatenbank, der u. a. Wuchshöhe, Kronenform und Blattflächendichte definiert. Über die Zuordnung der IDs übersetzt das Plug-in die Baumpunkte automatisch in dreidimensionale Modellbäume passender Größe.

Oberflächenbeläge:

Der Layer für den Bodenbelag wurde aus mehreren Datensätzen zusammengeführt. Straßen (Straßenbefahrung) und Grünflächen wurden direkt aus dem Geoportal übernommen; die Versiegelung der Innenhöfe stammt aus dem von den Berliner Wasserbetrieben bereitgestellten Layer. Der resultierende Bodenlayer unterscheidet sechs Boden- bzw. Belagstypen: Asphalt (Straßenflächen), zwei Pflaster-/Betonbeläge (u.a. Gehwege und versiegelte Hofflächen), Schotter, unversiegelte Lehmböden (Grün- und Vegetationsflächen) sowie den Gebäudeunterbau, der den Zellen unterhalb der Gebäude automatisch zugewiesen wird.

Rezeptoren:

Rezeptoren sind virtuelle Messpunkte im Modell: Sie zeichnen an einem definierten Punkt kontinuierlich alle relevanten Parameter (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit) auf, analog zu einem realen Sensor. Sie wurden an den Standorten der realen Sensoren platziert, um Messung und Simulation direkt vergleichen zu können.

Modellauflösung:

Jedes Modell hat eine Ausdehnung von $291 \times 301 \times 29$ Gitterzellen bei einer horizontalen Zellgröße von 2,5 m. Damit deckt das Modellgebiet eine Fläche von rund $730 \text{ m} \times 750 \text{ m}$ ab. Die gewählte Auflösung stellt einen Kompromiss zwischen Detailtreue und Rechenzeit dar: Sie ist fein genug, um einzelne Bäume, Höfe und Straßenräume abzubilden, und zugleich grob genug, um vollständige Tagesgänge in vertretbarer Zeit zu simulieren.

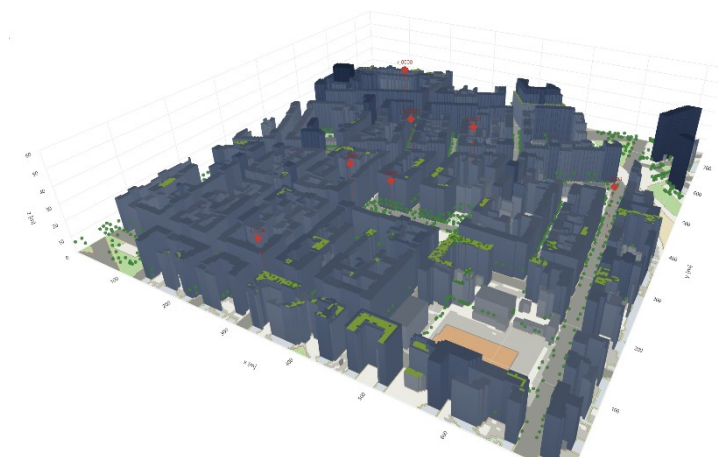


Abbildung 3: Modell im IST-Zustand (Paul Schütz, 2026; KWB)

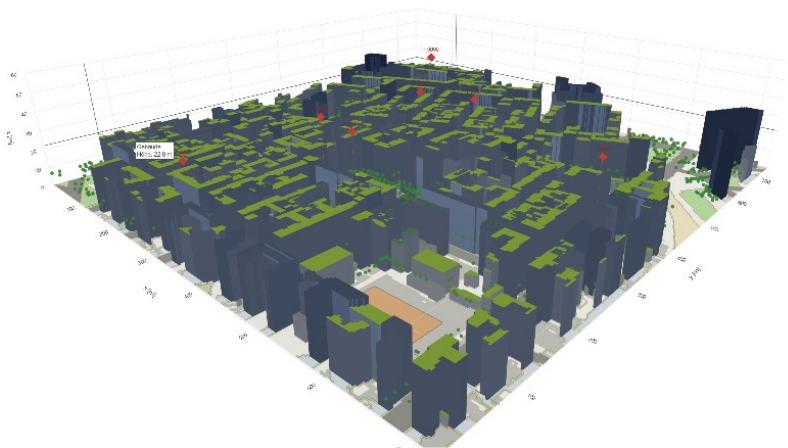


Abbildung 4: Modell 100 % Gründach-Szenario (Paul Schütz, 2026; KWB)

Meteorologische Datengrundlage

Messnetz - Sensoren und Wetterstation:

Die Eingangs- und Kalibrierungsdaten wurden mit 20 Sensoren und einer Wetterstation erhoben, die über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt an charakteristischen Stadtstrukturen installiert wurden. Die Sensoren ([Senzemo SMC30 mit Strahlenschutz](#)) messen die Parameter Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit und übertragen ihre Daten per LoRaWAN. Die Wetterstation ([Barani MeteoHelix & MeteoWind](#)) liefert darüber hinaus umfangreichere Messgrößen wie Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Während die Sensoren in Straßenzügen angebracht wurden, ist die Wetterstation auf einem Dach unmittelbar neben dem LoRaWAN-Gateway installiert. Das LoRaWAN-Gateway ist die zentrale Empfangsstation, die die Funksignale der Sensoren empfängt und an den Datenserver weiterleitet. Aufgrund von sicherheitsrelevanten Bedingungen (Blitzschutz) konnten die Vorgaben der Weltorganisation für Meteorologie (WMO), die u. a. Standard-Messhöhen (Temperatur in 2 m, Wind in 10 m über Grund) und eine hindernisfreie Aufstellung vorschreiben, für einige Parameter nicht eingehalten werden. Die Messdaten der Wetterstation bilden die meteorologische Antriebsdatei (.FOX-Datei) der Simulationen.

Eingangsdaten für die Simulationen:

Für eine Simulation in ENVI-met werden drei Dateien benötigt: Die .INX-Datei enthält das räumliche Modell mit allen Informationen zu Gebäuden, Gründächern, Bäumen und Oberflächen. Die .FOX-Datei enthält die meteorologischen Daten, u. a. die Zeitreihen von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Beide werden in der .SIMX-Datei zusammengeführt, in der zusätzlich u. a. Datum und Uhrzeit der Simulation festgelegt werden. Die .SIMX-Datei wird anschließend gestartet und gerechnet.

Als meteorologischer Antrieb dienen die Daten der Wetterstation. Von den zentralen Eingangsgrößen Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung, wurden alle bis auf Windgeschwindigkeit und Windrichtung als gemessene Zeitreihen übernommen. Variable Windverhältnisse führten in den Simulationen wiederholt zu numerischen Instabilitäten und Simulationsabbrüchen. Nach Rücksprache mit den Entwicklern von ENVI-met wurden daher die Windgeschwindigkeit konstant auf 2 m/s und die Windrichtung konstant auf Ost gesetzt.

Die Simulationen beginnen jeweils um 22:00 Uhr des Vortages und enden um 24:00 Uhr des Simulationstages; daraus ergibt sich eine Simulationsdauer von 26 Stunden. Die ersten Stunden dienen dabei für den Start des Modells. Für die Auswertung werden die Ergebnisse stets zu denselben Zeitpunkten abgelesen: um 4 Uhr (Nacht), 14 Uhr (Nachmittag) und 22 Uhr (Abend).

Modell - Kalibrierung

Vorgehen:

Zur Kalibrierung wurden die Sensormessungen mit den Simulationsergebnissen verglichen. In ENVI-met können hierfür Rezeptoren gesetzt werden, die relevanten Parameter für einen definierten Punkt im Modell in hoher zeitlicher Auflösung aufzeichnen. Die Rezeptoren wurden an den Standorten der realen Sensoren platziert. Von den 20 im Gesamtgebiet installierten Sensoren liegen sechs innerhalb des verkleinerten Simulationsgebiets rund um den Traveplatz; diese sowie die Wetterstation wurden für die Kalibrierung verwendet. Anschließend wurden gemessene und simulierte Zeitreihen einander gegenübergestellt und das Modell iterativ angepasst.

Kalibrierungsergebnisse:

Die Kalibrierungsgüte wurde je Rezeptor über R^2 und die Nash-Sutcliffe-Effizienz (NSE)³ bewertet; Werte über 0,8 gelten als sehr gute Modellgüte. Exemplarisch werden drei Standorte am Hitzetag (15.08.2025) gezeigt: An der Frankfurter Allee (ohne BGI) trifft die Simulation den Tagesgang und das Maximum von rund 37 °C sehr gut ($R^2 = 0,962$; NSE = 0,932), kühlt nachts jedoch etwas stärker aus als der wärmespeichernde Straßenraum. Am grünen Parkeingang des Traveplatzes ($R^2 = 0,931$; NSE = 0,898) überschätzt das Modell das Tagesmaximum leicht um ca. 1 bis 1,5 K, gibt den Verlauf aber zuverlässig wieder. Eine gute Übereinstimmung zeigt das extensive Gründach in der Revaler Straße, sowohl bei der Temperatur ($R^2 = 0,993$; NSE = 0,961) als auch bei der Luftfeuchtigkeit ($R^2 = 0,972$; NSE = 0,969). Die gute Wiedergabe der Luftfeuchtigkeit zeigt zudem, dass die Verdunstungsprozesse plausibel abgebildet werden.

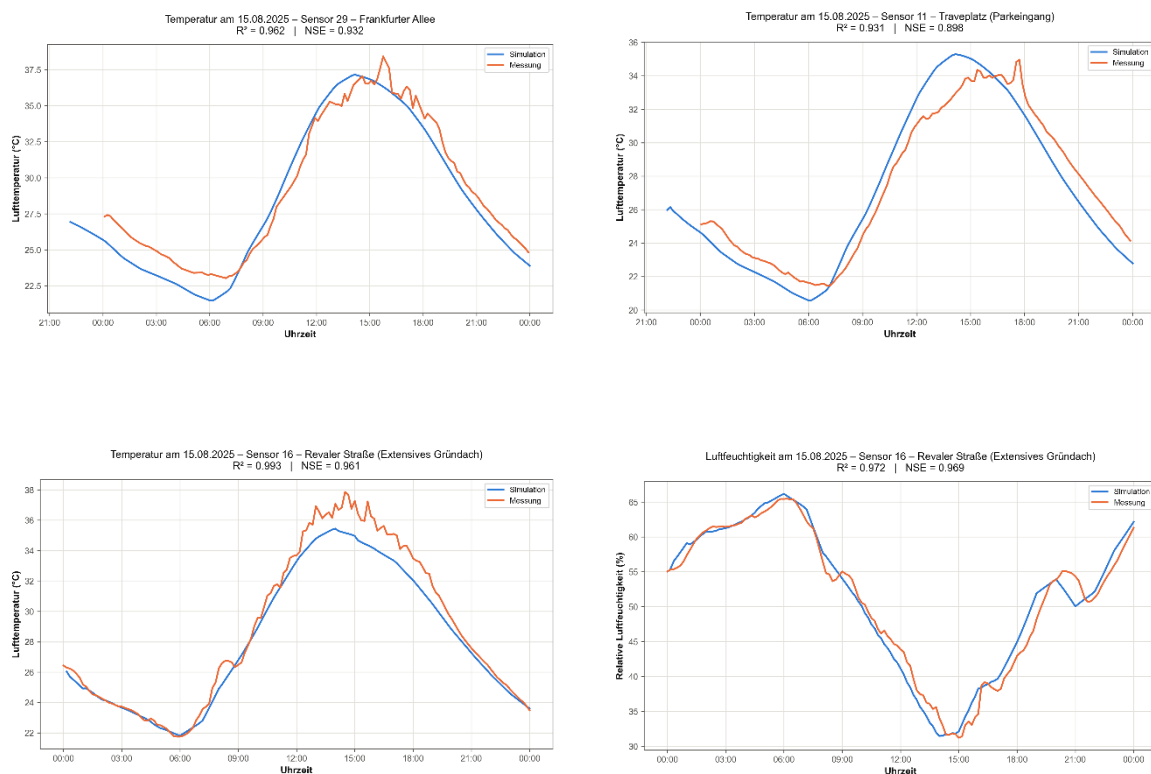


Abbildung 5: Darstellung der Kalibrierungen mittels Temperatur & Luftfeuchtigkeit (Paul Schütz, 2025; KWB)

² R^2 - <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1998WR900018>

³ NSE – Original-Publikation: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169470902556>

Simulationsszenarien

Aufbauend auf dem kalibrierten Ist-Zustandsmodell wurden Szenarien in zwei Dimensionen entwickelt: BGI-Szenarien, die unterschiedliche Maßnahmen und Umsetzungsgrade blau-grüner Infrastruktur abbilden, sowie klimatische Szenarien, die unterschiedliche Wetterlagen repräsentieren.

BGI – Szenarien:

Extensives Gründach: Im Gründach-Szenario werden zusätzliche extensive Gründächer im Modell ergänzt. Grundlage ist die Gründachpotenzialkarte aus dem Geoportal Berlin, in der die Berliner Regenwasseragentur bewertet hat, auf welchen Dächern eine Begrünung möglich ist und wie leicht sie sich realisieren lässt. Für das 100-%-Szenario wurden alle Dächer begrünt, auf denen ein Gründach grundsätzlich möglich ist, unabhängig vom Realisierungsaufwand. Im 50-%-Szenario wurde die Hälfte der bislang unbegrüntem Potenzialfläche zufällig ausgewählt.

Mulden: Für das Mulden-Szenario wurde ebenfalls eine Potenzialkarte verwendet. Die Potenzialflächen wurden zusätzlich mit der Hangneigung abgeglichen und entsprechend weiter eingegrenzt. Anschließend wurde die verfügbare Fläche um die Kronendurchmesser der Bäume reduziert, da unter Bäumen keine Mulden angelegt werden dürfen; ebenso wurden Einfahrten und Gehwege abgezogen. Auch hier wurden ein 100-%- und ein 50-%-Szenario definiert: Im 100-%-Szenario wurden alle verbleibenden Potenzialflächen belegt. Im 50-%-Szenario wurde die Hälfte des maximalen Potenzials umgesetzt; dabei wurden zunächst Flächen im Straßenraum ausgewählt und anschließend vollständige Baublöcke, um die Wirkung der Mulden besser abschätzen zu können.

Fassadenbegrünung: Für das Fassadenbegrünungs-Szenario wurde die Machbarkeit vereinfacht abgeschätzt: Es wurde angenommen, dass grundsätzlich alle Gebäude im Modellgebiet eine erdgebundene Fassadenbegrünung erhalten können. Im 100-%-Szenario wurden entsprechend alle Fassadenflächen begrünt. Für das 50-%-Szenario wurde die Hälfte der Fassadenflächen zufällig ausgewählt. Anders als bei Gründächern und Mulden liegt der Auswahl damit keine Potenzialkarte zugrunde; das Szenario bildet folglich das theoretische Maximalpotenzial der Maßnahme ab, ohne bauliche oder rechtliche Restriktionen im Einzelfall zu berücksichtigen.

Bäume: Das Baum-Szenario orientiert sich am Berliner Klimaanpassungsgesetz (KAnG Bln), welches im Durchschnitt alle 15 Meter je Straßenseite einen Straßenbaum vorsieht. Die bestehenden Lücken im Straßenbaumbestand des Modellgebiets wurden entsprechend dieser Vorgabe aufgefüllt. Als Baumart wurde die Winterlinde gewählt, da sie der aktuell am häufigsten vorkommende Straßenbaum Berlins ist. Anders als bei den übrigen BGI-Maßnahmen gibt es hier keine Abstufung zwischen einem 100-%- und einem 50-%-Szenario. Stattdessen wird das Wachstum der neu gepflanzten Bäume berücksichtigt: Simuliert werden drei Zeithorizonte, die Baum-Szenarien 15 Jahre, 30 Jahre und 45 Jahre nach Pflanzung, sodass die Wirkung der Maßnahme in Abhängigkeit von der Baumentwicklung dargestellt werden kann.

Klimatische Szenarien:

Es wurden zwei klimatische Szenarien festgelegt, die den Klassifikationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entsprechen:

- **Sommertag:** Tag mit einem Temperaturmaximum von mindestens 25 °C. Als Sommertag wurde der 06.07.2025 ausgewählt.
- **Hitzetag (mit Tropennacht):** Tag mit einem Temperaturmaximum von mindestens 30 °C. Bei einer Tropennacht sinkt die Temperatur nachts nicht unter 20 °C. Am 15.08.2025 war genau dies der Fall, die Temperatur ist nachts nicht unter 20 °C gesunken und ist tagsüber auf über 30 °C gestiegen.

Für beide Tage werden die Messdaten der Wetterstation als meteorologische Eingangsdaten verwendet.

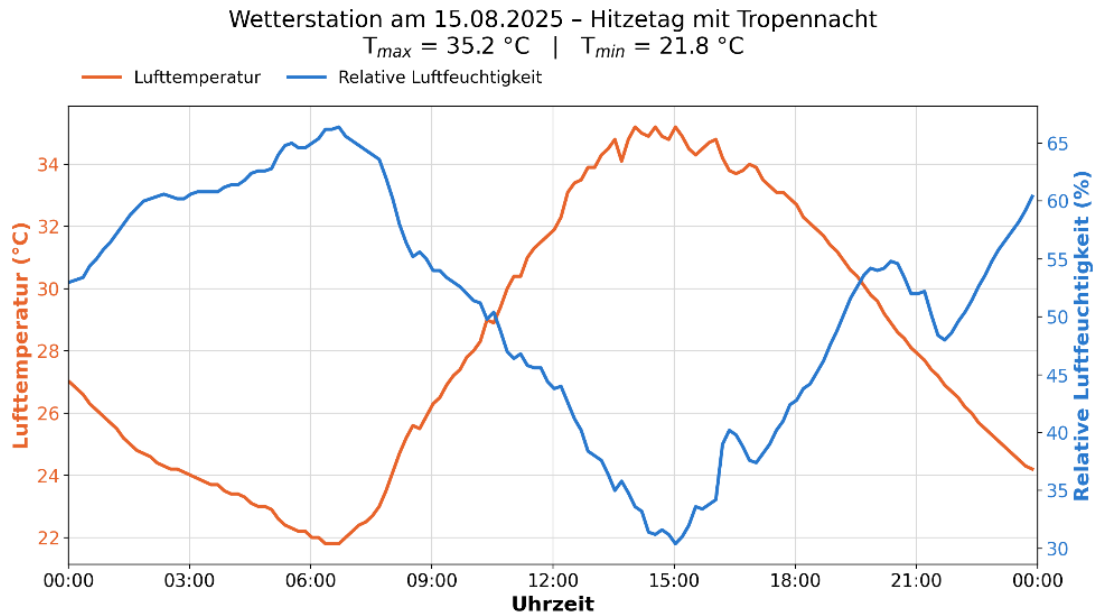


Abbildung 6: Input-Daten Hitzetag (15.08.2025) (Paul Schütz, 2025; KWB)

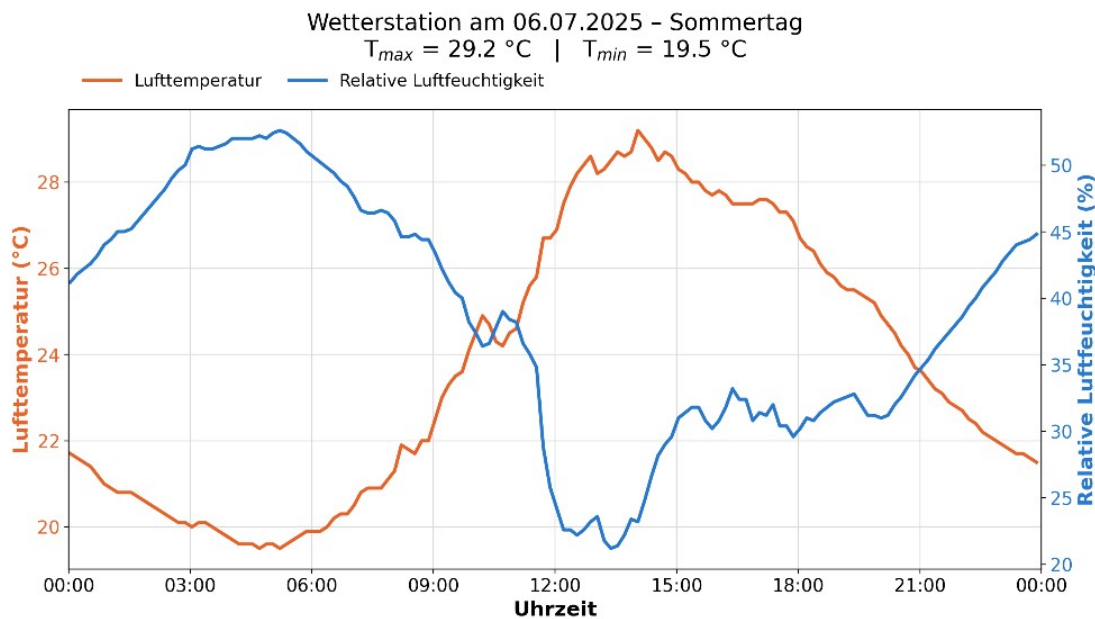


Abbildung 7: Input-Daten Sommertag (06.07.2025) (Paul Schütz, 2025; KWB)

Ergebnis-Darstellung im BGI-Planer

Die Simulationsergebnisse werden im BGI-Planer über mehrere Auswahlmöglichkeiten dargestellt, die frei kombiniert werden können. Die folgenden Absätze beschreiben die einzelnen Dimensionen; die konkrete Darstellung im BGI-Planer ist als Kartenansicht des Modellgebiets umgesetzt.

Absolut- und Deltadarstellung:

Die Ergebnisse können als Absolutwerte (z. B. Lufttemperatur im jeweiligen Szenario) oder als Delta-Darstellung angezeigt werden. Die Delta-Darstellung zeigt die Differenz zwischen einem BGI-Szenario und dem Ist-Zustand und macht damit die Wirkung der jeweiligen Maßnahme unmittelbar sichtbar.

Parameter:

Dargestellt werden folgende Parameter:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) als Maß für die thermische Belastung des Menschen im Außenraum

Weitere Auswahlmöglichkeiten:

- BGI-Umsetzungsgrad: Auswahl zwischen den Umsetzungsgraden der Maßnahmen (z. B. 50 % und 100 %)
- Uhrzeit: Auswertungszeitpunkte 4 Uhr, 14 Uhr und 22 Uhr
- Klimatische Bedingungen: Sommertag oder Hitzetag mit Tropennacht

Schnittebenen:

Die dreidimensionalen Ergebnisse können in verschiedenen Schnittebenen betrachtet werden:

- Horizontalschnitte (xy) in 2 m, 10 m und 24 m Höhe, der 2-m-Schnitt entspricht dabei der für den thermischen Komfort maßgeblichen Aufenthaltshöhe von Fußgängerinnen und Fußgängern
- Vertikalschnitte (xz und yz) durch das Modellgebiet, z. B. zur Darstellung von Straßenschluchten oder der vertikalen Temperaturschichtung

Limitierungen der Modellierungen

Wie jedes Modell bildet auch das hier beschriebene ENVI-met-Modell die Realität nur vereinfacht ab. Die Ergebnisse sind daher als belastbare Abschätzung der Wirkungsrichtung und Größenordnung blaugrüner Infrastrukturmaßnahmen zu verstehen, nicht als punktgenaue Vorhersage. Im Sinne einer transparenten Kommunikation werden die wesentlichen Limitierungen im Folgenden offen benannt.

Räumliche Auflösung: Mit einer Zellgröße von 2,5 m ist das Modell vergleichsweise kleinteilig aufgelöst und bildet einzelne Bäume, Höfe und Straßenräume ab. Für sehr kleinräumige Strukturen, etwa schmale Durchgänge, einzelne Sträucher, Vordächer oder kleinteilige Fassadendetails, ist diese Auflösung jedoch unter Umständen nicht fein genug. Effekte, die sich auf Skalen unterhalb der Zellgröße abspielen, können im Modell nur gemittelt oder gar nicht dargestellt werden.

Vereinfachte Gebäude- und Straßenraumdarstellung: Die Gebäude wurden ohne Fenster modelliert; Unterschiede im Strahlungs- und Wärmeverhalten zwischen Fenster- und Wandflächen (z. B. Reflexionen an Glasflächen) sind daher nicht berücksichtigt. Ebenso enthält das Modell keine parkenden oder fahrenden Autos.

Typisierung der Vegetation: Die Bäume wurden nicht als Individuen mit ihrer tatsächlichen Art, Kronenform und Belaubungsdichte abgebildet, sondern in sieben Höhenklassen mit jeweils 5 m Intervallen gruppiert. Vergleichbare Vereinfachungen gelten für weitere Vegetations- und Oberflächenelemente, etwa die Zusammenfassung der Bodenbeläge in sechs Typklassen.

Messbedingungen abweichend von WMO-Standards: Die Wind- und Temperaturmessungen des projekteigenen Messnetzes erfolgten nicht unter den von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) vorgeschriebenen Standardbedingungen. Die WMO-Richtlinien sehen u. a. definierte Messhöhen (Temperatur in 2 m, Wind in 10 m über Grund), freie Anströmung und einen ausreichenden Abstand zu Hindernissen und wärmespeichernden Oberflächen vor. Die Sensoren des Projekts wurden dagegen bewusst in Straßenzügen an charakteristischen Stadtstrukturen installiert, die Wetterstation auf einem Dach. Diese Standortwahl war für die Fragestellung, die Erfassung des tatsächlichen Mikroklimas im Quartier, sinnvoll, schränkt jedoch die direkte Vergleichbarkeit mit amtlichen Messstationen ein und kann systematische Abweichungen in den Eingangs- und Kalibrierungsdaten zur Folge haben.

Vereinfachter Winddaten: Wie beschrieben, wurden Windgeschwindigkeit und Windrichtung aus Stabilitätsgründen konstant gehalten (2 m/s). Reale Schwankungen des Windes im Tagesverlauf und deren Einfluss auf Durchlüftung und gefühlte Temperatur werden dadurch nicht abgebildet.

Wasserhaushaltsmodellierung

Modellgrundlage

Die Bewertung der Effekte blau-grüner Infrastruktur hinsichtlich des Wasserhaushalts im BGI-Planer erfolgt mithilfe des Open-Source-Modells ABIMO (Version 2.2.0). ABIMO berechnet auf Grundlage der Bagrov-Glugla-Methode für jede Blockteilfläche die jährlichen Werte der drei zentralen Komponenten des Wasserhaushalts: Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss. Im ersten Berechnungsschritt wird die tatsächliche Verdunstung ermittelt und daraus der Gesamtabfluss als Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung bestimmt. Anschließend wird der Oberflächenabfluss als Anteil des Gesamtabflusses berechnet. Die Differenz zwischen Gesamtabfluss und Oberflächenabfluss entspricht dem Versickerungsanteil.

Im Rahmen der Forschungsprojekte [SmartWater](#) und [AMAREX](#) wurde ABIMO weiterentwickelt und um die Abbildung einer breiten Auswahl blau-grüner Infrastrukturmaßnahmen erweitert. Der vollständige Quellcode wurde in die Programmiersprache R übertragen und als frei verfügbares R-Paket auf GitHub veröffentlicht.

Modellaufbau

Die Berechnung des Wasserhaushalts mit ABIMO basiert auf der Aufteilung der Blockteilflächen (ISU5) in spezifische Flächentypen, darunter Dachflächen, versiegelte Straßen- und Wegeflächen mit unterschiedlichen Oberflächenbelägen sowie unversiegelte Flächen.

Die von ABIMO benötigten Eingangsparameter umfassen insbesondere Informationen zu:

- der Flächen- und Bebauungsstruktur, beispielsweise Dächer, Straßen und befestigte Flächen,
- dem Klima, insbesondere Niederschlag und potenzielle Verdunstung,
- den Bodeneigenschaften, insbesondere der nutzbaren Feldkapazität, sowie
- der Vegetation, die über eine dimensionslose, mit der Vegetationsdichte zusammenhängende Kenngröße berücksichtigt wird.

Optional kann ABIMO außerdem eine Geometrie- bzw. Georeferenzierungsspalte, beispielsweise aus einer GeoPackage-Datei (.gpkg), verarbeiten. Diese räumlichen Informationen werden automatisch in die Modellergebnisse übernommen und ermöglichen anschließend deren kartografische bzw. räumliche Darstellung.

Die Input-Parameter von ABIMO sind ausführlich unter `kwb.rabimo – rabimo_inputs_2025` dokumentiert und die Berechnungsmethodik wird außerdem im [Umweltatlas Berlin](#) beschrieben.

Spezifische Funktionalitäten ermöglichen es, die Eingangsdaten der ABIMO-Modellierung über die Benutzeroberfläche des BGI-Planers gezielt zu verändern. Dadurch können die Auswirkungen geplanter BGI-Maßnahmen auf den Wasserhaushalt abgebildet werden.

Durch den Vergleich des modellierten Wasserhaushalts mit einem flächenspezifischen naturnahen Referenzzustand wird der Parameter ΔW bestimmt. Er quantifiziert die prozentuale Abweichung vom Referenzzustand und ermöglicht damit eine intuitive Bewertung des Veränderungsgrades. Als naturnahes Referenzszenario wird ein unversiegelter und unbebauter Zustand mit begrünten Flächen mit Baumbestand (ähnlich wie ein Stadtpark) angenommen.

Die Analyse von ΔW dient somit als einfaches Screening-Instrument, um Flächen zu identifizieren, die besonders stark zur Abweichung vom naturnahen Zustand beitragen und entsprechend einen erhöhten Bedarf an Anpassungsstrategien aufweisen.



Abbildung 8: Räumliche Verteilung der Wasserhaushaltsabweichung (ΔW) in einem Gebiet der Berliner Innenstadt (Francesco del Punta, 2026; KWB)

Für die Modellierung werden die im BGI-Planer verfügbaren Maßnahmen in folgende Kategorien zusammengefasst:

- **Dachbegrünung:** Begrünte Dächer werden als Dachflächen mit einem erhöhten Verdunstungspotenzial abgebildet. Dadurch erhöht sich der Anteil des Niederschlagswassers, der über die Verdunstung wieder an die Atmosphäre abgegeben wird.
- **Versickerungsmaßnahmen:** Sie werden über die an die jeweilige Anlage angeschlossene Fläche definiert, beispielsweise eine Dachfläche, deren Abfluss einer Versickerungsmulde zugeführt wird. Das auf der angeschlossenen Fläche anfallende Regenwasser wird dabei von der Oberflächenabfluss- in die Versickerungskomponente umgeleitet. Bei Versickerungsmaßnahmen mit Vegetationsbestand wird zusätzlich ein Anteil dieses Wassers über einen maßnahmenpezifischen Verdunstungsfaktor der Verdunstung zugerechnet.
- **Retentionsmaßnahmen zur Bewässerung (Zisterne):** Die Modellierung erfolgt grundsätzlich analog zu Versickerungsmaßnahmen. Der Verdunstungsfaktor wird jedoch auf 100 % gesetzt. Damit wird das zurückgehaltene Regenwasser vollständig der Verdunstungskomponente zugerechnet und nicht als Versickerung berücksichtigt. Auf diese Weise wird die Nutzung des gespeicherten Regenwassers zur Bewässerung vereinfacht im Wasserhaushaltsmodell abgebildet.
- **Bäume:** Das Hinzufügen neuer Bäume erhöht die Vegetationsintensität der jeweiligen Fläche, die im ABIMO-Modell über den Eingangsparameter `veg_class` beschrieben wird. Die erhöhte Vegetationsintensität führt zu einer höheren modellierten Verdunstung.

Gewässerbelastungsmodellierung

Modellgrundlage

Die Bewertung der Wirkung blau-grüner Infrastrukturmaßnahmen auf die Gewässerbelastung durch Mischwasserüberläufe basiert auf einer wissenschaftlich entwickelten [Modellkette](#) für das Berliner Mischwassersystem. Diese Modellkette kombiniert das hydrodynamische Berliner Kanalnetzmodell in InfoWorks ICM mit den Gewässermodellen GERRIS, HYDRAX und QSim sowie einem Bewertungssystem für die Sauerstoffbelastung der Gewässer. Mit dieser Modellkette werden die Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Regenabfluss, Mischwasserüberläufen und den daraus resultierenden Sauerstoffverhältnissen in den Berliner Fließgewässern abgebildet. Dadurch lässt sich bewerten, wie Veränderungen des Regenabflusses in der Mischkanalisation die Sauerstoffbelastung und damit verbundene fischkritische Zustände in den Gewässern beeinflussen.

Untersuchungsraum

Die Modellkette umfasst das gesamte Berliner Mischwassersystem mit rund 64.5 km² undurchlässiger Oberfläche. Berücksichtigt werden die 18 Mischwassereinzugsgebieten, 17 Hauptpumpwerke und 176 Mischwasserauslässe sowie die aufnehmenden Fließgewässer Berlins (siehe Abbildung 11).

Modellaufbau und Ableitung des vereinfachten Modells

Auf dieser Grundlage wurden verschiedene Abkopplungsszenarien simuliert, um zu untersuchen, wie sich die Abkopplung von Oberflächen und die damit verbundene Verringerung des Regenabflusses in die Mischkanalisation auf Mischwasserüberläufe und auf die Sauerstoffverhältnisse in den Gewässern auswirken.

Die Auswertung der Simulationsergebnisse zeigt einen engen Zusammenhang zwischen der Reduktion des Regenabflusses in die Mischkanalisation und der Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse in den Gewässern. Zur Beschreibung dieses Zusammenhangs wurde unter anderem eine Pearson-Korrelationsanalyse durchgeführt. Insbesondere die Kennwerte Unterschreitungsdauer in Stunden⁴ und Anzahl kritischer O₂-Ereignisse⁵ reagieren auf Veränderungen der Mischwasserbelastung und eignen sich daher zur Bewertung der Wirkung von BGI-Maßnahmen.

Beide Kennwerte beziehen sich auf eine Sauerstoffkonzentration von 1,5 mg/L. Dieser Wert wird für die in Berliner Gewässern vorkommenden Fischarten als fischkritisch betrachtet; bei niedrigeren Konzentrationen kann es zu Fischsterben kommen. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die Korrelationskoeffizienten der Pearson-Korrelation für die Berliner Gewässerabschnitte und die beiden Sauerstoff-Kennwerte.

⁴ Die Unterschreitungsdauer gibt an, wie lange der Sauerstoffgehalt unter festgelegten Schwellenwerten liegt. Dabei werden verschiedene Sauerstoffkonzentrationen betrachtet, um sowohl leichte als auch starke Sauerstoffdefizite zu erfassen. Ein Sauerstoffgehalt unter 1,5 mg/L gilt als fischkritisch und kann zu Fischsterben führen.

⁵ Die Anzahl kritischer O₂-Ereignisse beschreibt, wie häufig fischkritische Sauerstoffbedingungen auftreten. Als ein Ereignis wird dabei eine zusammenhängende Phase mit Sauerstoffkonzentrationen unter 1,5 mg/L gewertet. Erst nach einer Erholungsphase von mindestens fünf Tagen beginnt ein neues Ereignis.

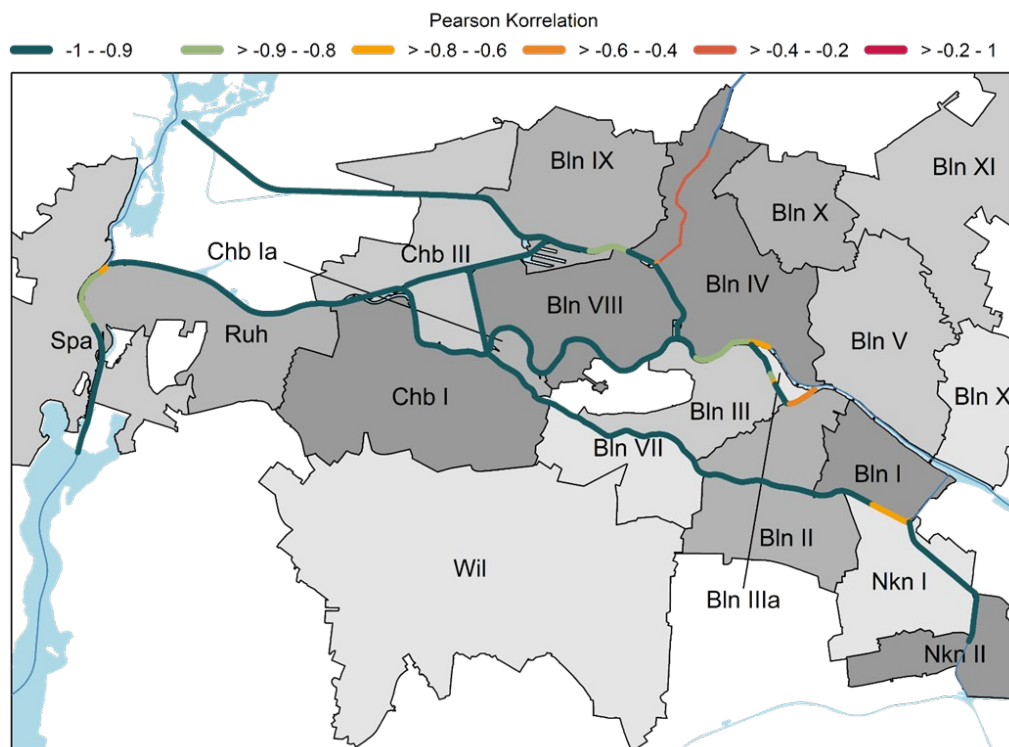


Abbildung 9: Pearson-Korrelation von Oberflächenabkopplung und dem Kennwert Unterschreitungsdauer in Stunden (1,5 mg/L) (Franziska Knoche, KWB; 2026)

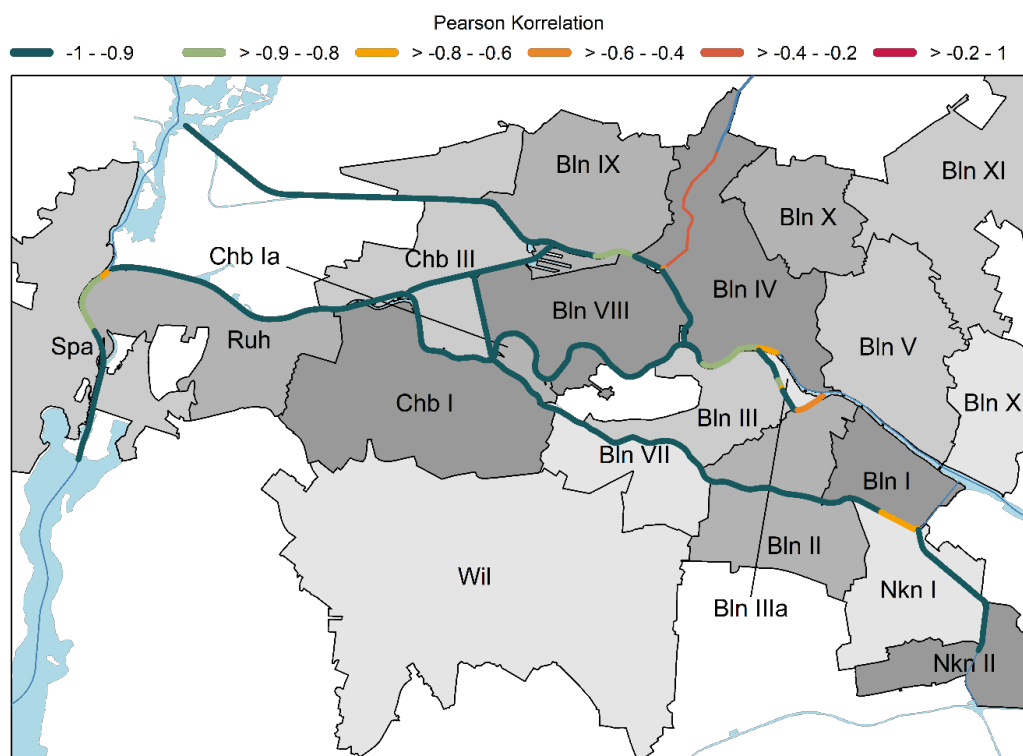


Abbildung 10: Pearson-Korrelation von Oberflächenabkopplung und dem Kennwert Kritische O₂-Ereignisse (1,5 mg/L) (Franziska Knoche, KWB; 2026)

Für den BGI-Planer wurden die Ergebnisse dieser Simulationen anschließend in ein vereinfachtes, datenbasiertes Berechnungsmodell überführt. Dieses ermöglicht eine direkte Berechnung der zu erwartenden Veränderung der Gewässerbelastung auf Basis der geplanten Oberflächenabkopplung. Aus den geplanten BGI-Maßnahmen wird zunächst die zu erwartende Verringerung des

Regenabflusses in die Mischkanalisation und daraus die Oberflächenabkopplung in Prozent ermittelt. Der Wert bezieht sich auf die jeweilige Fläche des gezeichneten Planungsgebiets. Für die Abschätzung der Gewässerwirkung wird dieser Wert anschließend auf die angeschlossenen versiegelten Flächen des gesamten Berliner Mischwassersystems übertragen. Über die aus den Modellrechnungen abgeleiteten Wirkungszusammenhänge zwischen Oberflächenabkopplung, Regenabfluss, Mischwasserüberläufen und Sauerstoffkennwerten wird anschließend die zu erwartende Veränderung der Gewässerbelastung berechnet.

Die so abgeleiteten Zusammenhänge ermöglichen eine direkte Abschätzung der Veränderung der Unterschreitungsdauer kritischer O_2 -Konzentrationen und der Anzahl kritischer O_2 -Ereignisse für das gesamte betrachtete Mischwassersystem. Dadurch können die Auswirkungen geplanter BGI-Maßnahmen unmittelbar im BGI-Planer bewertet werden, ohne dass für jede Planung eine erneute komplexe Simulation des gesamten Kanal- und Gewässersystems erforderlich ist.

Simulationen und Ergebnisdarstellung

Die Karte in Abbildung 11 zeigt die Belastungssituation der Berliner Gewässer im Referenzzustand (Ist-Zustand und Sanierungszustand des Mischkanalisationsnetzes 2024). Dargestellt ist die modellierte Belastung während 14 ausgewählter Niederschlagsereignisse aus den Jahren 2011 bis 2019, die zu Mischwasserüberläufen und kritischen Sauerstoffkonzentrationen in den Gewässern geführt haben. Die farbliche Darstellung der Gewässerabschnitte zeigt in Form von georeferenzierten Isolinien die räumliche Verteilung der Sauerstoffbelastung und dient als Referenz für die Bewertung der Wirkung geplanter blau-grüner Infrastrukturmaßnahmen.

Für die Bewertung werden die Ergebnisse anhand der beiden Kennwerte Unterschreitungsdauer in Stunden und Anzahl kritischer O_2 -Ereignisse ausgewertet. Eine geringere Unterschreitungsdauer und eine geringere Anzahl kritischer O_2 -Ereignisse entsprechen dabei einer geringeren Belastung der Gewässer durch Mischwasserüberläufe.

Für die berlinweite Vorher-Nachher-Darstellung werden die Ergebnisse der einzelnen Gewässerabschnitte zu einem Kennwert zusammengefasst. Für die Unterschreitungsdauer wird dabei der Median, für die Anzahl kritischer O_2 -Ereignisse der Mittelwert über die betrachteten Gewässerabschnitte verwendet. Die Kartendarstellung ermöglicht dagegen eine räumlich differenzierte Betrachtung der Ergebnisse für die einzelnen Gewässerabschnitte.

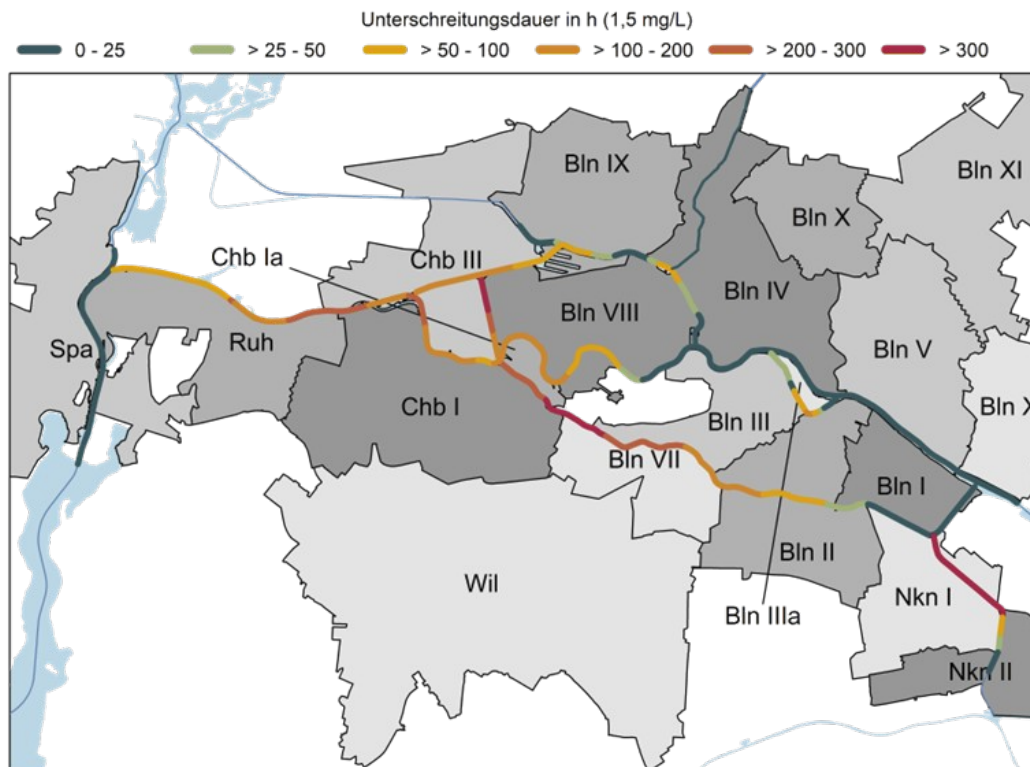


Abbildung 11: Modellierung der Gewässerbelastung, Ist-Zustand: Unterschreitungsdauer in Stunden für 14 reale Niederschlagsereignisse aus den Jahren 2011 bis 2019 mit Mischwasserüberläufen in die Berliner Fließgewässer ([Franziska Knoche et al., 2024](#); KWB)