FReWaB-PLUS

Mobilisierung von Bioziden in Stadtgebieten

















Manual

FReWaB-PLUS

Version 1.2

(März 2022)















Autoren:

Marcus Bork, Johannes Engel, Alexander Krämer, Jens Lange

WWL Umweltplanung und Geoinformatik GbR Mozartweg 8 79189 Bad Krozingen

Professur für Hydrologie Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br. Friedrichstraße 39 79098 Freiburg











Inhalt

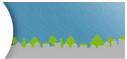
L	Einl	eitun	g	5
2	Für	die S	imulation benötigte Informationen	6
3	Nut	zung	von FReWaB -PLUS	б
	3.1	Star	ten der Software	6
	3.2	Gru	ndeinstellungen	7
	3.3	Aus	wahl Grundfläche / Einzugsgebiet	8
	3.4	Fläc	hen digitalisieren	9
	3.4.	1	Auswahl der Flächentypen	9
	3.4.	2	Erstellen von Gebäuden – Auswahl von Dachflächen und Fassaden	10
	3.4.	3	Einzeichnen der Flächentypen	12
	3.5	Erge	ebnisse – Ist-Zustand	13
	3.5.	1	Flächeninformationen	15
	3.5.	2	Output - Wasserbilanz für den gesamten Zeitraum	15
	3.5.	3	Output – Biozidauswaschung	17
	3.6	Var	ante erstellen	19
	3.7	Erge	ebnisse – Vergleich des "Ist-Zustands" mit einer neuen Variante	21
	3.8	Det	ailberechnungen (Tagesgenaue Werte)	23
	3.9	Erge	ebnisse - Detailberechnungen Wasserhaushalt und Biozidauswaschung	23
	3.10	We	tere Aktionen	23
	3.10	0.1	Direktlink	23
	3.10).2	Excel-Export	24
1	(Ma	then	natisches) Modell	25
	4.1	Abf	lussbildung in FReWaB-PLUS	26
	4.2	Bioz	zidauswaschung	27
	4.3	Inte	gration des Fassadenabflusses	28
	4.4	Ber	echnung der Biozidfrachten	29
5	Anv	vend	ungsbeispiel	30
	5.1	Gru	ndeinstellungen, Grundfläche und Flächentypen	30
	5.2	Fass	sadenparamter	31
	5.3	Fläc	heninformationen	33











	5.4	Ergebnisse – Wasserbilanz	. 35
	5.5	Ergebnisse – Biozidauswaschung	. 36
	5.6	Fazit	. 37
6	Anh	ang	. 38
	6.1	Verfügbare Oberflächentypen und ihre Koeffizienten	. 38
	6.2	Excel-Export: Erläuterung der Spaltennamen	. 39









1 Einleitung

In Stadtgebieten können Maßnahmen zur Regenwasserversickerung bei nicht ausreichender Barrierewirkung zu Grundwassereintragspfaden für biozide Wirkstoffe aus Bauprodukten (insbesondere Fassaden oder Schutzanstrichen) werden (**Abbildung 1**). Um dieses Risiko besser abschätzen zu können, wurde das Web-Modell FReWaB-PLUS¹ (Freiburger Regewasserbewirtschaftung – Plus Stofftransport) zur einfachen Simulation von Wassermengen und damit potentiell mobilisierten Biozidfrachten entwickelt.



Abbildung 1 Schema Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und Biozidauswaschung.

Für die Abflussbildung wurde ein modifizierter Ansatz auf Basis von Abflussbeiwerten kombiniert mit einem Speicher für Anfangsverluste implementiert, um eine einfache Übertragung auf andere Modellgebiete zu ermöglichen. Für die Verdunstung wurde ein Verdunstungsmodul nach dem Haude-Verfahren in das Modell integriert. Die Verteilung der Tageswerte der Verdunstung auf die im Modell vorhandenen kleineren Zeitschritte erfolgt anhand einer vom Sonnenstand / Einstrahlwinkel abhängigen Funktion. Zur Abschätzung von Zulauffrachten der Biozide Diuron, Terbutryn und Octhilinon werden aktuelle Literaturwerte zum gemessenen Austrag unter natürlichen Niederschlagsbedingungen verwendet, der vor allem vom Alter der betrachteten Fläche, bzw. vom Zeitpunkt der letzten Biozid-Behandlung abhängt.

¹ FReWaB-PLUS wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes MUTReWa (Maßnahmen zum nachhaltigeren Umgang mit Transformationsprodukten im Regionalen Wassermanagement) sowie des EU-Forschungsprojektes NAVEBGO (Nachhaltige Verringerung des Biozideintrags in das Grundwasser am Oberrhein) entwickelt. FReWaB-PLUS ist eine Weiterentwicklung von FReWaB, das im Rahmen eines vom Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG geförderten Forschungsprojektes entwickelt wurde.











Hinweis

Das Web-Modell FreWaB-PLUS basiert auf dem Einsatz von OpenSource Technologien (PostgreSQL, PostGIS, GeoServer) und wurde v.a. in PHP entwickelt. Es ist modular aufgebaut, um so auf künftige Anforderungen und Entwicklungen - v.a. bei der Implementierung - bestmöglich reagieren zu können.

Für die Simulation benötigte Informationen

Um eine Simulation des Wasserhaushalts und der Biozidauswaschung für ein Gebäude oder ein Stadtviertel durchführen zu können, benötigen Sie folgende Informationen: Fassadenhöhen der Gebäude, Informationen über die Beschaffenheit der Dach- und die Gebäude umgebenen Flächen sowie den gewünschten Berechnungszeitraum.

Nutzung von FReWaB -PLUS

Die Oberfläche von FReWaB-PLUS ist Web-basiert und kann in jedem gängigen Browser (Firefox, Chrome, Edge) genutzt werden.

3.1 Starten der Software

Wenn Sie das Fenster zum Simulationsmodell FReWaB-PLUS das erste Mal öffnen, sehen Sie die Schaltfläche "Neue Simulation", mit der Sie die Simulation starten können (Abbildung 2).



Abbildung 2 Starten einer neuen Simulation.





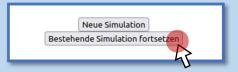








Wenn Sie bereits eine Simulation begonnen haben und später fortsetzen möchten, erscheint zu Beginn der Simulation die Schaltfläche "Bestehende Simulation fortsetzen". Falls die alte Simulation fortgesetzt werden soll, muss Java Script erlaubt sein und der Cache Ihres Browsers darf seit dem letzten Simulationslauf nicht gelöscht worden sein.



3.2 Grundeinstellungen

In einem Dropdownmenü (Abbildung 3, A) können Sie Ihre gewünschte Klimastation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auswählen. Im nächsten Schritt setzen Sie den Zeitraum, in dem Sie die Simulation durchführen möchten (Abbildung 3, B). Anschließend können Sie auswählen, ob Sie die Flächeninformationen auf einer Karte digitalisieren möchten, in diesem Fall zeichnen Sie die Flächen per Maus auf einer Google-Karte ein, oder ob Sie den Expertenmodus nutzen möchten (Abbildung 3, C). In diesem Fall haben Sie die Möglichkeit, die GIS-Schnittstelle von FReWaB-PLUS zu verwenden und die Flächeninformationen mit Hilfe von Shapefiles zu importieren. Wenden Sie sich dazu bitte mit Ihrer Anfrage an frewabplus@hydrology.uni-freiburg.de.

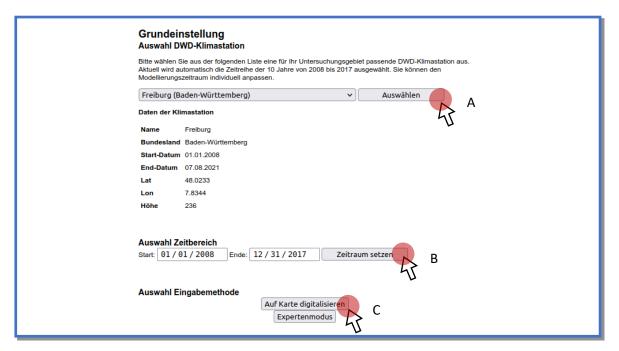


Abbildung 3 Grundeinstellungen für FReWaB-PLUS: Auswahl der Wetterdaten, des Zeitbereichs und der Eingabemethode.













Meteorologische Daten sind im Zeitraum 2008 bis 2021 für alle DWD-Klimastationen in Deutschland und drei weitere Stationen in Straßburg (Frankreich) verfügbar. Sollten Sie später für die Simulation einen Zeitraum auswählen, der die verfügbare Messreihe übertrifft, so werden für die Zeit bis 2008 mittlere jährliche Niederschläge angenommen, die graphisch nicht dargestellt werden.

3.3 Auswahl Grundfläche / Einzugsgebiet

Wenn Sie im vorherigen Schritt als Eingabemethode "Auf Karte digitalisieren" gewählt haben, können Sie nun die Grundfläche, für die die Simulation durchgeführt werden soll, einzeichnen. Hier müssen Sie zunächst mit Hilfe der Adresssuche oder der Karte (und den +/- Schaltflächen in der oberen linken Ecke) zu dem gewünschten Gebiet navigieren (**Abbildung 4**).



Abbildung 4 Auswahl der Grundfläche entweder durch eine Adresssuche und durch Auswahl in der Google-Karte.

Wenn Sie anschließend auf "Grundfläche zeichnen" klicken und den Mauszeiger in die Karte bewegen, erscheint ein schwarzer Kreis unterhalb des Mauszeigers. Nun können Sie die Grundfläche auf der Google-Karte einzeichnen. Mit jedem Klick der linken Maustaste setzen Sie einen Punkt der Grundfläche. Wenn Sie die Grundfläche fertig gezeichnet haben, setzen Sie mit einem Doppelklick den letzten Punkt. Die Farbe der Fläche wechselt von Rot nach Grün (Abbildung 5). Sie haben zunächst eine unbebaute Fläche, eine "Wiese", erstellt. Wenn Sie nun auf die "Weiter"-Schaltfläche links neben der Karte klicken, können Sie im nächsten Schritt die Fläche genauer definieren und Dach- sowie umliegende Verkehrs- und Grünflächen einzeichnen.











Abbildung 5 Grundfläche per Mausklicks einzeichnen und mit einem Doppelklick bestätigen (Farbe der Fläche wechselt von Rot zu Grün).

Falls die Grundfläche geändert werden soll, erscheint nach einem Linksklick in die grüne Fläche eine Schaltfläche "Größe ändern" (Abbildung 6). Wenn Sie auf die Schaltfläche klicken, erscheinen rote Punkte an den Kanten der Fläche, die Sie im Anschluss verschieben können. Sollten Sie mit dem Ergebnis zufrieden sein, bestätigen Sie es, indem Sie ins "Leere" neben die Fläche klicken.





Abbildung 6 Größe und Form der Grundfläche ändern.

Flächen digitalisieren 3.4

3.4.1 Auswahl der Flächentypen

Im Fenster "Digitalisierung Flächen" sehen Sie auf der linken Seite ein Menü, das die möglichen Flächentypen enthält. Diese unterteilen sich in die Kategorien "Dachfläche", "Grünfläche" und "Befestigte Fläche". Durch Klicken auf die jeweilige Kategorie öffnen sich die möglichen Flächentypen (Abbildung 7). Ein Klicken auf die Info-Buttons hinter den Flächentypen liefert Ihnen zusätzliche Informationen.











Abbildung 7 Auswahl der Flächentypen.

Die Grundfläche wird zunächst als eine natürliche Fläche (Wiese) angenommen, die Sie bebauen und gestalten können. Gebäude erstellen Sie indirekt, indem Sie die Dachflächen definieren (Für Details dazu siehe Abschnitt 4). Dabei beachtet das Modell nur Flächen, die innerhalb der Grundfläche liegen. Über die Grundfläche hinausragende Flächen werden daher automatisch abgeschnitten. In Dachflächen hineinragende Flächen werden ebenfalls automatisch abgeschnitten.

Erstellen von Gebäuden – Auswahl von Dachflächen und Fassaden

Durch Klicken auf den jeweiligen Flächentyp im Dropdownmenü links neben der Karte, wählen Sie die unterschiedlichen Flächentypen aus. Wenn Sie eine "Dachfläche" auswählen, erscheint zunächst ein Fenster, in dem Sie die Parameter für die Fassade eingeben müssen (Abbildung 8). Hier müssen Sie die durchschnittliche Fassadenhöhe (in m, gerundet auf ganze Zahlen ohne Nachkommastellen) sowie die Zeitpunkte der Fassadenanstriche im Versuchszeitraum (in Jahren und durch Kommata getrennt) angeben.

HINWEIS

Wenn Sie eine Fassade simulieren möchten, die keine Biozide emittiert (z.B. weil sie nicht mit einer Biozid-haltigen Farbe gestrichen ist oder aus anderen Materialien wie Glas oder Backstein besteht), muss eine Fassadenhöhe von 0 m eingeben werden. In diesem Fall wird kein Biozid-haltiger Abfluss von den entsprechenden Gebäudefassaden durch FReWaB-PLUS gebildet. Besteht beispielsweise 50% der Fassade eines Gebäudes aus Backstein, muss die Fassadenhöhe mit der Hälfte der tatsächlichen Höhe angegeben werden. Bei anderen prozentualen Anteilen einer Biozid-freien Fassade muss analog vorgegangen werden.









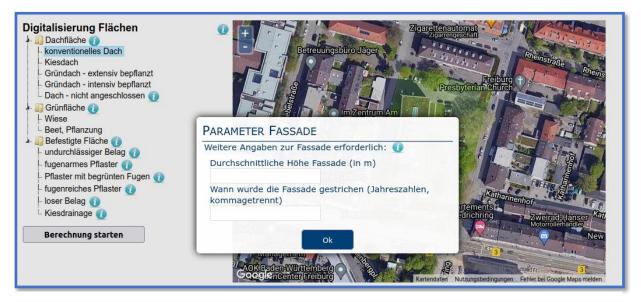


Abbildung 8 Eingabefenster für die Parameter der Dach- bzw. Fassadenflächen.

Die Fassadenhöhe ist ein durchschnittlicher Wert für alle Fassadenseiten an einem Haus (Dachflächen). Sie dient zur Berechnung der Fassadenfläche (Fassadenfläche = Umfang der Dachfläche x Fassadenhöhe). Dabei werden Fassadenflächen, die aneinandergrenzen (z.B. bei Reihenhäusern) nicht beachtet, auch wenn die Flächen selber direkt aneinandergrenzen. Die Fassadenhöhe muss dabei gerundet auf ganze Zahlen, also ohne Dezimalzahlen, angegeben werden. Das Fassadenalter wird als Jahreszahl angegeben und ist der Zeitpunkt des letzten Anstrichs. Die Jahreszahlen der letzten Anstriche werden durch Kommata getrennt und als Dezimalzahlen angegeben: z.B. 2000, 2015. Das Alter der Fassade ist wichtig um abzuschätzen wie viel Biozide schon ausgewaschen wurden. Die meisten Biozide werden direkt nach dem Anstrich ausgewaschen. Dieser Wert nimmt dann mit der Zeit ab. Liegt diese Information nicht vor, müssen sie eine sinnvolle Abschätzung treffen.









3.4.3 Einzeichnen der Flächentypen

Nachdem der gewünschte Flächentyp im Dropdownmenü ausgewählt wurde, erfolgt das Einzeichnen der entsprechenden Fläche in der Karte analog zum Einzeichnen der Grundfläche mit Hilfe der Maus (Abschnitt 3.3). Ein Doppelklick beendet dabei das Einzeichnen der Fläche (Abbildung 9).



Abbildung 9 Einzeichnen der verschiedenen Dach-, Grün- und befestigten Flächen.

Wenn Sie nun mit dem Mauszeiger über die eingezeichneten Flächen gehen, erscheint eine Sprechblase, die Informationen zu Typ und Größe der Fläche sowie, im Fall der Dachflächen, zusätzlich die eingegebene Gebäudehöhe und das Fassadenalter enthält (**Abbildung 10**).

Haben Sie alle Flächen eingetragen, klicken Sie auf "Berechnung starten", um die Simulation zu starten (**Abbildung 9**).

HINWEIS

Um die einzelnen Flächen erneut zu bearbeiten, müssen Sie mit der Maus in die entsprechende Fläche klicken. Anschließend erscheint ein Menü, in dem Sie die Größe bzw. den Typ ("Flächenzuweisung") der Fläche ändern oder die Fläche löschen können (Abbildung 10).



Abbildung 10 Löschen oder Änderung von Größe und Typ einer Fläche.











Flächentypen und ihre Bedeutung für den Wasserhaushalt

Grundsätzlich unterscheiden sich die Flächentypen in ihrer Aufteilung in Verdunstung, Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildung. Beispielsweise fließt auf einem konventionellen Dach das Wasser hauptsächlich ab und die Verdunstung ist klein. Auf einem intensiv genutzten Gründach dagegen wird viel Wasser zurückgehalten und kann verdunsten, sodass nur ein geringer Teil über die Regenrinnen abfließt. Vergleicht man die befestigten Flächen, bilden ein undurchlässiger Belag, wie z.B. Asphalt, und eine Kiesdrainage zwei Enden eines Spektrums: während auf einem Asphalt der Oberflächenabfluss hoch ist, kann bei einer Kiesdrainage der Großteil des Niederschlagswassers direkt ins Grundwasser versickern. Gleichzeitig gilt: je größer und je höher der Anteil der Fugen im Pflaster einer teilversiegelten Fläche, desto geringer der Oberflächenabfluss und desto höher die Versickerung. Eine Bepflanzung, z.B. von Pflasterfugen, erhöht wiederum die Verdunstung. Darüber hinaus wird in FReWaB-PLUS die Annahme getroffen, dass Biozide in den Böden der Wiesen und Beetflächen durch Sorption, also der Anlagerung an den Bodenteilchen, dort zurückgehalten werden.

In Tabelle 2 im Anhang (Abschnitt 6.1) finden Sie die verschiedenen Werte für den Modellparameter a sowie den Verdunstungsspeicher IL, die Maße dafür sind wie sich das Niederschlagswasser in Verdunstung, Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildung aufteilt (nähere Erläuterungen dazu in Abschnitt 3.10).

Ergebnisse – Ist-Zustand

Nach kurzer Zeit ist die Berechnung abgeschlossen und unterhalb der Karte erscheinen nun die 3 Spalten "Natürliche Fläche", "Ist-Zustand" und "Variante" (Abbildung 11). Durch Klicken auf die Info-Buttons neben den Spaltentiteln erhalten Sie weitere Informationen.

Für die Variante "Natürliche Fläche", wird der Wasserhaushalt der eingezeichneten Grundfläche ausschließlich für den Flächentyp "Wiese" berechnet. Hier wird die Annahme getroffen, dass diese Fläche nicht bebaut ist. Durch Klicken auf die Schaltfläche "Bearbeiten" in dieser Spalte werden Sie zum Fenster "Auswahl Grundfläche/Einzugsgebiet" zurückgeführt, wo Sie die Grundfläche ändern können. Die Variante "Ist-Zustand" zeigt die Ergebnisse für die eingezeichneten urbanen Flächen. Zusätzlich besteht in der dritten Spalte rechts ("Variante") die Möglichkeit, eine weitere Berechnung unter veränderten Bedingungen, also z.B. eine zukünftige Planung, zu berechnen und zu vergleichen (nähere Infos in Abschnitt 3.6).











Abbildung 11 Fünf neue Abschnitte, die nach der Berechnung unterhalb der Karte erscheinen.

Insgesamt besteht der Ergebnisteil von FReWaB-PLUS aus 5 Abschnitten (Abbildung 11): die Informationen (Art und Größe) zu den eingezeichneten Flächen (Abschnitt 3.5.1, Abbildung 12), die Wasserbilanz für den gesamten Berechnungszeitraum sowie die Ganglinien Wasserhaushaltsgrößen (Abschnitt 3.5.2, Abbildung 13), die ausgewaschenen Biozidmengen (Abschnitt 3.5.3, Abbildung 16), das Bearbeitungsfenster für weitere Detailberechnungen (Abschnitt 3.8, Abbildung 24), den Direktlink zur erneuten Aufrufen der Simulation und den Button für den Export der Daten (Abschnitt 3.10) sowie ein Hinweis auf die Grenzen der Ergebnisse.









Die vorliegenden Berechnungen beruhen auf stark verallgemeinerten Annahmen und Schätzungen an die Beschaffenheit und Ausprägung des Untergrundes, des Dachsubstrates und der durchlässigen Flächen. Die tatsächlichen Gegebenheiten eines bestimmten Standortes hinsichtlich Durchlässigkeit, Hangneigung und Abstand zum Grundwasser müssen standortspezifisch beurteilt werden.

Die Bilanzgröße Grundwasserneubildung fasst Perkolation und Zwischenabfluss zusammen, da von einer flachen Topgraphie ausgegangen wird. Ein kapillarer Aufstieg des Grundwassers wurde nicht berücksichtigt. Die Bilanzgröße Abfluss beschreibt hier den oberflächig abfließenden Niederschlag.

Die Simulation mit FReWaB-PLUS soll lediglich der Veranschaulichung relativer Effekte von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf die Wasserbilanz dienen und ist nicht für eventuelle Planungen oder Bau geeignet. Grundwasserstände sind bei allen Berechnungen nicht berücksichtigt. Für alle Angaben besteht keinerlei Gewähr!

3.5.1 Flächeninformationen

Im Abschnitt "Flächeninformationen" finden Sie die Informationen zu den eingezeichneten Flächen (**Abbildung 12**). In der linken Spalte ("Natürliche Fläche") finden Sie die Gesamtfläche, in der mittleren Spalte die Flächentypen und -größen der Flächen des "Ist-Zustands" und in der rechten Spalte erscheinen die Informationen für die eine zusätzliche Variante (siehe **Abschnitt 3.6**).



Abbildung 12 Informationen zu den eingezeichneten Flächen.

3.5.2 Output - Wasserbilanz für den gesamten Zeitraum

Im Abschnitt unter den Flächeninformationen werden die Ergebnisse für den Wasserhaushalt angezeigt (Abbildung 13). Neben einer kurzen Erläuterung der Aufteilung des Niederschlags in Abfluss, Versickerung bzw. Grundwasserneubildung und Verdunstung finden Sie in einem Balkendiagramm die prozentuale Aufteilung dieser Wasserhaushaltsgrößen für den gesamten Berechnungszeitraum. Optional können Sie mit einem Klick auf die Schaltfläche "Einblenden" unterhalb des Balkendiagrams eine Tabelle ausklappen, in der Sie sich die Werte für die Wasserhaushaltsgrößen für die einzelnen Jahre ihres Berechnungszeitraumes anzeigen lassen können. Zunächst werden die Werte für jedes Jahr des Berechnungszeitraums dargestellt. Die Möglichkeit darüber hinaus (tagesgenaue) Detailberechnung durchzuführen ist in Abschnitt 3.8 (Abbildung 24) beschrieben.









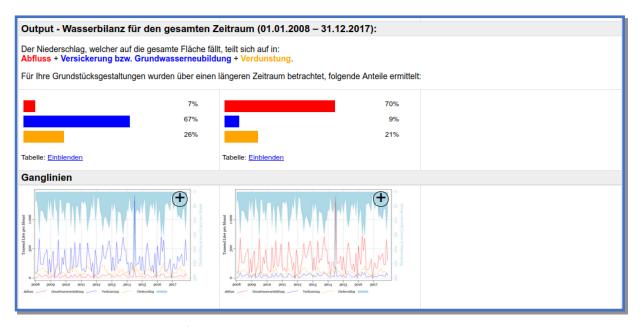


Abbildung 13 Wasserbilanz für den gesamten Berechnungszeitraum.

Der Niederschlag, der auf die gesamte Fläche fällt, teilt sich auf in (Oberflächen-)Abfluss, Versickerung bzw. Grundwasserneubildung und Verdunstung.

Wasserbilanz:

Niederschlag = Abfluss + Versickerung bzw. Grundwasserneubildung + Verdunstung

Der Abfluss stellt das Wasser dar, das oberflächlich auf versiegelten oder teilversiegelten (und zu geringen Teilen auch auf begrünten Flächen) von der Fläche abfließt. Bei versiegelten Flächen ist dieser Anteil entsprechend höher als bei teilversiegelten Flächen.

Versickerung bzw. Grundwasserneubildung ist der Anteil des Wassers der durch teilversiegelte oder begrünte Flächen in den Boden eindringt und, falls die Wassermenge ausreichend groß ist, zur Grundwasserneubildung führen kann.

Die Verdunstung ist der Wasseranteil, der wieder in die Atmosphäre verdampft.

Ganglinien

Im Abschnitt "Ganglinien" findet man zusätzlich die Daten der Wasserhaushaltsgrößen in Diagrammen dargestellt (Abbildung 14). In den Diagrammen sind die Daten in einer monatlichen Auflösung dargestellt. Durch einen Klick auf das "+"-Symbol in der rechten oberen Ecke der Diagramme können diese geöffnet und groß dargestellt werden.









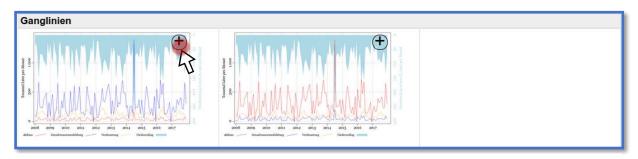
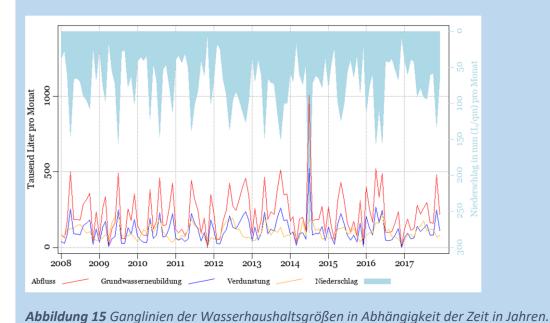


Abbildung 14 Ganglinien der Wasserhaushaltsgrößen.

Die **Ganglinien des Wasserhaushalts** (**Abbildung 15**) zeigen die Größen Abfluss, Grundwasserneubildung (bzw. Versickerung), die Verdunstung sowie den Niederschlag. Auf der x-Achse ist die Zeit in Jahren dargestellt, auf der linken y-Achse die Wassermenge in Tausend Liter pro Monat und auf der rechten y-Achse die Niederschlagsmenge in mm (L / m²) pro Monat. Alle Größen beziehen sich auf die Gesamtfläche.



3.5.3 Output – Biozidauswaschung

Unterhalb der Wasserhaushaltsgrößen werden die Ergebnisse zur Biozidauswaschung angezeigt (**Abbildung 16**). Analog zur Darstellung der Wasserhaushaltsgrößen, werden die ausgewaschenen Biozidmengen zunächst in Form von Diagrammen dargestellt (siehe **Abbildung 17** sowie der zugehörige Hinweiskasten zu den Ganglinien der Biozidauswaschung). Darüber hinaus können Sie sich die Daten optional mit einem Klick auf die Schaltfläche "Einblenden" unterhalb der Diagramme in Form einer Tabelle für die einzelnen Jahre anzeigen lassen. Hier werden die Werte der Biozidmengen im Oberflächenabfluss und im Grundwasser für die einzelnen Jahre aufgelistet.











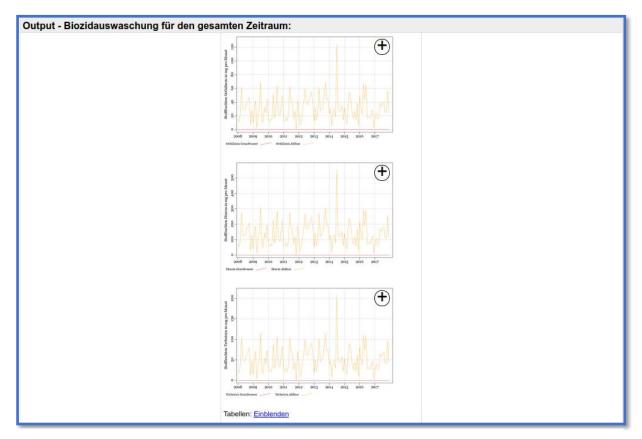


Abbildung 16 Ergebnisse zur Biozidauswaschung für den berechneten Zeitraum.

Biozidauswaschung:

Nachdem die Biozide vom Niederschlag aus der Fassade ausgewaschen worden sind, befinden sie sich entweder im oberflächlich abfließenden Wasser ("Abfluss", **Abbildung 17**) oder im versickernden Wasser ("Grundwasser", **Abbildung 17**). Ein Anteil der Biozide im verdunstenden Wasser entfällt, da die Annahme getroffen wurde, dass die Biozide nicht verdampfen (lediglich das Wasser verdunstet). Wenn das versickernde Wasser dann eine ausreichende Menge erreicht hat und somit zur Grundwasserneubildung beiträgt, können die Biozide auch ins Grundwasser ausgewaschen werden.









Die Ganglinien der Biozidauswaschung (Abbildung 17), hier für das Biozid Terbutryn dargestellt. Auf der x-Achse ist die Zeit in Jahren dargestellt, auf der y-Achse die ausgewaschene Biozidmenge in mg pro Monat. Die rote Linie stellt die berechnete Biozidmenge im Sickerwasser ("Grundwasser") und die gelbe Linie die berechnete Biozidmenge im Oberflächenabfluss dar. Alle Größen beziehen sich auf die Gesamtfläche.

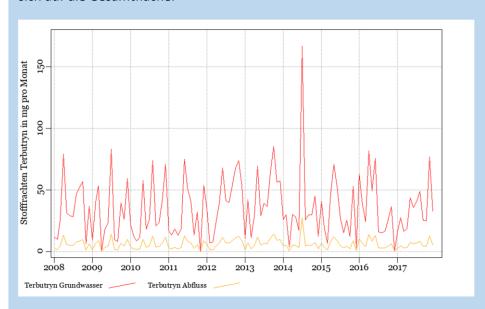


Abbildung 17 Ganglinien der ausgewaschenen Biozide. Hier die ausgewaschene Biozidmenge für Terbutryn in mg pro Monat in Abhängigkeit der Zeit in Jahren.

3.6 Variante erstellen

Um eine neue Variante, z.B. für eine zukünftige Planung, zu erstellen, klicken Sie in der rechten Spalte unter Variante auf die Schaltfläche "Neu" (Abbildung 18).



Abbildung 18 Erstellen einer neuen Variante.











Es erscheint zunächst ein Fenster in dem Sie auswählen können, ob Sie eine komplett neue Fläche anlegen möchten (Schaltfläche "Leer") oder ob Sie den "Ist-Zustand" kopieren möchten und diesen dann editieren möchten (Schaltfläche "Kopie") (Abbildung 19).

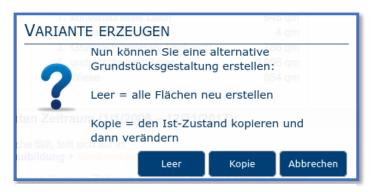


Abbildung 19 Auswahl der Variante, die Sie neu berechnen wollen (Neue Fläche erstellen oder den "Ist-Zustand" bearbeiten).

Wenn Sie sich für die Variante "Leer" entscheiden (Abbildung 20, links), starten Sie wieder bei der Grundfläche und können dort, wie in Abschnitt 3.4 ("Flächen digitalisieren") beschrieben, die verschiedenen Flächentypen einzeichnen.

Wenn Sie sich für die Variante "Kopie" entscheiden (Abbildung 20, rechts), starten Sie bei den bereits eingezeichneten Flächentypen und können diese, wie in der Hinweis-Box in Abschnitt 3.4.3 (Abbildung 10) beschrieben, verändern.





Abbildung 20 Links: Auswahl der Variante "Leer" (Neue Fläche erstellen); Rechts: Auswahl der Variante "Kopie" ("Ist-Zustand" bearbeiten).

Wenn Sie die Flächen ihrer neuen Variante entsprechend angepasst haben, starten Sie die neue Berechnung, indem Sie auf die Schaltfläche "Berechnung starten" links neben der Karte klicken (Abbildung 21).











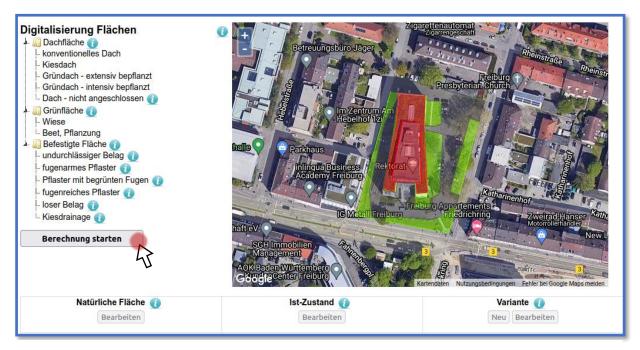


Abbildung 21 Berechnung der neuen Variante starten.

Ergebnisse – Vergleich des "Ist-Zustands" mit einer neuen Variante

Wenn die Berechnung für die neue Variante abgeschlossen ist, erscheinen erneut die fünf Abschnitte zu den Informationen (Art und Größe) der eingezeichneten Flächen, zur Wasserbilanz für den gesamten Berechnungszeitraum, die Ganglinien der Wasserhaushaltsgrößen, die Daten zur Biozidauswaschung, das Bearbeitungsfenster für weitere Detailberechnungen und die weiteren Möglichkeiten (Direktlink und Excel-Export) (Abbildung 22). Diesmal erscheinen in der dritten Spalte zusätzlich die Ergebnisse der neuen Variante und können direkt mit den Ergebnissen des "Ist-Zustands" verglichen werden.









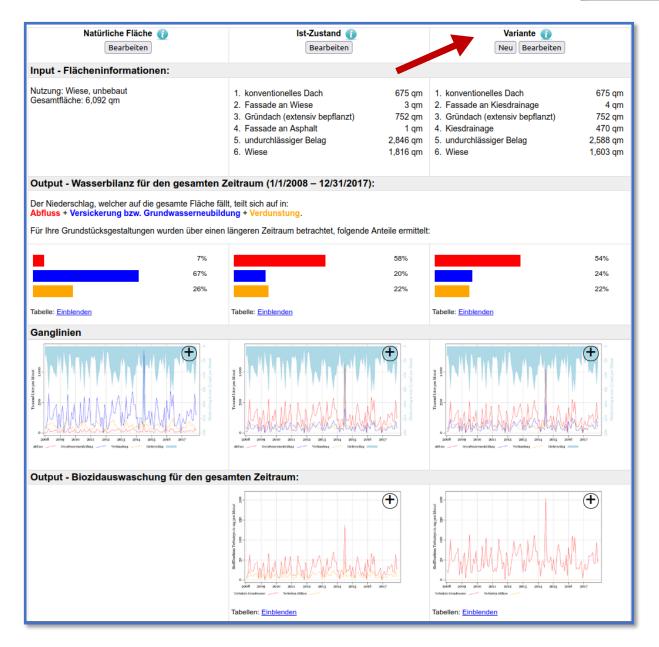


Abbildung 22 Ergebnisse der Berechnung der neuen Variante.

HINWEIS Sie können die "natürliche Fläche", den "Ist-Zustand" oder die neue "Variante" erneut bearbeitet und berechnen lassen (Abbildung 23). Natürliche Fläche 👔 Ist-Zustand 📵 Variante 📵 Bearbeiten Bearbeiten Neu Bearbeiten Abbildung 23 Weitere Bearbeitungen der verschiedenen Varianten sind möglich.











3.8 Detailberechnungen (Tagesgenaue Werte)

Wenn Sie die Berechnung für eine bestimmte Zeit in einer tagesgenauen Auflösung durchführen möchten, haben Sie dazu im Abschnitt "Detailberechnungen" die Möglichkeit (**Abbildung 24**). Hier können Sie Startdatum und Dauer der Berechnung frei wählen. So kann z.B. das Verhalten der Wasserhaushaltsgrößen und der ausgewaschenen Biozidmengen auf einzelne Niederschlagsereignisse detailliert nachvollzogen werden.

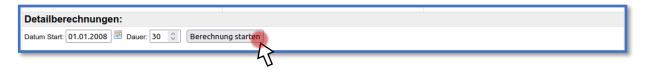


Abbildung 24 Detailberechnungen (Tagesgenaue Werte).

3.9 Ergebnisse - Detailberechnungen Wasserhaushalt und Biozidauswaschung

Nach kurzer Berechnungszeit erhalten Sie erneut Diagramme für den Abfluss, die Versickerung bzw. Grundwasserneubildung und die Verdunstung sowie die ausgewaschenen Biozidmengen in einer täglichen Auflösung (**Abbildung 25**). Hier haben Sie wieder die Möglichkeit die Diagramme durch einen Klick auf das "+"-Symbol in der rechten oberen Ecke zu öffnen und größer darzustellen.

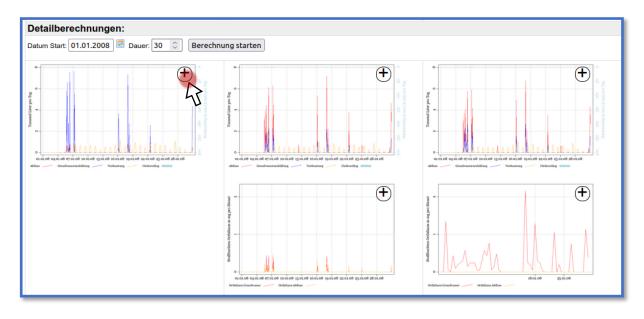


Abbildung 25 Ergebnisse der Detailberechnungen (tagesgenau) für die Wasserhaushaltsgrößen Abfluss, Versickerung bzw. Grundwasserneubildung und Verdunstung sowie die Biozidauswaschung.

3.10 Weitere Aktionen

3.10.1 Direktlink

Mit dem Direktlink (z.B.: https://www.biozidauswaschung.de/?page=simulation_map&load_id=1280) können Sie eine Simulation, die Sie einmal durchgeführt haben, wieder abrufen und weiterbearbeiten. Das funktioniert auch, wenn die Cookies ihres Browsers bereits gelöscht wurden, da die Daten unter der entsprechenden ID (Zahl am Ende des Links) auf dem Server von FReWaB-PLUS gespeichert sind.













3.10.2 Excel-Export

Hier können Sie die Daten ihrer Simulation in ein .xlsx-Tabellenformat exportieren. Im Anhang (**Abschnitt 6.2**) finden Sie eine Erläuterung der Tabellenblätter und Spaltennamen der exportierten Excel-Tabelle.









(Mathematisches) Modell

FReWaB-PLUS nutzt verschiedene meteorologische Inputdaten, wie Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte und den Sonnenstand, die für Deutschland aus Datensätzen von Klimastationen des DWD (Deutscher Wetterdienst) entnommen werden. Die Inputdaten für die Flächenparametrisierung können dem Modell in Form von GIS-Daten (Shape-files) oder manuell durch Einzeichnung auf einer Google-Karte übergeben werden (siehe Abschnitt 3.2). Das Modell berechnet dann die Aufteilung des **Niederschlags** auf die verschiedenen Wasserhaushaltskomponenten Verdunstung, Grundwasserneubildung (Versickerung) und Oberflächenabfluss entsprechend verschiedener Flächentypen wie z.B. Wiese, Hausdach, Asphalt etc. und während diskreter Zeitschritte. Die Auswaschung der Biozide Diuron, Terbutryn und OIT aus den Häuserfassaden wird an Hand von Literaturwerten in Abhängigkeit der Fassadenfläche und des Fassadenalters abgeschätzt. Der Modelloutput besteht dann aus Informationen zu den drei Wasserhaushaltskomponenten sowie den Biozidfrachten in Abhängigkeit dieser drei Komponenten (Abbildung 26). Im Folgenden wird die Berechnung der Wasserhaushaltskomponenten sowie der Biozidfrachten näher erläutert.

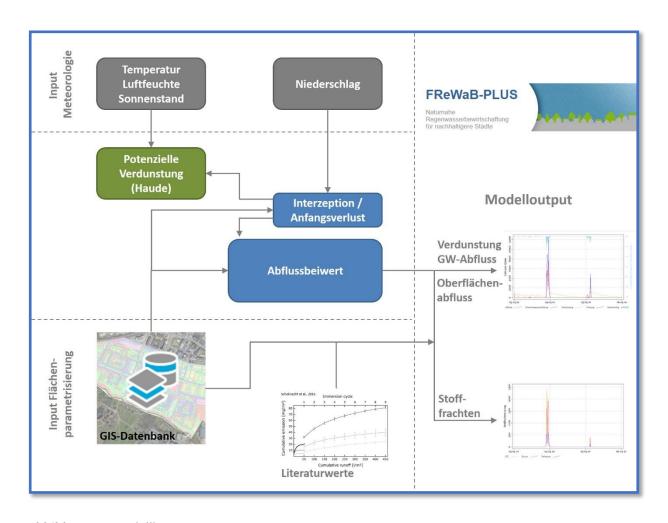


Abbildung 26 Modellkonzept von FReWaB-PLUS.











Abflussbildung in FReWaB-PLUS

Wenn Niederschlag auf eine Stadt fällt, wird das Wasser dort häufig zunächst zurückgehalten und verdunstet, versickert bzw. fließt nur verzögert oberflächlich ab. Zeit und Umfang dieser Verzögerung hängen von den unterschiedlichen Oberflächen, wie z.B. Ziegel- oder extensiv begrünten Dachflächen, Asphalt- oder Wiesenflächen etc. ab. Deshalb wird der Niederschlag in FReWaB-PLUS zunächst in einem sogenannten Verdunstungsspeicher (IL: Initial-Loss-Speicher) zwischengespeichert (Abbildung 27). Die Größe dieses Verdunstungsspeichers hängt von der Wasseraufnahmefähigkeit verschiedener Oberflächentypen und -materialen ab (Tabelle 2). Die maximale Verdunstung von Wasser aus dem Verdunstungsspeicher, auch potentielle Evapotranspiration ET_p (mm x d⁻¹; Evaporation = Verdunstung von Oberflächen, Transpiration = Verdunstung der Vegetation) genannt, wird im Modell durch das HAUDE-Verfahren berechnet:

$$ET_p = k_h \times e_S \times \left(1 - \frac{F}{100}\right)$$

$$mit: e_S = 6.11 \times e^{\left(\frac{17,62 \times T}{243,12 + T}\right)}$$
(1)

Der Parameter kh (mm d⁻¹ x mbar) ist dabei der experimentell bestimmte konstante HAUDE-Faktor, der abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren, wie dem Oberflächentyp, ist und tage- bzw. monatsweise bestimmt wird (Tabelle 1). Darüber hinaus geht die relative Luftfeuchtigkeit F (%) sowie der Sättigungsdampfdruck der Luft um 14 Uhr es (hPa) in die Rechnung ein. Letzterer ist wiederum abhängig von der Lufttemperatur T (K) ab.

Tabelle 1 Monats-abhängige konstante HAUDE-Faktoren.

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
0.20	0.20	0.25	0.29	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.20

Die Verdunstung aus dem Verdunstungsspeicher ist abhängig von seinen Füllstand IL (mm) und nimmt ab, wenn dieser kleiner wird. Deshalb wird die reale Verdunstung V (mm) in Abhängigkeit der potentielle Evapotranspiration, der maximalen Größe ILmax (mm) und des Füllstandes IL des Verdunstungsspeichers wie folgt berechnet:

$$V = IL \times \left(1 - e^{\left(-\frac{ET_P}{IL_{max}}\right)}\right) \tag{2}$$

Wenn mehr Niederschlag auf eine Fläche fällt, als diese speichern kann (IL > ILmax), fließt das Wasser entweder oberflächlich ab (Abfluss) oder versickert Richtung Grundwasser (Grundwasserneubildung). Im Modell FReWaB-PLUS wird das aus dem Verdunstungsspeicher überlaufende Niederschlagswasser ("Überschuss") dann durch einen Modellparameter a (-) in Oberflächenabfluss A (mm) und Grundwasserneubildung G (mm) aufgeteilt:











$$A = Überschuss \times a \tag{3}$$

$$G = Überschuss \times (1 - a) \tag{4}$$

Der Modellparameter a kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen und hängt wesentlich vom Oberflächentyp ab (). Auf herkömmlichem Asphalt wird ein Großteil des Niederschlagswassers oberflächlich abfließen, was a Werte nahe 1 annehmen lässt. In einer Kiesdrainage wiederum versickert Wasser häufig sehr schnell, was dann eher zu Werten für a nahe 0 führt. Die Werte für die Oberflächentypen-abhängigen Parameter IL (Verdunstungsspeicher) und a wurden an Hand von Literaturwerten ermittelt und angepasst.

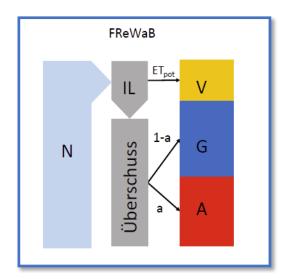


Abbildung 27 Integration der Abflussbildung in das Modell FReWaB-PLUS. N: Niederschlag; IL: Initial-Loss-Speicher; ET_{pot}: Potentielle Evapotranspiration; V: Verdunstung; G: Grundwasserneubildung; A: (Oberflächen-) abfluss. a: Anteil des nichtverdunsteten Niederschlags.

4.2 Biozidauswaschung

Wenn der Regen auf die Fassade trifft, wird die obere Schicht der Fassade befeuchtet. Biozide, die in der Fassadenfarbe enthalten sind, werden durch das Regewasser gelöst und diffundieren langsam an die Fassadenoberfläche. Hier können sie durch das von der Fassade ablaufende Regenwasser abgewaschen werden.

Wenn der Initial-Loss-Speicher der Fassade maximal gefüllt ist und Abfluss im Modell erzeugt wird, wird auch Biozid aus der Fassade ausgewaschen. Die aus der Fassade ausgewaschene Biozidmenge $S_{released}$ (mg x m⁻²) wird dann in FReWaB-PLUS wie folgt berechnet:









$$S_{released} = S_{max} \times \left(e^{\left(-k_{\text{release}} \times A_{total}\right)}\right)$$
 (5)

wobei S_{max} (mg x m⁻²) die maximal mögliche auszuwaschende Biozidmenge darstellt, k_{release} (m² x L) ein Stoff-spezifischer Faktor ist, der die Form der Auswaschungskurve des jeweiligen Biozids beschreibt und A_{total} (L x m⁻²) der Fassadenabfluss ist, in dem die Biozide gelöst sind. Die Form der Auswaschungskurven für die verschiedenen Biozide wurde durch Anpassung der Parameter Smax und k_{release} in **Gleichung (5)** an Literaturwerte (Schoknecht et al. 2016) kalibriert.

4.3 Integration des Fassadenabflusses

Die Gesamtfläche einer Hausfassade A_F (m²) wird in FReWaB-PLUS wie folgt berechnet:

$$A_F = U_{roof} \times H_{facade} \tag{6}$$

mit dem Umfang des Hausdaches U_{roof} (m) und der Gesamthöhe der Fassade H_{facade} (m). Fassaden werden in FReWaB-PLUS also nicht als eigenständige Flächen angelegt, sondern ergeben sich entsprechend Gleichung (6) aus den entsprechenden Dachflächen.

Nun wird im Modell eine sogenannte niederschlagswirksame Fläche A_W (m²) um das Gebäude herum berechnet auf die die von der Fassade abgewaschene Biozidmenge aufgetragen wird (Abbildung 28). Die niederschlagswirksame Fläche Aw, eine horizontale Fläche, die die Fassadenoberfläche AF repräsentiert, wird dabei wie folgt berechnet:

$$A_W = k_{buffer} \times A_F . (7)$$

Die Konstante k_{buffer} (-) ist von der Fassadehöhe abhängig – je höher die Fassade, desto größer ist die niederschlagswirksame Fläche. Der Wert für k_{buffer} wurde an Hand von Messdaten ermittelt. Im Anschluss daran wird schließlich die niederschlagswirksame Fläche mit den an die Hausfassade angrenzenden Flächen verschnitten (Abbildung 28).







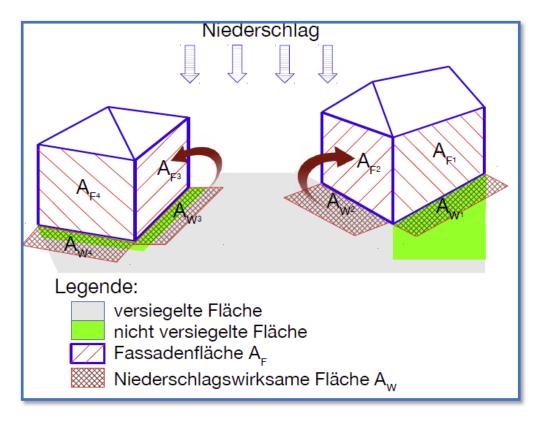


Abbildung 28 Integration des Fassadenabflusses in das Modell FReWaB-PLUS.

Berechnung der Biozidfrachten

Die aus der Fassade ausgewaschene Biozidmenge wird an die Flächen weitergegeben, die direkt an die Hausfassade anschließen (max. 10 cm Abstand). Das erfolgt proportional zum Anteil der Fläche, die innerhalb dieses 10 cm Puffers liegt und zwar an Hand der in Abschnitt 4.3 bestimmten Konstante k_{buffer}. Auf der jeweiligen Teilfläche werden die Biozidmengen dann entsprechend der Wassermenge im IL-Speicher IL_{sub}, dem Abfluss von der Fläche A und der Grundwasserneubildung G verteilt (IL_{sub} + A + G = ILtotal). Der Anteil der Biozidmenge im IL-Speicher wird dann an Hand eines IL-Beiwertes ILBW aufgeteilt und in Abhängigkeit des Flächentyps, entweder im IL-Speicher (S_{IL,Sub}) (mg) oder im Boden angereichert (S_{soil,sub}) (mg). Die Berechnung der beiden Pools erfolgt wie in Gleichung (8) und Gleichung (9) dargestellt:

$$S_{IL,sub} = S_{IL} + S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) \times IL_{BW}$$
 (8)

$$S_{soil,sub} = S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) \times (1 - IL_{BW})$$
(9)

wobei S_{IL} (mg) die Biozidmenge darstellt, die bereits im IL-Speicher vorhanden ist und S_{released} (mg) die ausgewaschene Biozidmenge ist.

Wenn Niederschlagswasser zusätzlich als Abfluss A abfließt bzw. zur Grundwasserneubildung G beiträgt, wird die Biozidmenge im IL-Speicher entsprechend des in Abschnitt 4.1 vorgestellten Modellparameters a aufgeteilt. Die Berechnung erfolgt dann wie in Gleichung (10) und Gleichung (11) dargestellt.













$$S_{drainage,sub} = S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) + S_{IL,sub} \times a$$
 (10)

$$S_{groundwater,sub} = S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) + S_{IL,sub} \times (1 - a)$$
 (11)

Sdrainage, sub (mg) und Sgroundwater, sub (mg) stellen dabei die Biozidmengen im Oberflächenabfluss und im Grundwasser dar.

Anwendungsbeispiel

In diesem Abschnitt werden Sie ein Anwendungsbeispiel für FReWaB-PLUS kennenlernen. Dabei wird die Berechnung beispielhaft für eine kleine Gruppe von Häusern sowie umliegenden Verkehrs- und Grünflächen durchgeführt und mit einer Variante mit geänderten Flächentypen verglichen. Der Fokus liegt in diesem Abschnitt auf der Diskussion der Ergebnisse. Die Bedienung des Webinterfaces wird in Abschnitt 2 und 3 ausführlich beschrieben.

Grundeinstellungen, Grundfläche und Flächentypen

Zunächst müssen die Grundeinstellungen vorgenommen werden (Auswahl der Klimastation, des Zeitbereichs sowie der Eingabemethode; siehe Abschnitt 3.2). Im Anwendungsbeispiel wird die Klimastation in Freiburg gewählt und der Zeitraum auf den Bereich vom 01.01.2008 - 07.08.2021 gesetzt. Als Eingabemethode wird "Auf Karte digitalisieren" ausgewählt (Abbildung 29).



Abbildung 29 Im Anwendungsbeispiel vorgenommene Grundeinstellungen.









Im Anschluss muss auf der Google-Maps-Karte zu dem Kartenausschnitt navigiert werden, in dem die zu simulierende Fläche liegt und die Grundfläche eingezeichnet werden (**Abbildung 30 links**; siehe **Abschnitt 3.3**). Für das Anwendungsbeispiel wurde eine Gruppe von fünf Häusern sowie die umliegenden Verkehrs- und Grünflächen in einem Freiburger Neubaugebiet ausgewählt. Im Anschluss müssen die Flächentypen definiert werden (**Abbildung 30 rechts**; siehe **Abschnitt 3.4**).





Abbildung 30 Eingezeichnete Grundfläche (links) und bereits definierte Flächentypen (rechts).

5.2 Fassadenparamter

Um die Biozidauswaschung berechnen zu können, müssen die Fassaden mit den notwendigen Parametern versehen werden (**Abbildung 31**). Das geschieht durch die Auswahl der jeweiligen Flächentypen. Hier wird zum einen die durchschnittliche Höhe der Fassade (in m) benötigt. Aus diesem

Wert und dem Dachumfang (ergibt sich aus der eingezeichneten Dachfläche) wird die Fassadenfläche berechnet aus der die Biozide ausgewaschen werden können (siehe Abschnitt 4.3). Darüber hinaus werden die Zeitpunkte benötigt, an denen die Fassade gestrichen wurde. Diese Information ist wichtig, da die Biozidauswaschung von dem Zeitpunkt des Neuanstrichs abhängt. Ein großer Teil der Biozide wird in der ersten Zeit nach dem Anstrich ausgewaschen. Dieser Wert sinkt dann mit der Zeit langsam ab.

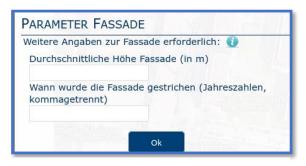


Abbildung 31 Eingabe der Parameter für die Fassade, die nötig sind um die Biozidauswaschung zu berechnen.

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Gebäudehöhen in Erfahrung zu bringen. Manchmal kann man diese Werte den Baubauungsplänen entnehmen, die die Städte häufig online zur Verfügung stellen. In Freiburg gibt es darüber hinaus die Möglichkeit die Höhe von Gebäuden in einem 3D-Modell der Stadt (https://3d.freiburg.de) zu ermitteln (Abbildung 32). Dazu steht dort ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem die Möglichkeit besteht, Distanzen, Flächen und eben Höhen zu messen. Darüber hinaus bietet aber auch Google-Earth die Möglichkeit Gebäudehöhen abzuschätzen (Abbildung 33). Dort wird am











unteren Bildrand die Geländehöhe angezeigt, auf der sich gerade der Mauszeiger befindet. Fährt man nun mit dem Mauszeiger auf das Dach eines Gebäudes, wird die dortige Geländehöhe angezeigt und kann die Gebäudehöhe über die Differenz der beiden Werte ermitteln.



Abbildung 32 Zu simulierender Gebäudekomplex im 3D-Modell der Stadt Freiburg (https://3d.freiburg.de).



Abbildung 33 Zu simulierender Gebäudekomplex in Google-Earth.













Die Werte der Fassadenanstriche sind schwierig zu ermitteln. Die tatsächlichen Informationen kann man nur von den Hausbesitzer*innen, manchmal den Bewohner*innen oder, im Fall von öffentlichen Gebäuden, den zuständigen Behörden der Städte bekommen. Eine Abschätzung kann häufig getroffen werden, wenn man das Jahr kennt, in dem die Häuser gebaut wurden. Andernfalls kann das Alter der Fassade auch über deren Zustand abgeschätzt werden. Allerdings ist diese Abschätzung nur sehr grob. Gerade wenn eine Fassade mit Biozid-haltiger Farbe gestrichen wurde, kann sie auch Jahre nach dem Anstrich noch strahlend weiß bzw. bunt aussehen.

Für den Fall, dass Sie eine Fassade simulieren möchten, die keine Biozide emittiert (z.B. weil sie nicht mit einer Biozid-haltigen Farbe gestrichen ist oder aus anderen Materialien wie Glas oder Backstein besteht), muss eine Fassadenhöhe von 0 m eingeben werden. In diesem Fall wird kein Biozid-haltiger Abfluss von den entsprechenden Gebäudefassaden durch FReWaB-PLUS gebildet. Besteht beispielsweise 50% der Fassade eines Gebäudes aus Backstein, muss die Fassadenhöhe mit der Hälfte der tatsächlichen Höhe angegeben werden. Bei anderen prozentualen Anteilen einer Biozid-freien Fassade muss analog vorgegangen werden (siehe Abschnitt 3.4.2).

5.3 Flächeninformationen

Die Fläche in dem Anwendungsbeispiel (Abbildung 35) besteht aus fünf Häusern mit konventionellen Dächern, die von asphaltierten Straßen und z.T. Wiesenflächen umgeben sind. Im Innenhof des Gebäudekomplexes gibt es einen Weg aus losem Belag (Wassergebundene Wegedecke). In der Variante ist, zum Vergleich, die Asphaltfläche durch ein Pflaster mit großen Fugen ersetzt (wie die Variante erstellt und berechnet wird, kann in Abschnitt 3.6 nachgelesen werden). In Abbildung 34 sind die Größen der verschiedenen Flächen aufgelistet (diese Informationen erscheinen, nachdem die Berechnung abgeschlossen wurde; siehe Abschnitt 3.5).

Nutzung: Wiese, unbebaut Gesamtfläche: 9,012 qm	konventionelles Dach Fassade an Wiese Fassade an Schotterrasen Fassade an Asphalt loser, durchlässiger Belag undurchlässiger Belag Wiese	2,983 qm 1 qm 0 qm 6 qm 653 qm 3,533 qm 1,836 qm	konventionelles Dach Fassade an Wiese Fassade an Schotterrasen Fassade an Kleinmosaikpflaster Sloser, durchlässiger Belag durchlässiges Pflaster (fugenreich) Wiese	2,983 qm 1 qm 0 qm 6 qm 653 qm 3,533 qm
--	--	--	---	--

Abbildung 34 Größen der eingezeichneten Flächen in m² (Links: natürliche Fläche; Mitte: Ist-Zustand; Rechts: Variante).







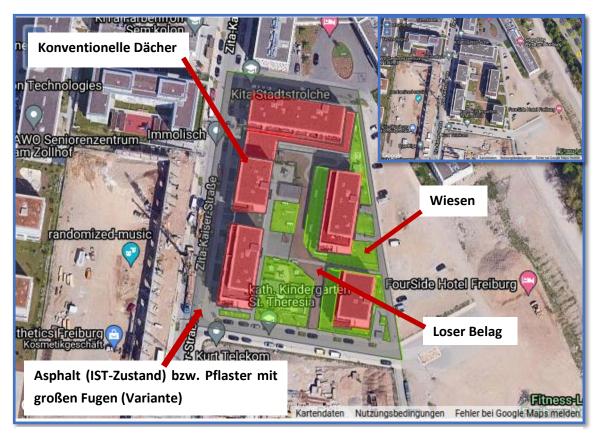


Abbildung 35 Eingezeichnete Flächentypen. Rechts oben im Bild ist die Häusergruppe ohne eingezeichnete Flächentypen dargestellt.











Ergebnisse – Wasserbilanz

Nachdem die Berechnungen für den Ist-Zustand und die Variante abgeschlossen sind, erscheinen unterhalb der Karte und den Flächeninformationen die Outputdaten zur Wasserbilanz für den gesamten Berechnungszeitraum (Abbildung 36).

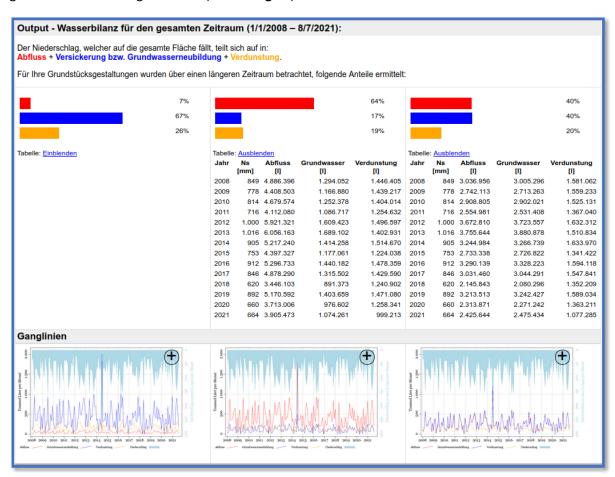


Abbildung 36 Outputdaten zur Wasserbilanz für den Berechnungszeitraum (Prozentuale Aufteilung des Niederschlags in Oberflächenabfluss, Versickerung/ Grundwasserneubildung und Verdunstung; Jährliche aufsummierte Wasserflüsse in Tabellenform sowie als Ganglinien).

Zunächst können die Balkendiagramme der Wasserbilanzen der drei Szenarios natürliche Fläche/Wiese (links), Ist-Zustand (Mitte) und Variante (rechts) verglichen werden. Während auf der natürlichen Fläche die Versickerung/Grundwasserneubildung den größten Anteil an der Wasserbilanz hat (67%), ist der Oberflächenabfluss auf im Szenario "Ist-Zustand" am größten (64%). Hier hat Asphalt, ein Belag, der keine Versickerung zulässt und nur sehr wenig Wasser zurückhalten (und damit verdunsten kann) den größten Flächenanteil (Abbildung 34). Wenn der Asphalt, wie in dem Szenario "Variante" durch ein fugenreiches Pflaster ersetzt wird, sinkt der Anteil des Oberflächenabflusses deutlich (40%) und der Anteil der Versickerung/Grundwasserneubildung steigt an (40%).

In den Tabellen und Ganglinien unterhalb der Balkendiagramme können die zeitlichen Verläufe der Wasserhaushaltsgrößen nachvollzogen werden. Darüber hinaus wird besonders in den Ganglinien (Abbildung 37) der Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen Wasserhaushaltsgrößen













deutlich. Hier ist erkennbar, dass Oberflächenabfluss, Versickerung/Grundwasserneubildung und Verdunstung immer direkt auf das jeweilige Niederschlagsereignis folgen. Sollten Sie die zeitlichen Verläufe höher aufgelöst benötigen, können Sie die Berechnungen auch tagesgenau im Abschnitt "Detailberechnungen" unterhalb der Outputdaten durchführen (Erläuterungen dazu in **Abschnitt 3.8**).

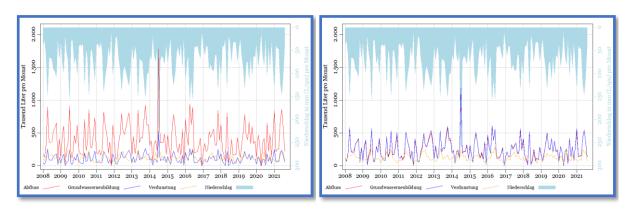


Abbildung 37 Ganglinien des "Ist-Zustands" (links) und der "Variante" (rechts).

5.5 Ergebnisse – Biozidauswaschung

Unterhalb der Ergebnisse zum Wasserhaushalt folgen die Daten zur Biozidauswaschung als Diagramme mit den zeitlichen Verläufen der ausgewaschenen Biozide im Oberflächenabfluss und im Grundwasser. Zusätzlich zu den Diagrammen sind die Daten optional in Tabellenform einblendbar. Dabei liegen Daten für die drei häufig verwendeten Biozide Terbutryn, Diuron und Octhilinon vor.

Es keine Daten zu Bioziden im Szenario "Natürliche Fläche" da hier keine Gebäude simuliert werden aus denen Biozide ausgewaschen werden können. Darüber hinaus gibt es keine Daten zu Bioziden in der Wasserhaushaltsgröße Verdunstung, da im Modell FReWaB-PLUS angenommen wird, dass Biozide nicht in relevanten Mengen verdunsten können.

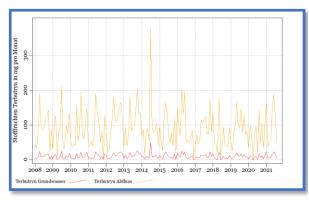
Ein Vergleich der Biozidfrachten der Szenarien "Ist-Zustand" und "Variante" zeigt, dass im Ist-Zustand die Biozide vor allem im Oberflächenabfluss zu finden sind während diese in der Variante vor allem ins Grundwasser verlagert werden können (**Abbildung 38**). Dieses Ergebnis ist analog zu den Wasserhaushaltsgrößen. Da in der Variante die Asphaltflächen durch ein fugenreiches Pflaster ersetzt wurden, versickert hier wesentlich mehr Niederschlag direkt in der Fläche. Damit können allerdings Biozide auch direkt in den Untergrund versickern, und wenn das Wasser zur Grundwasserneubildung beiträgt und die Biozide nicht im Boden zurückgehalten werden, auch ins Grundwasser gelangen.











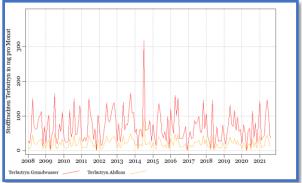


Abbildung 38 Biozidfrachten im "Ist-Zustands" (links) und in der "Variante" (rechts).

5.6 Fazit

Die Simulation der Regenwasserversickerung und der Biozidauswaschung in diesem Anwendungsbeispiel hat beispielhaft gezeigt, welchen Einfluss die Bebauung (Vergleich Natürliche Fläche und Ist-Zustand) und die Wahl des Oberflächenmaterials bzw. Flächentyps (Vergleich Ist-Zustand und Variante) auf diese Größen hat.

In erster Linie soll dieses Beispiel Sie darin unterstützen FReWaB-PLUS zu erlernen und für Ihre Anwendungen zu nutzen. Gleichzeitig zeigt es aber auch die Probleme in der urbanen Regenwasserbewirtschaftung auf. Die Versickerung von Niederschlag direkt in der Fläche ist gewünscht und bietet Vorteile für den urbanen Wasserhaushalt und für das Mikroklima. Allerdings besteht dann auch die Gefahr, dass Schadstoffe, die im urbanen Niederschlagswasser enthalten sind, wie eben Biozide, auch ins urbane Grundwasser gelangen können. Deshalb sollte wo immer möglich eine Schadstoffreduktion an der Quelle angestrebt werden.









6 Anhang

6.1 Verfügbare Oberflächentypen und ihre Koeffizienten

Tabelle 2 Oberflächentypen und die zugehörigen Werte für den Modellparameter a und den Verdunstungsspeicher IL, die in FReWaB-PLUS verwendet werden. Der Modellparameter a bestimmt die Aufteilung des Anteils am Niederschlag (der nicht verdunstet) in Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildung. Werte von 1 bedeuten 100% Oberflächenabfluss, während Werte von 0 bedeuteten, dass das Wasser zu 100% zur Grundwasserneubildung beiträgt. Je höher der Verdunstungsspeicher IL, desto mehr Wasser wird zunächst verdunstet.

Oberflächentyp	Modellparameter a	Verdunstungsspeicher IL
	(-)	(L x m ⁻²)
Dachflächen		
Konventionelles Dach	1,0	0,8
Kiesdach	1,0	3,5
Gründach – extensiv	1,0	10,0
Gründach – intensiv	1,0	20,0
Dach – nicht angeschlossen	0,0	-
Grünflächen		
Wiese	0,1	4,0
Beet, Pflanzung	0,1	2,4
Befestigte Flächen		
Undurchlässiger Belag	1,0	2,0
Fugenarmes Pflaster	0,5	2,5
Pflaster mit begrünten Fugen	0,15	6,5
Fugenreiches Pflaster	0,25	3,0
Loser Belag	0,3	4,5
Kiesdrainage	0,0	2,5









6.2 Excel-Export: Erläuterung der Spaltennamen

Tabelle 3 Erläuterungen der Spaltennamen der exportieren Excel-Tabelle. Die Tabelle besitzt die drei Tabellenblätter Wasserbilanz, Flächen und Biozidbilanz. Angegeben sind die Spaltennamen, deren Beschreibung und die Einheit des jeweiligen Parameters. In der letzten Spalte finden Sie die Namen der einzelnen Parameter, wie sie in der Datenbank verwendet werden; das sind Informationen, die Sie nur im Expertenmodus benötigen.

Tabellenblatt	Spalte	Beschreibung	Einheit	Information für den
				Expertenmodus: Tabelle DB
				(select where base_id = Run-ID)
Wasserbilanz	Base_id	Individuelle Run-ID	-	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Variant_id	0 für original, 1 für	-	digi.v_gangl_dyn_sum_day
		Variante		
	mo	Datum	-	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_a	Abfluss	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_g	Grundwasser	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_v	Verdunstung	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_ns	Niederschlag	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum	Gesamtsumme	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
		Wasserbilanz		
	Sum_ns	Gesamtsumme	mm	digi.v_gangl_dyn_sum_day
		Wasserbilanz		
Flächen	Base_id	Individuelle Run-ID	-	digi.v_result_area
	Variant_id	0 für original, 1 für	-	digi.v_result_area
		Variante		
	Area	Fläche des	m²	digi.v_result_area
		Einzugsgebiets in m ²		
	Layer_id	Flächentyp	-	digi.v_result_area
	Area_fassade	Fassadenfläche	m²	digi.v_result_area
Biozidbilanz	Base_id	Individuelle Run-ID	-	digi.v_gangl_all_day
	Variant_id	0 für original, 1 für	-	digi.v_schad_group
		Variante		
	ts	Datum	-	digi.v_schad_group
	H24	Stunde	-	digi.v_schad_group
	b_oit	OIT im Boden	mg	digi.v_schad_group
	b_diu	Diuron im Boden	mg	digi.v_schad_group
	b_ter	Terbutryn im Boden	mg	digi.v_schad_group
	g_oit	OIT im Grundwasser	mg	digi.v_schad_group
	g_diu	Diuron im	mg	digi.v_schad_group
		Grundwasser		









Tabellenblatt	Spalte	Beschreibung	Einheit	Information für den
				Expertenmodus: Tabelle DB (select where base_id = Run-ID)
	g_ter	Terbutryn im Grundwasser	mg	digi.v_schad_group
	a_oit	OIT im Oberflächenabfluss	mg	digi.v_schad_group
	a_diu	Diuron im Oberflächenabfluss	mg	digi.v_schad_group
	a_ter	Terbutryn im Oberflächenbfluss	mg	digi.v_schad_group









Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schema Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und Biozidauswaschung	5
Abbildung 2 Starten einer neuen Simulation	6
Abbildung 3 Grundeinstellungen für FReWaB-PLUS: Auswahl der Wetterdaten, des Zeitbere	eichs und
der Eingabemethode	7
Abbildung 4 Auswahl der Grundfläche entweder durch eine Adresssuche und durch Auswa	ahl in der
Google-Karte	8
Abbildung 5 Grundfläche per Mausklicks einzeichnen und mit einem Doppelklick bestätigen (F	arbe dei
Fläche wechselt von Rot zu Grün)	9
Abbildung 6 Größe und Form der Grundfläche ändern	9
Abbildung 7 Auswahl der Flächentypen.	10
Abbildung 8 Eingabefenster für die Parameter der Dach- bzw. Fassadenflächen	11
Abbildung 9 Einzeichnen der verschiedenen Dach-, Grün- und befestigten Flächen	12
Abbildung 10 Löschen oder Änderung von Größe und Typ einer Fläche	12
Abbildung 11 Fünf neue Abschnitte, die nach der Berechnung unterhalb der Karte erscheiner	า 14
Abbildung 12 Informationen zu den eingezeichneten Flächen	15
Abbildung 13 Wasserbilanz für den gesamten Berechnungszeitraum	16
Abbildung 14 Ganglinien der Wasserhaushaltsgrößen.	17
Abbildung 15 Ganglinien der Wasserhaushaltsgrößen in Abhängigkeit der Zeit in Jahren	17
Abbildung 16 Ergebnisse zur Biozidauswaschung für den berechneten Zeitraum	18
Abbildung 17 Ganglinien der ausgewaschenen Biozide. Hier die ausgewaschene Biozidm	enge für
Terbutryn in mg pro Monat in Abhängigkeit der Zeit in Jahren	19
Abbildung 18 Erstellen einer neuen Variante	19
Abbildung 19 Auswahl der Variante, die Sie neu berechnen wollen (Neue Fläche erstellen	oder der
"Ist-Zustand" bearbeiten)	20
Abbildung 20 Links: Auswahl der Variante "Leer" (Neue Fläche erstellen); Rechts: Auswahl der	Variante
"Kopie" ("Ist-Zustand" bearbeiten)	20
Abbildung 21 Berechnung der neuen Variante starten	21
Abbildung 22 Ergebnisse der Berechnung der neuen Variante	22
Abbildung 23 Weitere Bearbeitungen der verschiedenen Varianten sind möglich	22
Abbildung 24 Detailberechnungen (Tagesgenaue Werte).	23
Abbildung 25 Ergebnisse der Detailberechnungen (tagesgenau) für die Wasserhaushal	tsgrößen
Abfluss, Versickerung bzw. Grundwasserneubildung und Verdunstung sowie die Biozidausw	_
Abbildung 26 Modellkonzept von FReWaB-PLUS.	
Abbildung 27 Integration der Abflussbildung in das Modell FReWaB-PLUS. N: Niederschlag;	
Loss-Speicher; ET _{pot} : Potentielle Evapotranspiration; V: Verdunstung; G: Grundwasserneubi	
(Oberflächen-) abfluss. a: Anteil des nichtverdunsteten Niederschlags	-
Abbildung 28 Integration des Fassadenabflusses in das Modell FReWaB-PLUS.	
Abbildung 29 Im Anwendungsheisniel vorgenommene Grundeinstellungen	









Abbildung 30 Eingezeichnete Grundfläche (links) und bereits definierte Flächentypen (rechts) 31				
Abbildung 31 Eingabe der Parameter für die Fassade, die nötig sind um die Biozidauswaschung zu				
berechnen31				
Abbildung 32 Zu simulierender Gebäudekomplex im 3D-Modell der Stadt Freiburg				
(https://3d.freiburg.de)				
Abbildung 33 Zu simulierender Gebäudekomplex in Google-Earth				
Abbildung 34 Größen der eingezeichneten Flächen in m² (Links: natürliche Fläche; Mitte: Ist-Zustand;				
Rechts: Variante)				
Abbildung 35 Eingezeichnete Flächentypen. Rechts oben im Bild ist die Häusergruppe ohne				
eingezeichnete Flächentypen dargestellt				
Abbildung 36 Outputdaten zur Wasserbilanz für den Berechnungszeitraum (Prozentuale Aufteilung				
des Niederschlags in Oberflächenabfluss, Versickerung/ Grundwasserneubildung und Verdunstung;				
Jährliche aufsummierte Wasserflüsse in Tabellenform sowie als Ganglinien)				
Abbildung 37 Ganglinien des "Ist-Zustands" (links) und der "Variante" (rechts)				
Abbildung 38 Biozidfrachten im "Ist-Zustands" (links) und in der "Variante" (rechts)				
Tabellenverzeichnis				
Tabelle 1 Monats-abhängige konstante HAUDE-Faktoren. 26				



