



Hydrologisches Basismodell „BFGM“

 Version 2.5



Hydrologisches Basismodell „BFGM“

 Version 2.5

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.de
BEARBEITUNG	Dr.-Ing. Jürgen Ihringer (ehemals Karlsruher Institut für Technologie) Dipl.-Ing. Joachim Liebert (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg) M.Sc. Franziska Villinger (Karlsruher Institut für Technologie) Dipl.-Ing. Patrick Preuß (HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH)
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Referat Hydrologie, Hochwasservorhersage
BEZUG	https://pd.lubw.de/10187
STAND	Januar 2021
AUFLAGE	1. Auflage
TITELBILD	Beispielhaftes BFGM Fließnetz mit Knotenplan; Bild: Joachim Liebert
ABBILDUNGSNACHWEIS	siehe Abbildungsverzeichnis
ZITIERVORSCHLAG	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2021): Hydrologisches Basismodell BFGM, 1. Auflage, Karlsruhe.



1	EINLEITUNG UND ALLGEMEINE HINWEISE	7
2	HYDROLOGISCHE GRUNDLAGEN	10
2.1	Festlegung der Gewässerknoten und Teileinzugsgebiete	11
2.2	Niederschläge	11
2.3	Niederschlag-Abfluss-Modellierung	13
2.3.1	Abflussbildung	13
2.3.2	Abflusskonzentration	14
2.3.3	Städtische Flächen und Kanalisation	14
2.3.4	Basisabfluss	15
2.3.5	Wellenverformung	15
2.3.6	Betriebsmodell für wasserwirtschaftliche Anlagen	16
3	DATENBANK „BFGM_MODELL“	17
3.1	Gewässerknoten	18
3.2	Gebietskennwerte	19
3.3	Kennwerte für die Modellierung	20
3.4	Niederschlagsereignisse	22
3.5	Definition eines Modells	24
4	AUFBAU DER DATENBANK „BFGM_MODELL“	26
5	MODELLANWENDUNG	28
5.1	Unterverzeichnisse	30
5.2	Programm BFGM_HQ	30
5.3	Programm BFGM_WEL	31
6	ANLAGE: IMPLEMENTIERUNG UND ANWENDUNG DES PROGRAMMPAKETS „BFGM“	32
7	ABBILDUNGEN UND TABELLEN	34
7.1	Abbildungen	34
7.2	Tabellen	34
8	LITERATUR UND QUELLEN	35

1 Einleitung und allgemeine Hinweise

Das hydrologische Basismodell „**BFGM**“ stellt das hydrologische Grundlagenmodell für die Fortschreibung der Hochwassergefahrenkarten (HWGK) in Baden-Württemberg dar. Dieses Basismodell ist ein Modellsystem, bei dem verschiedene Teilmodelle (Programme) mit einer Datenbank gekoppelt sind. Das Modellsystem ist so konzipiert, dass die Anforderungen, die bei der Fortschreibung der HWGK an die hydrologische Datengrundlage gestellt werden, erfüllt sind. Diese Forderungen sind vor allem:

- Berechnung der maßgebenden Jährlichkeiten,
- Berücksichtigung der vorhandenen wasserwirtschaftlichen Anlagen,
- Bereitstellung der maßgebenden Abflussscheitelwerte entlang der HWGK-Gewässer,
- Bereitstellung der Zuflussganglinien aus den Zwischeneinzugsgebieten für alle definierten ländlichen (land- und forstwirtschaftlich genutzten) und städtischen (bebauten) Teilgebiete.

Die einzelnen Teilabflussganglinien sollen der instationären 2-dimensionalen Gewässerhydraulik zur weiteren Verarbeitung übergeben werden.

Zur Erzeugung eines ausreichenden Spektrums an Abflussereignissen, die einerseits für die Datenbereitstellung für die Hydraulik und andererseits für die Modellkalibrierung (Modellanpassung) erforderlich sind, werden insgesamt Ereignisse der Jährlichkeiten $T = 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100$ und 1000 a berechnet, wobei die Dauerstufen des Niederschlags jeweils über verschiedene Stufen zwischen $D = 0,25$ h und $D = 72$ h variiert werden. Für die Bearbeitung der HWGK sind die Jährlichkeiten $T = 2, 10, 50, 100$ und 1000 a erforderlich. Die anderen Jährlichkeiten werden zur Modellkalibrierung verwendet. Um das Abflussverhalten sowohl von kleineren Teilgebieten als auch von größeren Gebieten mit vergleichbarer Zuverlässigkeit ableiten zu können, wird empfohlen, die Niederschlagsdauer über 14 Stufen ($D = 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48$ und 72 h) zu variieren. Dieses große Spektrum gewährleistet auch, dass wasserwirtschaftliche Maßnahmen (z. B. Stauanlagen) und deren Wirksamkeit i.d.R. mit ausreichender Zuverlässigkeit erfasst sind.

Der Modellaufbau und die Modellanwendung erfolgt über die Kopplung von Datenbank und hydrologischem Modell. Sämtliche Kenngrößen, Modellparameter und auch Berechnungsergebnisse sind in der Datenbank abgelegt. Dies umfasst sowohl die Modellstruktur (Gewässerknoten, Knotenverbindungen) als auch die Zuweisung von hydrologischen Verfahren für Teileinzugsgebiete oder Gewässerstrecken. Dabei können in einer Datenbank mehrere Gebietsmodelle getrennt verwaltet werden. Als hydrologisches Berechnungsmodell kommt das Flussgebietsmodell „FGM“ des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung – Fachbereich Hydrologie (IWG-Hyd) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zur Anwendung. Für weitergehende Anwendungen können sämtliche Programme des Softwarepakets „Hochwasseranalyse und -berechnung“ unverändert eingesetzt werden. Die zugehörigen Beschreibungen können dem Handbuch des Softwarepakets [IHRINGER & LIEBERT 2012] entnommen werden.

Das Modellsystem „**BFGM**“ besteht aus folgenden Komponenten:

- **Datenbank „BFGM_Modell“:** Microsoft-Access-Datenbank in der alle modellspezifischen Informationen gespeichert sind,
- **Datenbank „BFGM_Ergebnisse“:** Microsoft-Access-Datenbank mit den Abflussganglinien der ländlichen oder städtischen Teileinzugsgebieten, die der Hydraulik zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden,
- **Programm „BFGM“:** Steuerungsprogramm für die Anwendung des Basismodells mit: Auslesen der erforderlichen Daten für ein bestimmtes Einzugsgebiet, Starten des Flussgebietsmodells FGM und Übergabe von Berechnungsergebnissen in die Datenbank „BFGM_Modell“,
- **Programm „FGM“:** Flussgebietsmodell zur Ausführung der Modellrechnungen,
- **Programm „BFGM_HQ“:** Auswertungen der Modellergebnisse und Übergabe der maßgebenden Abflussscheitelwerte an den Gewässerknoten in die Datenbank „BFGM_Modell“,
- **Programm „BFGM_WEL“:** Auswertungen der Abflussganglinien aus den Teileinzugsgebieten und Übergabe in die Datenbank „BFGM_Ergebnisse“,

- **Programm „FGMPL“:** Graphische Darstellung von berechneten Abflussganglinien,
- **Programm „KOSTRA“:** Auswertung der Niederschlagsstatistik für KOSTRA-DWD-2010R [DWD 2017B] und Übergabe der Niederschlagshöhen in die Datenbank „BFGM_Modell“,
- **Programm „SEERET“:** Aufbereitung der Daten für die Seerentionsberechnung für Stauanlagen und ggf. für Gewässerabschnitte.

Die Tabellen in der Datenbank „BFGM_Modell“ sind mit eindeutigen Kennungen so konzipiert, dass eine enge Kopplung der Datengrundlage für die hydrologische Modellierung und auch der Berechnungsergebnisse mit der Datenbank für die Regionalisierung von Abflusskennwerten in Baden-Württemberg („Abfluss-BW“) gewährleistet ist. Abbildung 1.1 zeigt die Interaktion der Regionalisierungsdatenbank („Regional“) mit den Datenbanken des BFGM-Projekts. Über definierte Abfragen können zunächst Informationen (z. B. Gewässerknoten und -verbindungen) aus der Regionalisierungsdatenbank übernommen werden und nach Abschluss der hydrologischen Berechnungen lassen sich wesentliche Ergebnisse (z. B. Abflussscheitelwerte) in die Regionalisierungsdatenbank übertragen. Die Datenbank „BFGM_Ergebnisse“ dient der Ablage der Abflussganglinien aus den Teileinzugsgebieten und damit der Datenbereitstellung für die hydraulische Bearbeitung der HWGK.

Für die Bearbeitung und die Nutzung der Datenbanken durch die BFGM-Programme ist **Microsoft Access 2019 (64-bit)** unter **Windows 10 (64-bit)** notwendig.

Um das Modellsystem anwenden zu können, ist eine definierte Verzeichnisstruktur anzulegen, die unter der Laufwerkskennung „Q:“ angesprochen wird. Dies bedeutet, dass das Verzeichnis, in dem die Datenbank steht, als Laufwerk „Q:“ verbunden werden muss.

Es empfiehlt sich zudem den BFGM-Programme-Pfad „Q:\Programm\“ in die PATH-Variable von Windows

aufzunehmen (Systemsteuerung → System → Erweiterte Systemeinstellungen → Umgebungsvariablen). Dadurch können die BFGM-Programme von beliebigen Verzeichnissen über die Kommandozeile aufgerufen werden.

Für die Verknüpfung des Modellverzeichnisses liegt ein vordefiniertes Skript vor:

BFGM_Init.bat

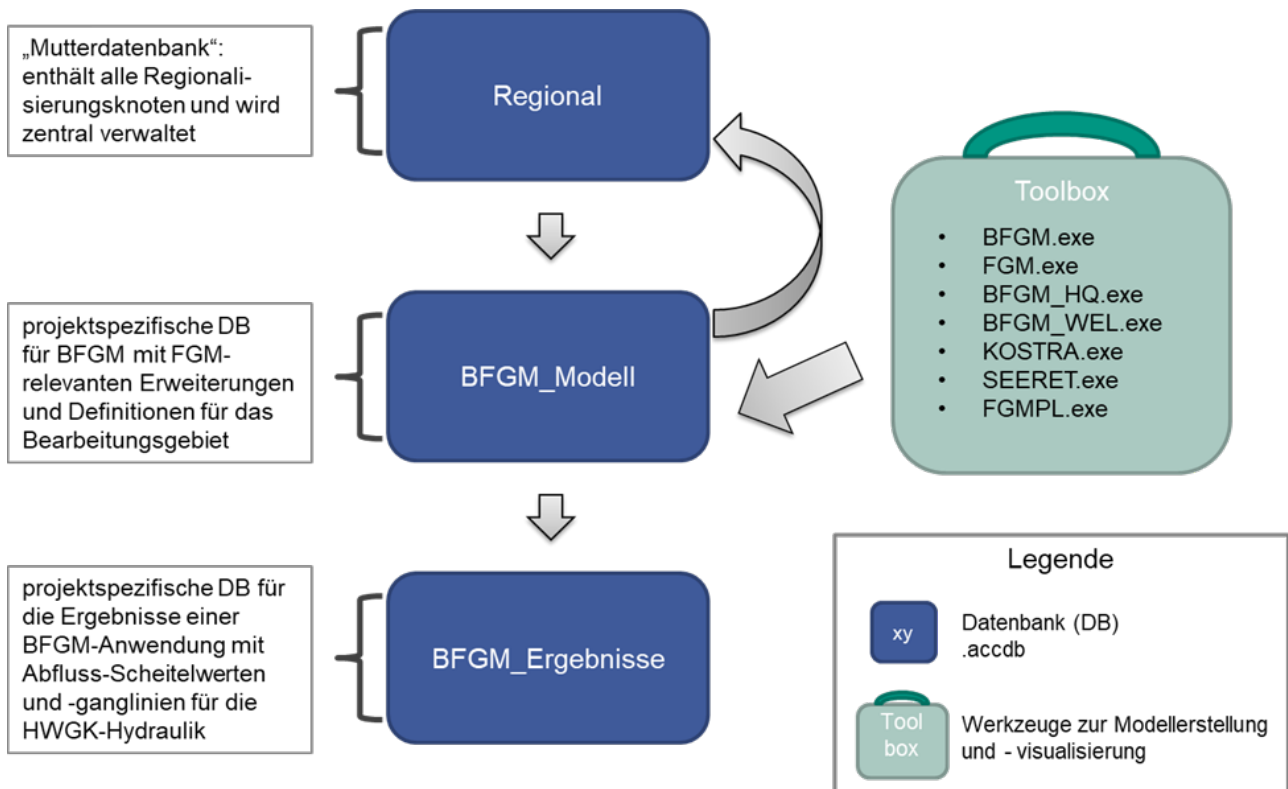
Optional kann diese Batch-Datei in den Ordner „Auto-start“ eingefügt werden. Dann wird die Laufwerks-Verbindung bei jedem Rechnerstart automatisch hergestellt. Andernfalls muss die Batch-Datei bei jedem Start manuell ausgeführt werden. Weitergehende Hinweise zur Anwendung siehe Anlage.

Das Laufwerk „Q:“ enthält folgende Verzeichnisse:

- **Programm:** Ausführbare Programme für den Datenaustausch zwischen Datenbanken und hydrologischen Modellen sowie Programme zur Ausführung und Speicherung von BFGM-Funktionen
- **Seeret_GEW:** Dateien mit den Daten für eine Seerentionsberechnung der Wellenverformung entlang einer Gewässerstrecke
- **Seeret_HRB:** Dateien mit den Daten für eine Seerentionsberechnung von Stauanlagen

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Datenbank Abfragen aufweist, die mit „**Output**“ oder mit „**Input**“ beginnen. Diese Abfragen dienen dem Datenaustausch mit den verschiedenen Programmen und **dürfen nicht verändert werden!**

Im Folgenden werden zunächst die hydrologischen Grundlagen und deren Anwendung exemplarisch am Einzugsgebiet der Bottwar zusammengefasst. Anschließend erfolgt die Beschreibung der Datenbank und der Anwendung des Modellsystems.



U:W

Abbildung 1.1: Schematische Darstellung der Interaktion der Regional-DB mit den im Rahmen der BFGM-Methodik entwickelten Datenbanken

2 Hydrologische Grundlagen

Die Anwendung des hydrologischen Modells mit den hydrologischen Grundlagen und deren Ableitung wird anhand des Einzugsgebiets der Bottwar exemplarisch beschrieben. Die Beschreibung der hydrologischen Verfahren kann [IHRINGER & LIEBERT 2012] entnommen werden. Die Bottwar hat eine Einzugsgebietsgröße von $A_E = 79,7 \text{ km}^2$. Die Gewässerstrecken, an denen HWGK-Auswertungen vorliegen bzw. fortgeschrieben werden sollen, sind in Abbildung 2.1 gekennzeichnet. In dem Einzugsgebiet befinden sich 3 Hochwasserrückhaltebecken (HRB) (HRB Hoftal, HRB Hasenbach, HRB Stockbrunnen) sowie 3 in Planung befindliche Stauanlagen (HRB Kurzacher Tal, HRB Prevorster Tal, HRB Schmidbach).

Zur hydrologischen Modellierung des Abflussverhaltens sind zunächst Gewässerknoten (Berechnungsknoten) auf dem Fließsystem festzulegen und die zugehörigen Einzugsgebiete bzw. Zwischeneinzugsgebiete zu bestimmen (siehe Abschnitt 2.1). Anschließend werden die hydrologischen Kenngrößen und Parameter zur Berechnung der Teilab-

flüsse aus den einzelnen Teilgebieten (Abschnitte 2.3.1 und 2.3.2) sowie die Methodik und die Parameter für die Wellenverformung (Flood-Routing) entlang der Fließstrecken bestimmt (Abschnitt 2.3.5). Für die wasserwirtschaftlichen Anlagen sind die Speicherkenndaten zu erheben und aufzubereiten (Abschnitt 2.3.6).

Die Modellierung des Abflussverhaltens basiert darauf, dass aus T-jährlichen Niederschlägen in Kombination mit dem mittleren Gebietsverhalten T-jährliche Abflussganglinien abgeleitet werden. Die T-jährlichen Niederschläge werden über die Statistik KOSTRA-DWD-2010R [DWD 2017B] ermittelt. Die Details zur Ableitung der Gebietsniederschläge sind in Abschnitt 2.2 erklärt. Die Modellierung des Abflussverhaltens der ländlichen Teilgebiete erfolgt durch Anwendung der Regionalisierungsverfahren nach [LUTZ 1984] für die Abflussbildung und Abflusskonzentration. Das Flood-Routing kann entweder als reine Translation definiert werden oder zur Berücksichtigung der Retentionseigenschaft des Gewässerabschnitts stehen

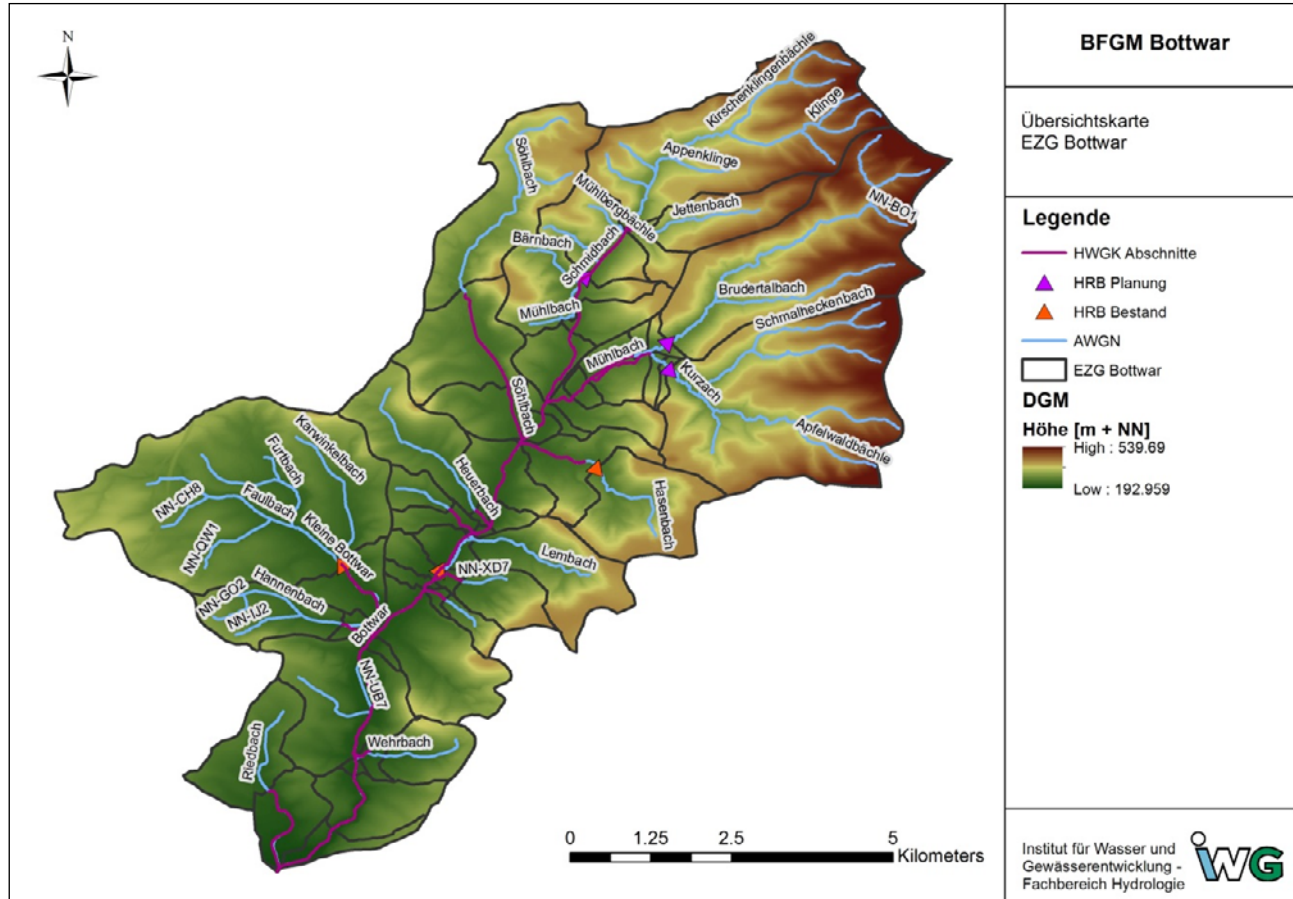


Abbildung 2.1: Einzugsgebiet der Bottwar mit topografischem Gradient, Markierung der HWGK-Gewässer und Lage der geplanten sowie vorhandenen HRBs

das Kalinin-Miljukov-Verfahren mit Vorländer (Schwellenwertkaskade) und das Seeretentionsverfahren zur Verfügung. Der Betrieb wasserwirtschaftlicher Anlagen kann entweder über eine Steuerung auf eine konstante Abgabe oder über das Seeretentionsverfahren erfasst werden.

Grundsätzlich ist für das hydrologische Basismodell anzustreben, dass die erforderlichen Kenndaten zur Modellierung des Abflussverhaltens der Teileinzugsgebiete aus den verfügbaren räumlichen Daten geschätzt werden. Dies gilt vor allem für die Berechnung der Abflussanteile aus den städtischen (bebauten) Teilgebieten. Die Details sind in Abschnitt 2.3.3 erläutert.

Als Berechnungszeitschritt für alle Modellrechnungen wird einheitlich $\Delta t = 0,25$ h empfohlen. Damit ist sichergestellt, dass auch bei kleinen Teileinzugsgebieten oder kleinen Zuflussgebieten, die eine schnelle Abflussreaktion aufweisen, die Abflussdynamik ausreichend berücksichtigt ist. Gleichzeitig wird gewährleistet, dass den hydraulischen Berechnungen quasi geglättete Abflussganglinien zur Verfügung stehen.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass für einige, fehlende Modellparameter konstante Default-Werte vorhanden sind, oder dass sie aus vereinfachten Schätzverfahren ermittelt werden. Diese vereinfacht angenommenen Parameter müssen jedoch immer auf Plausibilität geprüft werden.

2.1 Festlegung der Gewässerknoten und Teileinzugsgebiete

Gewässerknoten zur Berechnung der Abflussganglinie sind an folgenden Gewässerstellen anzuordnen:

- Beginn einer HWGK-Strecke (1 Knoten),
- Standort von Pegelstellen (1 Knoten),
- oberhalb und unterhalb des Standorts relevanter wasserwirtschaftlicher Anlagen (2 Knoten),
- oberhalb von bebauten Ortslagen, die an einer HWGK-Strecke liegen (1 Knoten),
- unterhalb von bebauten Ortslagen, die an einer HWGK-Strecke liegen (1 Knoten),
- beim Zusammenfluss mit abflussrelevanten Nebengewässern zusätzlich zum Mündungsknoten jeweils oberhalb und unterhalb des Zusammenflusses (3 Knoten).

Städtische Regenwassereinleitungsstellen werden in der Regel nicht gesondert, sondern pauschal über die Flächennutzungen berücksichtigt. Bei großen städtischen Flächen bzw. bei sehr lang gestreckten Bebauungen können zusätzliche Gewässerknoten hilfreich sein, um die städtischen Teilabflüsse entlang des Gewässers aufzuteilen.

Nach Festlegung der Gewässerknoten sind die Grenzen der Teileinzugsgebiete zu erfassen. Die zusätzlichen Gebietsgrenzen sind in die Basiseinzugsgebiete des Gebiets über GIS-Bearbeitungen einzufügen. Abbildung 2.2 zeigt für das Einzugsgebiet der Bottwar die festgelegten Gewässerknoten mit zugehörigen Grenzen der Teileinzugsgebiete. Im Einzugsgebiet der Bottwar wurden insgesamt 76 Gewässerknoten definiert. An 32 Knoten werden sowohl ländliche als auch städtische Teilabflüsse eingeleitet. An 24 Knoten treten nur ländliche Teilabflüsse auf. Für die Stauanlagen sind 12 Knoten vorhanden, wobei hier der Gesamtzufluss und der Gesamtabfluss jeweils an einem Knoten erfasst werden. An 14 Gewässerknoten werden Zusammenflüsse ohne zusätzliche Teilabflüsse addiert.

Nach Abgrenzung der Teileinzugsgebiete bietet es sich an, die Größen der Teilgebiete und die Gebietskenngrößen für die Anwendung des Regionalisierungsverfahrens nach [LUTZ 1984] für die Abflussbildung (Fließlängen L und L_C sowie das gewogene Gefälle I_G) zu ermitteln. Dies kann über geeignete GIS-Tools beispielsweise über das digitale Höhenmodell unterstützt werden. Weiterhin sind für die Teilgebiete die Flächengrößen der verschiedenen Nutzungsarten (Abbildung 2.2) zu berechnen.

2.2 Niederschläge

Eingangsgrößen in die hydrologische Modellierung sind T-jährliche Gebietsniederschläge, die aus der aktuellen Statistik KOSTRA-DWD-2010R [DWD 2017B] übernommen werden. Vor der Übernahme von Niederschlagshöhen für unterschiedliche Jährlichkeiten und Dauerstufen ist zu prüfen, ob die Gesamtstatistik einen homogenen Verlauf über das gesamte Spektrum der Dauerstufen aufweist. Hierbei sollte auch der Extrapolationsbereich bis zur Jährlichkeit $T = 1\ 000$ a bewertet werden. Ableitungsbedingt können in den Originaldaten des Deutschen Wetterdienstes [DWD 2017B] gewisse Unstetigkeiten vorhanden sein. Diese sollten vor Anwendung der KOSTRA-Statistik beseitigt werden. Hierzu bietet es sich an, die Stützstellen

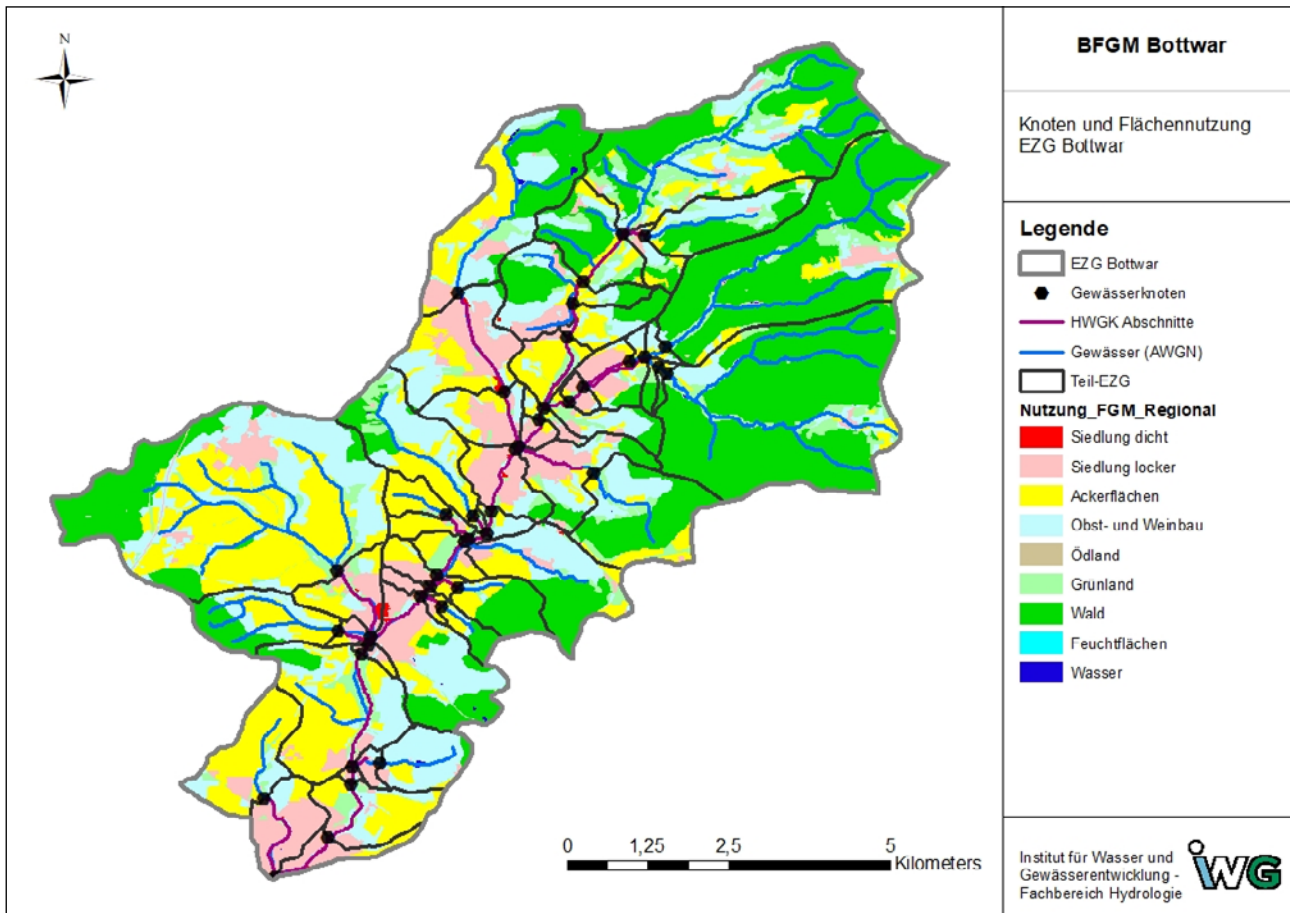


Abbildung 2.2: Einzugsgebiet der Bottwar mit Lage der Gewässerknoten, Abgrenzung der Teileinzugsgebiete und Flächennutzung

der KOSTRA-Statistik im Rahmen der vom DWD vorgegebenen Unsicherheiten zu modifizieren.

Da in der Regel größere Einzugsgebiete für die Fortschreibung der HWGK bearbeitet werden, muss eine räumliche Verteilung der statistischen Niederschläge beachtet werden. Häufig wird das Einzugsgebiet über mehrere KOSTRA-Zellen abgedeckt, die teilweise größere oder auch nur kleinere Unterschiede in den T-jährlichen Niederschlagshöhen zeigen. Um zu vermeiden, dass an den Übergängen zwischen benachbarten KOSTRA-Zellen eine sprunghafte Veränderung der Niederschläge vorhanden ist, wird für das hydrologische Basismodell folgende Vorgehensweise gewählt:

- Auswahl einer mittleren KOSTRA-Zelle für das gesamte Einzugsgebiet. Sind die Niederschlagsstatistiken in den KOSTRA-Zellen, die das Einzugsgebiet abdecken, sehr unterschiedlich, kann das Gesamtgebiet in Niederschlagsregionen aufgeteilt werden. Jeder definierten Region wird eine ausgewählte KOSTRA-Zelle zugeordnet (siehe dazu auch 3.4). Das Einzugsgebiet der Bottwar wurde als Gesamtgebiet als eine Niederschlagsregion

betrachtet. Bei großen Einzugsgebieten wird empfohlen, jedes größere Zuflussgebiet als Niederschlagsregion zu definieren.

- Ermittlung der Niederschlagsstatistik [KOSTRA-DWD 2010R] für die gewählte KOSTRA-Zelle bzw. KOSTRA-Zelle pro Niederschlagsregion und Übergabe der T-jährlichen Niederschlagshöhen der verschiedenen Dauerstufen in die Datenbank „BFGM_Modell“. Dies kann beispielsweise mit Hilfe des Programms KOSTRA mit dem Argument „DB“ erfolgen.
- Ermittlung des mittleren jährlichen Gebietsniederschlags N_j für die verschiedenen Teileinzugsgebiete J (Abbildung 2.3). Dieser Niederschlag wird abgeleitet aus den REGNIE-Daten für die Jahre 1981 bis 2010 [DWD 2017A]. Zusätzlich ist der mittlere Jahresniederschlag N_G für jede Niederschlagsregion zu ermitteln.

Der Gebietsniederschlag $N_{j,T}(D)$ der Teilfläche J für die Jährlichkeit T und Dauerstufe D ergibt sich aus:

$$N_{j,T}(D) = N_{\text{KOSTRA},T}(D) \cdot f_{\text{Geb}} \cdot N_j / N_G$$

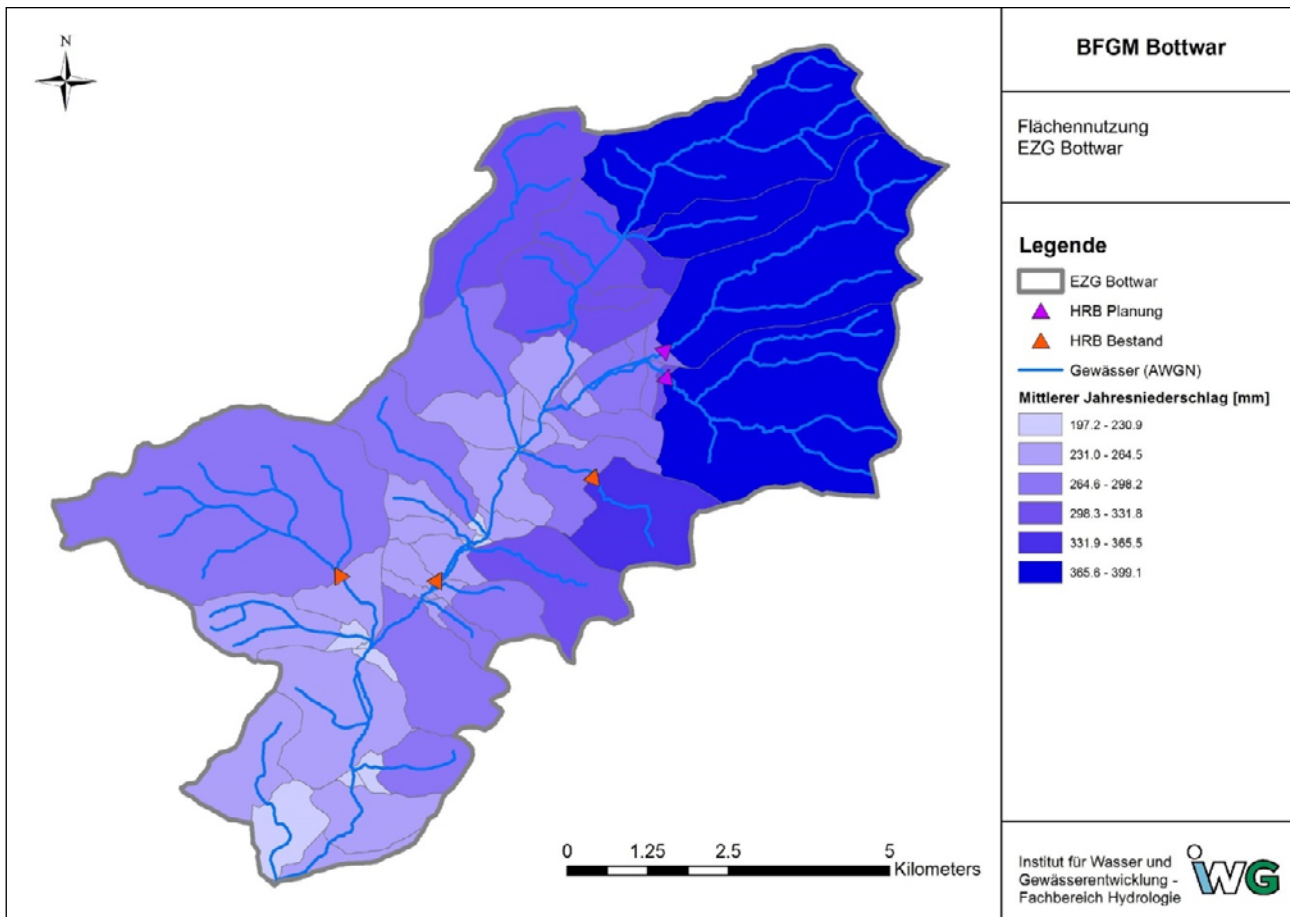


Abbildung 2.3: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen der Teileinzugsgebiete im Einzugsgebiet der Bottwar

Der Gebietsniederschlag ergibt sich somit über eine räumliche Verteilung der KOSTRA-Niederschläge über das Verhältnis der mittleren Jahresniederschläge. Bei sehr großen Einzugsgebieten kann zusätzlich über den Faktor f_{Geb} eine Abminderung des „Punktniederschlags“ auf den „Gebietsniederschlag“ vorgenommen werden (siehe dazu Tabelle 3.6 und Tabelle 3.9). Der Faktor f_{Geb} setzt sich multiplikativ aus zwei Anteilen zusammen. Über den globalen Faktor „NG_Kor“ (Tabelle 3.9) werden alle Niederschläge des entsprechenden Modells unabhängig von Jährlichkeit und Dauerstufe korrigiert. Zusätzlich kann eine Korrektur mit dem Faktor „Fak_Geb“ für eine bestimmte Niederschlagsregion vorgenommen werden. Die Abminderung sollte nur nach Rücksprache mit dem Auftraggeber (AG) stattfinden und entsprechend dokumentiert werden.

2.3 Niederschlag-Abfluss-Modellierung

Die Niederschlag-Abfluss-Modellierung erfolgt durch Anwendung der Regionalisierungsansätze nach LUTZ [LUTZ 1984, IHRINGER & LIEBERT 2012] für die Abflussbildung (Abflussbeiwert) und die Abflusskonzentration (Einheitsganglinie). Hierzu sind verschiedene Kennwerte und Parameter für die Teileinzugsgebiete erforderlich.

2.3.1 Abflussbildung

Bei der Abflussbildung werden die Flächennutzungen berücksichtigt, die in Abbildung 2.2 dargestellt sind. Der mittlere Endabflussbeiwert c eines Teilgebiets ergibt sich unter Berücksichtigung einer Bodenklasse (Maß für die Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit des Bodens) über eine flächengewichtete Mittelung der Endabflussbeiwerte aus Tabelle 2.1. Alternativ kann der Endabflussbeiwert c für jedes Teileinzugsgebiet unabhängig davon vorgegeben werden. Der Anfangsverlust wird ebenfalls über eine flächengewichtete Mittelung der Verlustwerte aus Tabelle 2.1 ermittelt oder unabhängig davon vorgegeben.

Die Parametrisierung der Regionalisierungsmodelle für Abflusskennwerte in Baden-Württemberg hat gezeigt, dass der Landschaftsfaktor LF ein Maß für die Abflussbildung ist. Deshalb kann die Bodenklasse über den Landschaftsfaktor LF des Teilgebiets abgeschätzt werden. Hierzu werden die Zuweisungen aus Tabelle 2.1 empfohlen. Sind in der Datenbank weder Bodenklasse noch Endabflussbeiwert angegeben, wird die Bodenklasse aus dem Landschaftsfaktor nach Tabelle 2.1 geschätzt.

Tabelle 2.1: Endabflussbeiwerte c und Anfangsverlust A_V für verschiedene Bodenklassen und Flächennutzungen

	Bodenklasse / Nummer						
	A / 1	AB / 2	B / 3	BC / 4	C / 5	CD / 6	D / 7
Endabflussbeiwert c							
Waldgebiet	0,17	0,33	0,48	0,55	0,62	0,66	0,70
Ackerflächen	0,56	0,64	0,71	0,76	0,81	0,84	0,86
Obst- und Weinbau	0,17	0,33	0,48	0,57	0,66	0,72	0,77
Grünland	0,10	0,35	0,60	0,67	0,74	0,77	0,80
Ödland	0,71	0,77	0,83	0,86	0,89	0,91	0,93
Feuchtfelder	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Wasser	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Anfangsverlust A_V							
landwirtschaftl. Fläche	7,0	5,5	4,0	3,0	2,0	1,8	1,5
Waldflächen	8,0	6,5	5,0	4,0	3,0	2,8	2,5
Landschaftsfaktor LF							
LF Bereich	< 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80	80 – 100	100 – 120	> 120

LW:W

Werden in einem Teilgebiet die Teilabflüsse der städtischen Flächen über das Stadtmodul berechnet, erfolgt die Berechnung des Endabflussbeiwerts c ohne Berücksichtigung der städtischen Flächenanteile. In solchen Fällen wird der Bebauungsanteil zu $U = 0\%$ gesetzt und der Waldanteil W wird auf die reduzierte ländliche Fläche des Teilgebiets bezogen.

2.3.2 Abflusskonzentration

Die Berechnung der Abflusskonzentration (Einheitsganglinie) erfolgt über den Regionalisierungsansatz nach LUTZ [LUTZ 1984, IHRINGER & LIEBERT 2012]. Hierfür müssen die Kennwerte P_1 , L , L_C und I_G für jedes Teileinzugsgebiet vorgegeben werden. Dabei ist zu beachten:

- Bei Zwischeneinzugsgebieten wird der P_1 -Wert, der in der Datenbank für das Teilgebiet vorgegeben ist mit dem Faktor „2,0“ multipliziert. Soll dies verhindert werden, muss in die Tabelle „FGM_Kennwerte“ für die entsprechende Fläche $0,5 \cdot P_1$ eingetragen werden. Alternativ kann auch die Abfrage „Output_FGM_Land“ in der Datenbank „BFGM_Modell“ angepasst werden.
- Insbesondere für sehr kleine Teileinzugsgebiete ist die Ableitung von plausiblen Werten für L , L_C und I_G oft nicht möglich oder sehr schwierig. Deshalb kann für sehr kleine Gebiete eine vereinfachte Schätzung der Größen vorgenommen werden. Diese Schätzung basiert auf folgenden Regressionsansätzen und wird angewandt, wenn einer der 3 Werte kleiner oder gleich „0“ vorgegeben ist:

$$L = a_1 \cdot A_E^{a_2}$$

$$L_C = b \cdot L$$

$$I_G = c \cdot \Delta h$$

- mit: L , L_C Fließlängen in [km]
 I_G Gewogenes Gefälle in [%]
 A_E Größe des Teilgebiets in [km²]
 Δh maximaler Höhenunterschied im Teilgebiet in [m]

Parameter: $a_1 = 2,2$
 $a_2 = 0,5$
 $b = 0,5$
 $c = 0,023$

2.3.3 Städtische Flächen und Kanalisation

Die Regenwasserableitung aus städtischen (bebauten) Teilflächen erfolgt über die Kanalisation. An Regenwasserentlastungsstellen wird das Regenwasser dem Gewässer zugeführt. Bei der Anwendung des hydrologischen Basismodells ist zunächst nicht vorgesehen, dass die einzelnen Entlastungsstellen modellmäßig erfasst werden. Es wird eine pauschalierte Berechnung der städtischen Abflussanteile vorgenommen. Dies erfolgt über folgende Annahmen:

- Die Abflussbeiwerte einer städtischen Fläche werden konstant gesetzt zu:

Siedlungsfläche dicht $\psi_S = 0,60$
 Siedlungsfläche locker $\psi_S = 0,30$

Treten beide Flächenarten auf, ergibt sich der Abflussbeiwert ψ_S über eine flächengewichtete Mittelung. Al-

ternativ kann der Abflussbeiwert in der Tabelle „FGM_Kennwerte“ vorgegeben werden (siehe Tabelle 3.5).

- Die Kennwerte für Regenwassereinleitungen werden folgendermaßen geschätzt:

Liegt für das Überlaufbecken der Regenwasserentlastungsstelle kein Volumen vor, wird dieses aus der angeschlossenen versiegelten Fläche über ein spezifisches Volumen von $25 \text{ m}^3/\text{ha}$ berechnet. Die versiegelte Fläche ergibt sich dabei aus der Summe der beiden Typen von Siedlungsflächen (dicht und locker) unter Berücksichtigung der zugehörigen Abflussbeiwerte ψ_s .

Die Leistungsfähigkeit der Drosselleitung wird zu $Q_{Dro} = 0 \text{ l/s}$ und die Leistungsfähigkeit der Entlastung auf unbeschränkt gesetzt. Es wird empfohlen, die Leistungsfähigkeit des Kanals zur Entlastungsstelle gleich dem städtischen Abfluss zu setzen, der sich für die Jährlichkeit $T = 3 \text{ a}$ ergibt. Größere Zuflüsse werden dann im städtischen Gebiet zurückgehalten. Diese Leistungsfähigkeit muss über eine Berechnung der beispielsweise 3-jährlichen Abflüsse ermittelt und in Tabelle „FGM_Kennwerte“ eingetragen werden (Tabelle 3.5 bei „F_Qmax“). Sollen bei der hydrologischen Modellierung einzelne Regenwasserentlastungsstellen mit ihren konkreten Kenngrößen berücksichtigt werden, ist folgendes zu beachten (siehe hierzu Tabelle 3.5): Die angeschlossene bebaute Fläche „F_AES“ muss von der Fläche des Teileinzugsgebiets „F_AE“ abgezogen werden. Deshalb muss an dem Knoten, an dem der Landabfluss berechnet wird bzw. in dem die bebaute Fläche liegt, das Attribut „F_AES“ (bebaute Fläche) negativ vorgegeben werden.

2.3.4 Basisabfluss

Der Basisabfluss wird aus der Größe des Teilgebiets und der Spende des mittleren Abfluss M_q ermittelt und zeitlich konstant gehalten. Als Abflussspende M_q wird die Spende des natürlichen mittleren Abflusses M_{qnat} aus dem Regionalisierungsmodell für den mittleren Abfluss M_Q verwendet. Diese Daten können der MQ-MNQ-Regionalisierung von Baden-Württemberg (Abfluss-BW) entnommen werden. Der Wert ist in Tabelle „FGM_Kennwerte“ (Tabelle 3.5, Attribut „F_MQs“) einzutragen.

2.3.5 Wellenverformung

Die Kennwerte für die Wellenverformung (Flood-Routing) werden in Tabelle 3.5 vorgegeben. Folgende Ansätze sind anwendbar:

- Translation:** Die Translationszeit wird in der Datenbank vorgegeben.
- Schwellenwertkaskade** mit 2 Retentionskonstanten: Die zugehörigen Daten werden in Tabelle „FGM_Kennwerte“ (Tabelle 3.5) vorgegeben. Die Retentionskonstanten können aus den Überflutungsflächen (Volumina) und den zugehörigen Abflüssen aus der HWGK-Erstellung geschätzt werden. Diese Methodik hat bei verschiedenen Pilot-Anwendungen sehr plausible Ergebnisse ergeben.
- Seeretentionsverfahren** mit Kennlinien, die sich aus den vorliegenden HWGK-Grundlagen ableiten lassen. Die Datensätze werden in getrennten Dateien gehalten und können über das Programm „SEERET GEW“ erstellt werden. Zusätzlich kann dabei eine Translationszeit in [h] vorgegeben werden. Die Aktivierung der Knoten ist in Abschnitt 3.3 beschrieben.

Für die Berechnung des Flood-Routings über die Schwellenwertkaskade können die Parameter für eine Gewässerstrecke beispielsweise folgendermaßen aus den Ergebnissen der HWGK-Erstellung abgeleitet werden.

- Auswertung der Überflutungstiefen für die Gewässerstrecke: Für die Jährlichkeiten $T = 10, 50$ und 100 a sowie $H_{Q_{extrem}}$ sind bezogen auf den unterstromigen Berechnungsknoten aus den vorliegenden HWGK-Daten die Größen Überflutungsvolumen $S_T [\text{m}^3]$ und Hochwasserabfluss $Q_T [\text{m}^3/\text{s}]$ zu bestimmen. Soweit vorhanden sollten die Auswertungen mit und ohne abflussbeeinflussenden Schutzmaßnahmen einbezogen werden.
- Ermittlung bzw. Abschätzung der mittleren Fließgeschwindigkeit $v_S [\text{m/s}]$ auf der Gewässerstrecke der Länge $L [\text{km}]$
- Berechnung der Parameter der Schwellenwertkaskade über folgende Schritte:
 - Ermittlung der mittleren Speicherkonstanten $k_{mit} [\text{h}]$ aus der gesamten Volumen-Abfluss-Beziehung

$$k_{mit} = \frac{1}{3600} \cdot \frac{S_{ob}}{Q_{ob}}$$

S_{ob} und Q_{ob} entsprechen dem Volumen und dem Abfluss bei $H_{Q_{100}}$ oder $H_{Q_{extrem}}$. In der Regel wird $H_{Q_{extrem}}$ verwendet.

- Der Schwellenwert Q_S wird i. d. R. gleich dem $H_{Q_{100}}$ aus den HWGK gesetzt.

- Ermittlung der ganzzahligen Anzahl n der Linearspeicher aus der mittleren Fließzeit t_f

$$t_f = \frac{1}{3,6} \cdot \frac{L}{v_S}$$

$$n = \text{int}\left(\frac{t_f}{k_{\text{mit}}}\right)$$

Die Anzahl n muss größer gleich 1 sein und ergibt sich als ganzzahliger Anteil des gerundeten Verhältnisses aus Fließzeit und mittlerer Speicherkonstanten.

Berechnung der Speicherkonstanten k_u [h] und k_o [h] für die Abflussbereiche unterhalb und oberhalb des Schwellenwerts Q_S .

$$k_u = \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{S_u(Q_S)}{Q_S}$$

$$k_o = \frac{1}{3\,600} \cdot \frac{S_{\text{ob}} - S_u(Q_S)}{Q_{\text{ob}} - Q_S}$$

- Bei der Berechnung der Parameter der Schwellenwertkaskade ist zu beachten: Verschiedenen Pilotanwendungen haben gezeigt, dass das aus der HWGK-Erstbearbeitung abgeleitete Überflutungsvolumen S_T insbesondere bei steilen Gewässerläufen zu groß ist. Für die Abschätzung plausibler Speicherkonstanten k_u und k_o muss das Volumen deshalb reduziert werden.

2.3.6 Betriebsmodell für wasserwirtschaftliche Anlagen

Die Berechnung des Betriebs wasserwirtschaftlichen Anlagen (Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren und Ableitungen) erfolgt über:

- Steuerung auf konstante Abgabe: Die zugehörigen Daten werden in der Datenbank vorgegeben (Tabelle 3.5).
- Seeretentionsverfahren: Seeretentionsverfahren mit den Speicherkennlinien, die in getrennten Dateien gehalten werden. Diese Dateien können über das Programm „SEERET“ erstellt werden.
Empfohlen wird die Berechnung über das Seeretentionsverfahren, damit auch die Retentionswirkung des außergewöhnlichen Hochwasserrückhalteriums nach Anspringen der Hochwasserentlastungsanlage berücksichtigt wird.
- Abflussverzweigung mit konstantem Schwellenwert: Der Schwellenwert und der Zielknoten für die Ableitung werden in der Datenbank vorgegeben (Tabelle 3.5).
- Abflussverzweigung mit Ableitung als Funktion des Zuflusses: Die Kennlinie der Ableitung wird in einer Datei analog zum Seeretentionsverfahren abgelegt. Die Abflusskure des Grundablasses entspricht dabei der Kennlinie der Ableitung mit „H=Zufluss“ und „Q=Abfluss“. Der Zielknoten für die Ableitung werden in der Datenbank vorgegeben (Tabelle 3.5).

3 Datenbank „BFGM_Modell“

Die Datenbank „BFGM_Modell“ ist das Archiv für sämtliche Daten und Informationen, die für die Anwendung des hydrologischen Basismodells „BFGM“ erforderlich sind. Das hydrologische Modell wird festgelegt über Gewässerknoten, die gebietspezifisch auf dem Gewässersystem definiert sind. Diese Knoten stellen somit die grundlegende Informationsebene dar. Alle weitergehenden Daten (z. B. Gebietskenngrößen, Abfluss-Kennwerte) sind an diese Gewässerknoten geknüpft. Zur eindeutigen Identifikation der Gewässerknoten dient das Datenbankattribut „ID“. Dieses Attribut hat die Eigenschaft Autowert, wird somit beim Einfügen eines neuen Knotens automatisch vergeben und ist nicht veränderbar. Dadurch können alle weiteren Daten und Informationen, die in verschiedenen Tabellen gespeichert sind, über das Attribut „ID“ eindeutig miteinander verknüpft werden.

Die Tabellen der Datenbank „BFGM_Modell“ sind mit ihrem Inhalt in Tabelle 3.1 zusammengestellt. Die meisten

der Tabellen, die als Liste „L_?“ aufgeführt sind, dienen dazu, dass eindeutige Bezeichnungen den einzelnen Gewässerknoten zugeordnet sind. Beispielsweise ist in der Tabelle „L_Knoten_Kategorie“ definiert, welche Kategorien von Gewässerknoten verwendet werden und wie diese bezeichnet sind. Einem Gewässerknoten können nur definierte Kategorien zugeordnet werden.

Einige der Attribute in den Tabellen müssen zwingend vorgegeben werden, andere wiederum werden automatisch in der Datenbank mit Default-Werten belegt. Wiederum andere Attribute werden zwar nicht in der Datenbank mit einem Standardwert versehen, dies erfolgt jedoch beim Aufbau der Modelldateien mithilfe des Programms „BFGM“. Die Attribute der einzelnen Tabellen sind farblich markiert, abhängig von der Bearbeitungsnotwendigkeit des Attributs. In Tabelle 3.2 sind die Farbcodierungen mit Beschreibung aufgeführt.

Tabelle 3.1: Tabellen in der Datenbank „BFGM_Modell“

Tabelle	Bedeutung/Inhalt	Verweis
FGM_Ergebnisse	Ergebnisse der FGM-Modellierung	Tabelle 5.1
FGM_Gebiets_Kennwerte	Kennwerte für die Teileinzugsgebiete	Tabelle 3.4
FGM_Kennwerte	Kennwerte für die FGM-Modellierung	Tabelle 3.5
FGM_Niederschlag	Definition der Niederschlagsereignisse	Tabelle 3.7
Gebiet_Niederschlag_Region	Kennwerte für die Niederschlagsregionen	Tabelle 3.6
L_Boden_Klasse	Liste der Bodenklassen für die Ermittlung des Endabflussbeiwerts c	Tabelle 2.1
L_FGM_Modelle	Liste/Zusammenstellung der FGM-Modelle	Tabelle 3.9
L_FGM_Version	Liste der FGM-Berechnungsversionen	Nicht aufgeführt
L_Flussgebiet	Liste der Flussgebiete	Nicht aufgeführt
L_Gewaesser_Knoten	Liste/Zusammenstellung der Gewässerknoten	Tabelle 3.3
L_Gewaesser_Namen	Liste/Zusammenstellung der AWGN-Gewässer (Stand: 2016)	Nicht aufgeführt
L_Hauptgewaesser	Liste der definierten Hauptgewässer	Nicht aufgeführt
L_Knoten_Kategorie	Liste der verschiedenen Kategorien der Gewässerknoten	Nicht aufgeführt



Tabelle 3.2: Farbcodierung der Tabellenzeilen mit den Datenbankattributen

Farbcode	Beschreibung
	Attribut muss gesetzt werden, andernfalls ist das Modell unvollständig und/oder u. U. nicht lauffähig. Einige Attribute müssen nur gesetzt werden, wenn zuvor ein anderes Attribut auf einen bestimmten Wert gesetzt wurde. Siehe dazu Spalte „Dann, wenn“. Einige Identifikationsnummern werden als Autowert von der Datenbank automatisch generiert, sobald ein neuer Eintrag angelegt wird, z. B. ID.
	Attribut wird zwar mit einem Default-Wert versehen, dieser sollte durch einen gebiets- oder modellspezifischen Parameter ersetzt werden.
	Attribut wird automatisch bei der Erstellung der FGM-Dateien mit dem Programm BFGM.exe aus gesetzten Attributen generiert oder es wird ein Default-Wert gesetzt. Eine Eingabe ist nur dann notwendig, wenn der Parameter explizit mit einem eigenen Wert belegt werden soll, weil weiterführende Informationen vorliegen oder für die Modellanpassung notwendig sind.
	Ein Default-Wert wird in der Datenbank gesetzt. Der Wert bleibt in der Regel unverändert. Anpassungen werden unter bestimmten Voraussetzungen vorgenommen, z. B. die Reduktion des Gebietsniederschlags.
	Parameter soll/muss definiert werden. Er hat aber keinen Einfluss auf die Modellierung, sondern dient lediglich der Information oder Dokumentation.
	Kann bei Bedarf definiert werden, wie z. B. Bemerkungen.
	Stammt aus externer Quelle, bei Hinzufügen eines neuen Datenbank-Eintrags wird dieses Attribut nicht gesetzt.
	Vorgegebene, unveränderliche Attribute, die für den Aufbau des Modells notwendig sind.



3.1 Gewässerknoten

Die Definition der Gewässerknoten erfolgt in der Tabelle „L_Gewaesser_Knoten“ mit den Attributen aus Tabelle 3.3. Über das Attribut „ID“ ist jeder Knoten eindeutig identifiziert. Die Verknüpfung der Gewässerknoten entsprechend dem Fließsystem im Einzugsgebiet erfolgt über die Zuweisung der nachfolgenden ID (Attribut: Folge_ID). Die Fließreihenfolge der Knoten im Gewässersystem wird über das Attribut „Fluess_Nr“ bestimmt. Diese Nummer muss einen Mindestabstand von 5 aufweisen und kann nach Einfügen neuer Knoten neu festgelegt werden.

Alle Gewässerknoten, bei denen das Attribut „Quell_ID“ gleich dem Attribut „ID“ ist, stellen „Kopfgebiete“ dar und repräsentieren somit das oberste Einzugsgebiet eines Gewässerlaufs. Das Attribut „Nummer“ orientiert sich an der Knotennummer aus der Datengrundlage der Regionalisierungsmodelle für die Abfluss-Kennwerte und ist ein

eindeutiges Attribut. Diese Nummern sollten, soweit dort vorhanden, übernommen werden. Neue Nummern sollten sich an den Benennungsregeln aus der Regionalisierung orientieren (siehe Tabelle 3.3).

Nach Einfügen von neuen Gewässerknoten müssen die entsprechenden Knoten (Attribut: ID) in die Tabellen „FGM_Gebiets_Kennwerte“ und „FGM_Kennwerte“ eingefügt werden. Dazu können die Abfragen „_00a_Anf_FGM_Gebietskennwerte“ und „_00b_Anf_FGM_Kennwerte“ verwendet werden (siehe Abschnitt 4).

Zu beachten ist:

Wird in der Tabelle „L_Gewaesser_Knoten“ ein Knoten gelöscht, werden alle Einträge, die in den verknüpften Tabellen (FGM_Kennwerte, FGM_Gebiets_Kennwerte, FGM_Ergebnisse) für diesen Knoten vorhanden sind, ebenfalls gelöscht.

Hinweis

Das Attribut **ID** ist eine eindeutige Nummer, die automatisch beim Anlegen eines neuen Knotens festgelegt wird. Sie beginnt bei 1 und steigt im Abstand von 1 bis zum n-ten Knoten.

Das Attribut **DB_ID** ist eine eindeutige Nummer des Knotens aus der Regionalisierung. Diese Nummer ist wie die ID in der Datengrundlage der Regionalisierung eindeutig und unveränderlich. Sie wird allerdings bei einem neuen Knoten in der BFGM-Datenbank nicht festgelegt. Die DB_ID wird zentral im Rahmen der FIS-Hydrologie vergeben.

Das Attribut **Fluess_Nr** bestimmt die Fließreihenfolge im Gewässersystem. Diese Nummer ist veränderlich und muss einen Mindestabstand von 5 zwischen den einzelnen Knoten aufweisen.

3.2 Gebietskennwerte

In der Tabelle „FGM_Gebiets_Kennwerte“ sind die Gebietskennwerte für die Teileinzugsgebiete abgelegt (Tabelle 3.4). Dabei handelt es sich zunächst um die Größen der Teilflächen mit bestimmten Flächennutzungen in [km²]. Für die Ableitung der Flächennutzung wurden 9 Flächennutzungsklassen aus dem Datensatz ATKIS-NoRA mit Stand 2013 abgeleitet und werden als Geodaten zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wird in dieser Tabelle auch der mittlere jährliche Gebietsniederschlag sowie der Landschaftsfaktor (optional) und die maximale Höhendifferenz des Teilgebiets abgelegt. Das Attribut „FGM_Kat“ entspricht der Kennzeichnung der Flächenart in den Geodaten.

Die Kenngrößen Bebauungsanteil U und Waldanteil W werden aus den Flächennutzungsdaten F_AE_SD und

F_AE_SL bzw. F_AE_WD aus Tabelle 3.3 und der Flächengröße AE aus Tabelle 3.4 berechnet. Alternativ können die beiden Kenngrößen auch fest vorgegeben werden. Hierfür stehen die Attribute F_U und F_W zur Verfügung. Weisen diese Attribute einen Wert größer gleich 0 auf, erfolgt keine Berechnung aus den Flächennutzungen.

Die mittlere Jahresniederschlagshöhe [mm] des Teilgebiets (F_N) wird aus den REGNIE Daten für den 30-jährigen Zeitraum 1981-2010 abgeleitet [DWD 2017A]. Eine Beschreibung gibt Abschnitt 2.2.

Im Attribut „Bemerkung“ kann eine Erläuterung zu den Kenngrößen der Teilfläche eingegeben werden.

Tabelle 3.3: Definition eines Gewässerknotens in der Tabelle „L_Gewaesser_Knoten“

Attribut	Bezeichnung
ID	eindeutige Referenz-Nummer für den Gewässerknoten; wird hier festgelegt
Fließ_Nr	Fließ-Reihenfolge der Gewässerknoten; diese Nummer muss mit einem Mindestabstand von 5 aufsteigend sein
Folge_ID	ID des nachfolgenden Knotens
Quell_ID	ID des Quellknotens (Knotennummer Quellgebiet) bezogen auf den aktuellen Knoten.
DB_ID	Datenbank-ID des Knotens aus der Regionalisierung der Abfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg (Abfluss-BW)
Nummer	eindeutige Nummer des Knotens mit folgender Systematik: Pegel (P): Pegelnummer Basisknoten (B): 13-stellige Kennziffer (z. B. 1 111 113 000 000) Sammelknoten (S): 13-stellige Kennziffer des folgenden Basisknotens mit vorgestellter „9“ (z. B. 91 111 113 000 000) Zusatzknoten (Z): 11-stellige Kennziffer in Anlehnung an die übergeordnete Basisfläche (z. B. 11 113 300 010) - Endnummer 10: Knoten am Hauptgewässer - Endnummer 20: Knoten am Zuflussgewässer Zusatz-Sammel (Y): Endnummer 30: zugehöriger Sammelknoten mit vorgestellter „9“: (z. B. 911 113 300 030) Sonderknoten (E): zusätzlich erforderliche Gewässerstelle ohne natürlichen Zufluss infolge Nebengewässer 8-stellige Kennziffer in Anlehnung an die übergeordnete Basisfläche (z. B. 11 113 061) bei Stauanlagen ergibt sich die Nummer aus der WABIS-Nummer der Anlage: 14-stellige Nummer mit vorgestellter - „1“: Zufluss zur Anlage - „2“: Abgabe der Anlage (z. B. 10 520 335 000 003 Zufluss)
Standort	Name der Gewässerstelle
Gewaesser	Name des Gewässers
Gew_ID	eindeutige ID des Gewässers aus dem AWGN, an dem der Knoten liegt; Die Gew_ID ist über die Tabelle „L_Gewaesser_Namen“ mit der Gewässer-Kennzahl und dem Gewässernamen verknüpft
Knt_Kat	Knoten-Kategorie (siehe Klammerausdrücke bei „Nummer“)
Rechtswert	x-Koordinate
Hochwert	y-Koordinate
Lage_HQ	Kilometrierung (Entfernung von der Mündung) in [km]
FGM_Trans	= TRUE: Knoten wird in Ergebnis-DB übertragen
FGM_neu	= TRUE: Knoten wurde neu eingefügt



Hinweis

Die meisten in Tabelle 3.4 enthaltenen Attribute liegen in Form von GIS-Shapefiles vor. Werden die Teileinzugsgebiete (mit ID) mit dem entsprechenden GIS-Shapefile verschnitten und in Form eines ASCII oder Excel-Files exportiert, so können sie anschließend in die Datenbank „BFGM_Modell“ importiert werden. Mittels Aktualisierungsabfrage können die Attribute in Tabelle 3.4 übernommen werden. Als Primärschlüssel wird das Attribut ID verwendet.

Tabelle 3.4: Attribute der Tabelle „FGM_Gebiets_Kennwerte“ für die Teileinzugsgebiete

Attribut	Bedeutung	FGM_Kat
ID	Datenbank-Kennung für den Knoten bzw. dem Teilgebiet	
F_AE_SD	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Siedlung dicht“ [km ²]	1
F_AE_SL	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Siedlung locker“ [km ²]	2
F_AE_AF	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Ackerfläche“ [km ²]	3
F_AE_OW	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Obst- und Weinbau“ [km ²]	4
F_AE_OE	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Ödland“ [km ²]	5
F_AE_GR	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Grünland“ [km ²]	6
F_AE_WD	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Wald“ [km ²]	7
F_AE_FL	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Feuchtfläche“ [km ²]	8
F_AE_WA	Größe der Teilfläche mit Nutzung „Wasser“ [km ²]	9
F_U	Bebauungsanteil [%]	
F_W	Waldanteil [%]	
F_N	mittlere Jahresniederschlagshöhe [mm] des Teilgebiets	
F_LF	Landschaftsfaktor des Teilgebiets	
F_DELH	maximale Höhendifferenz [m] im Teilgebiet	
Bemerkung	Erläuterungstext	

LUBW

3.3 Kennwerte für die Modellierung

Die wesentlichen Gebiets-Kennwerte und Parameter für die Modellierung sind in der Tabelle „FGM_Kennwerte“ (Tabelle 3.5) zusammengestellt. Mit den Attributen „L_FGM“ (Landabfluss), „S_FGM“ (Stadtabfluss), „H_FGM“ (Stauanlage) und „F_FGM“ (Wellenverformung) wird einem Knoten bzw. einer Gewässerstrecke die entsprechende Eigenschaft zugewiesen.

Die verschiedenen Modellparameter entsprechen den Parametern der hydrologischen Verfahren. Details sind in IHRINGER & LIEBERT [2012] beschrieben. Über das Attribut „F_N_Region“ wird der Knoten einer zuvor definierten Niederschlagsregion zugeordnet.

Die Kennwerte für die Anwendung des hydrologischen Modells (Auswahl der Verfahren und zugehörige Modellparameter) sind in der Tabelle „FGM_Kennwerte“ (Tabelle 3.5) abgelegt. Wenn keine Daten vorgegeben sind, werden für einige Kennwerte Default-Werte gesetzt oder

die Daten werden geschätzt. Dies geschieht, nicht in der Datenbank, sondern beim Aufbau der FGM-Dateien mit dem Programm „BFGM“ (siehe dazu Abschnitt 5). Default- und Schätzwerte sind unbedingt auf Plausibilität zu prüfen.

Zu beachten ist bei der Definition von:

- **Land- und Stadtabfluss:** Die Größen der ländlichen und städtischen Teilgebiete werden folgendermaßen vorgegeben:
 - F_AE Gesamtgröße des Teilgebiets in [km²], abgeleitet aus den Geodaten
 - F_AES Größe des städtischen Teilgebiets in [ha]
wenn >0: Größe, die i. d. R. aus dem AKP übernommen ist
wenn <0: Wert wird von der Landfläche abgezogen; ist erforderlich, wenn vorhandene Stadtflächen verschiedenen Teilgebieten zugeordnet werden müssen. Zum Beispiel städtische Fläche ist größer als F_AE

wenn = 0: städtisches Teilgebiet wird aus den Werten F_AE_SD und F_AE_SL in Tabelle 3.4 berechnet

- **Wellenverformung:** Bei der Definition der Wellenverformung (Flood-Routing) ist zu beachten:
 - Speicherkaskade: Die Speicherkaskaden werden mit dem Attribut F_Flood = 2 (Schwellenwertkaskade) gewählt. Dabei kann allgemein die Schwellenwertkaskade mit 4 Parametern (siehe Abschnitt 2.3.5) eingesetzt werden. Ist das Attribut F_Ret_V oder F_Qvoll kleiner oder gleich „0“ wird die 2-parametrische Speicherkaskade mit n und k eingesetzt
 - Seeretentionsverfahren: Die Kennlinien zur Anwendung des Seeretentionsverfahrens müssen über das Programm „SEERET GEW“ erstellt und im Verzeichnis der Datenbank im Unterverzeichnis „SEERET_GEW“ mit Namen „GEW_(ID).SEE“ abgelegt sein. Die ID (siehe Definitionen in der Datenbank) ist die Kennung des Knotens oberhalb der Gewässerstrecke (Zufluss zur Gewässerstrecke). Die ID ist mit 6 Stellen in den Dateinamen einzutragen (z. B.

GEW_000011.SEE für ID=11). Das Argument „GEW“ beim Programmaufruf bewirkt, dass nur die Abflusskurve des Gewässers und die Speicherinhaltslinie vorzugeben ist. Zusätzlich kann eine Translationszeit in [h] berücksichtigt werden. Die Aktivierung erfolgt, indem das Attribut „F_Flood=3“ gesetzt wird.

- **Betriebsmodell für wasserwirtschaftliche Anlagen:** Die Speicher-Kennlinien für das Seeretentionsverfahren müssen im Unterverzeichnis „SEERET_HRB“ abgelegt sein. Die Namen ergeben sich analog zur Wellenverformung zu „HRB_(ID).SEE“. Die ID ist mit 6 Stellen in den Dateinamen einzutragen (z. B. HRB_000263.SEE für ID=263)

Einer Gewässerstrecke kann entweder eine Wellenverformung (Attribut F_FGM) oder ein Betriebsmodell (Attribut H_FGM) zugeordnet werden. Wird das Attribut F_HRB (Art der wasserwirtschaftlichen Anlage) negativ eingegeben, ist die Stauanlage oder die Abflussverzweigung auch bei der Berechnungsvariante „FG0“ (ohne HRB) eingeschaltet.

Tabelle 3.5: Attribute der Tabelle „FGM_Kennwerte“ für die Teileinzugsgebiete mit zugehörigem Default-Wert

Attribut	Bedeutung	Default-Wert	Dann, wenn
ID	Datenbank-Kennung für den Knoten bzw. dem Teilgebiet		
Name_FGM	Text für die Bezeichnung des Knotens im FGM		
L_FGM	Fläche liefert Abfluss aus Landfläche		
S_FGM	Fläche liefert Abfluss aus Stadtfläche		
H_FGM	nachfolgende Gewässerstrecke mit HRB/Speicher		
F_FGM	nachfolgende Gewässerstrecke mit Wellenverformung		
F_AE	Größe des Teilgebiets [km ²]		
F_AES	Siedlungsfläche [ha], wenn >0: Wert wird ins Stadtmodell übernommen		
F_P1	Gebietsfaktor P1	0,225	
F_L	Fließlänge L [km]	siehe Text (2.3.2)	
F_LC	Fließlänge L _c [km]		
F_IG	gewogenes Gefälle [-]		
F_MQs	Spende des mittleren Abflusses	10 l/s/[km ²]	
F_Boden	Bodenklasse für c; aus Tabelle „L_Boden_Klasse“	BC	
F_AV	Anfangsverlust AV der Landfläche [mm]		
F_Cend	Endabflussbeiwert c der Landfläche	siehe Text (2.3.1)	
F_C1	Wert C ₁ für Ereignisfaktor	0,02	
F_C2	Wert C ₂ für Ereignisfaktor	4,62	
F_C3	Wert C ₃ für Ereignisfaktor	2,0	
F_C4	Wert C ₄ für Ereignisfaktor	0,0	
F_AVS	Anfangsverlust der Stadtfläche [mm]	1,0	
F_Psis	Abflussbeiwert der Stadtfläche [-]	siehe Text (2.3.3)	
F_UHN	Speicherkaskade der Stadtfläche: Anzahl n Speicher	2	
F_UHK	Speicherkonstante der Stadtfläche: k [h]	0.1	

Attribut	Bedeutung	Default-Wert	Dann, wenn
F_Qmax	maximaler Zufluss zum RÜB [l/s]	-1,0	
F_QDro	Drosselabfluss [l/s]	0,0	
F_QEnt	maximale Entlastung [l/s]	-1,0	
F_VB	Volumen des Überlaufbeckens [m³]	siehe Text (2.3.3)	
F_TF	Fließzeit zum Folgeknoten des Drosselabflusses [min]	0,0	
F_KID	ID des Folgeknoten für Drosselabfluss; Fließnummer des Folgeknotens muss größer als aktuelle Fließnummer sein	0	
F_HRB	Art der HRB-Abgabe: 0 kein HRB (temporär) 1 konstante Abgabe 2 Seeretention 3 Abflussverzweigung (konstanter Schwellenwert) 7 Abflussverzweigung als Funktion des Zuflusses F_HRB < 0: Anlage ist auch bei Variante „FG0“ aktiv		
F_Smax	gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum [m³]		
F_Qra	Regelabfluss Q_R [m³/s] in der Einstauphase bzw. Schwellenwert bei einer Abflussverzweigung		
F_Qre	Regelabfluss Q_R [m³/s] in der Entleerungsphase bzw. Zielknoten bei einer Abflussverzweigung		
F_Flood	Art des Flood-Routing: 1 Translation 2 Schwellenwertkaskade 3 Seeretentionsverfahren		
F_Trans	Translationszeit; >0: [h]; <0: [min]		
F_Qvoll	bordvoller Abfluss [m³/s]		
F_NLC	Anzahl der charakteristischen Abschnitte (n)		
F_Ret_G	Retentionskonstante k [h] für Abfluss im Gewässerbett		
F_Ret_V	Retentionskonstante k [h] für Abfluss im Gewässerbett und Vorland		
F_N_Region	Nummer der Niederschlags-Region aus Tabelle „Gebiet_Niederschlag_Region“		
Bemerkung	Erläuterungstexte für: Flood: Wellenverformung entlang der Fließ-Strecke GIS: zusätzliche Hinweise zur Ableitung aus GIS		

LUBW

3.4 Niederschlagsereignisse

Das hydrologische Basismodell berechnet aus synthetischen Niederschlagsereignissen bestimmter Jährlichkeiten und Dauerstufen, die aus KOSTRA-DWD 2010R abgeleitet sind, die Abflussganglinien. Niederschlagsereignisse sind zunächst einer Niederschlagsregion zugeordnet. Für diese Niederschlagsregion werden die T-jährlichen Niederschläge vorgegeben. Die Übertragung auf die verschiedenen Teilgebiete des Modells erfolgt über die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen (siehe Abschnitt 2.2).

Die Definition von Niederschlagsereignissen erfolgt in folgenden Schritten:

- **Festlegung von Niederschlagsregionen** für die aus KOSTRA die zugehörigen T-jährlichen Niederschlagshöhen abgeleitet werden. Im Einzugsgebiet der Bottwar ist beispielsweise das Gesamtgebiet der Bottwar eine Niederschlagsregion. Größere Einzugsgebiete können

in mehrere Niederschlagsregionen eingeteilt sein. Bei großen Einzugsgebieten wird empfohlen, jedes größere Zuflussgebiet als Niederschlagsregion zu betrachten. Die Regionen werden in der Tabelle „Gebiet_Niederschlag_Region“ definiert. Die Attribute sind in Tabelle 3.6 zusammengestellt. In dieser Tabelle bedeutet:

- N_ID Eindeutige Referenznummer (Autowert), mit der die Tabelle mit weiteren Tabellen verbunden werden kann
- NG mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag, abgeleitet aus REGNIE für 1981 bis 2010. Ist dieses Attribut kleiner oder gleich „0“ (für Testläufe) erfolgt keine Umrechnung die Niederschlagshöhen auf Basis der Jahresniederschläge. Die KOSTRA-Niederschläge werden dann original angewendet.
- Fak_Geb Faktor zur Abminderung des Punktniederschlags auf den Gebietsniederschlag

(wenn erforderlich für sehr große Einzugsgebiete). Dieser Faktor ist konstant für alle Jährlichkeiten und Dauerstufen.

- N_Ver Zeitliche Verschiebung des Niederschlagsbeginns. Diese Vorgabe kann entweder in Stunden (N_Ver negativ) oder in Zeitschritten (N_Ver positiv) gemacht werden
- S_Nr beliebige Nummer zur Sortierung der Regionen in der Tabelle
- Zuordnung der Teilgebiete zu der zugehörigen Niederschlagsregion (Attribut „F_N_Gebiet“ in Tabelle 3.5 „FGM_Kennwerte“).
- Eingabe der Niederschlagshöhen für die verschiedenen Jährlichkeiten und Dauerstufen in Tabelle „FGM_Niederschlag“ mit den Attributen aus Tabelle 3.7. Dabei kann jede Kombination (N_ID, T, D) nur einmal auftreten. Die Eingabe kann über das Programm „KOSTRA“ (mit Argument DB) erfolgen. Mit dem zusätzlichen Argument werden die T-jährlichen Niederschläge in die Datenbank eingetragen. Dabei wird die Monatszuweisung für die Ereignisse entsprechend Tabelle 3.8 vorge-

nommen. Alle Jährlichkeiten (außer T= 1 a) und Dauerstufen des Niederschlags, die in der Datendatei für das Programm „KOSTRA“ definiert sind, werden beim Argument „DB“ in die Datenbank übertragen. Sollen auch die Niederschläge mit Jährlichkeit T = 1 a verwendet werden, ist das Argument „DB1“ zu verwenden. Vor der Übertragung der Daten wird die Nummer der Region (N_ID) abgefragt.

Bei der Übertragung der Niederschlagshöhen werden folgende Default-Werte gesetzt:

- Vert Nummer der zeitlichen Niederschlagsverteilung (Vert=1: endbetont)
- Monat jahreszeitliche Zuordnung des Ereignisses nach Tabelle 3.8
- IV zeitliche Verschiebung des Niederschlagsbeginns, die zum Default-Wert von IV = 12 h addiert wird; der Wert von IV sollte stets negativ (in [h]) vorgegeben werden
- N_Fak Skalierungswert für die Niederschlagshöhen (N_Fak = 1)

Tabelle 3.6: Attribute der Tabelle „Gebiet_Niederschlag_Region“

Attribut	Bedeutung
N_ID	eindeutige ID (Autowert)
Name	Name der Region (EZG)
NG	mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag für die Niederschlagsregion [mm]
KOSTRA	Nummer der KOSTRA-Zelle
Fak_Geb	Gebietsabminderung für Niederschlag der entsprechenden Region
N_Ver	zeitliche zusätzliche Verschiebung des Niederschlags (>0: Zeitschritte; <0: Stunden); in der Regel ist N_Ver=0, dann gilt der Default-Wert von 12h
S_Nr	Sortiernummer



Tabelle 3.7: Attribute der Tabelle „FGM_Niederschlag“ (KOSTRA-Niederschlags-Höhen)

Attribut	Bedeutung
N_ID	Nummer der Region aus Tabelle „Gebiet_Niederschlag_Region“
T	Jährlichkeit [a]
D	Niederschlags-Dauerstufe [h]
NH	T-jährliche Niederschlagshöhe der Dauer D [mm]
Vert	Nummer der zeitlichen N-Verteilung
Monat	Monat des Ereignisses
IV	Anfangsverschiebung des Niederschlagsbeginns (>0: Zeitschritte; <0: Stunden)
N_Fak	Skalierungswert für die Niederschlagshöhen



Tabelle 3.8: Zuordnung der Jahreszeit (Monat) zur Dauerstufe D

Dauerstufe	Monat
D < 2 h	7
2 h ≤ D < 4 h	6
4 h ≤ D < 9 h	5
9 h ≤ D < 14 h	4
14 h ≤ D < 24 h	3
24 h ≤ D < 30 h	2
D ≥ 30 h	1



3.5 Definition eines Modells

Für die Anwendung des Flussgebietsmodells können ein oder mehrere Einzugsgebiets-Modelle definiert werden. Damit können sehr große Einzugsgebiete oder Einzugsgebiete mit einer großen Anzahl von Gewässerknoten in einzelne Modelle unterteilt werden. Damit lassen sich einzelne Teilbereich getrennt modellieren. Dies kann insbesondere bei der Modellkalibrierung vorteilhaft sein. Die definierten Modelle können auch aus verschiedenen, nicht zusammenhängenden Einzugsgebiete bestehen. Voraussetzung ist, dass alle Gewässerknoten in der Tabelle „L_Gewaesser_Knoten“ aufgeführt sind.

Zur Anwendung des Flussgebietsmodells wird der Bereich der Gewässerknoten, der ein bestimmtes Einzugsgebiet bzw. Teilgebiet beinhaltet, als Modell definiert werden. Dies erfolgt über die Tabelle „L_FGM_Modelle“ mit den Attributen aus Tabelle 3.9:

- M_Nr Nummer des Modells; die Nummer ist gleichzeitig Sortiernummer und kann beliebig verändert werden.
- NG_Kor Faktor zur Abminderung des Punktniederschlags auf den Gebietswert; dieser Faktor wird auf alle Niederschlagsereignisse des entsprechenden Modells angewandt.
- ID_A ID des ersten Knotens des Einzugsgebiets-Modells

- ID_E ID des letzten Knotens des Einzugsgebiets-Modells
- F_DT Berechnungszeitschritt Δt mit <0 in Minuten und >0 in Stunden; Default-Wert $\Delta t = 0,25$ h
- F_IQ maximale Anzahl der Berechnungszeitschritte für die Abflussganglinien
- D_Name Name der FGM-Dateien für die Dateien (*.GEW, *.LND, *.STA und *.ROU)
- P_Name Name des Verzeichnisses in das die Ergebnisdateien „.FG?“ nach der Berechnung verschoben werden können (Archivierung). Das Verzeichnis befindet sich im Laufwerk „Q:\“.
- V_Name Name des Unterverzeichnisses in dem die SEERET-Dateien für Hochwasserrückhaltebecken und für die Wellenverformung stehen. Das Verzeichnisse sind:
 „Q:\SEERET_GEW\V_Name\
 „Q:\SEERET_HRB\V_Name\
 erfolgt keine Eingabe für V_Name angegeben müssen die Dateien in „Q:\SEERET_GEW\ und „Q:\SEERET_HRB\“ stehen.
- F_Nr Nummer des Flussgebiets, in dem das Einzugsgebiet liegt; zur Gruppierung von mehreren Modellen.

Tabelle 3.9: Attribute der Tabelle „L_FGM_Modelle“

Attribut	Bedeutung	Default-Wert
M_Nr	Nummer des Modell-Gebiets (auch Sortiernummer)	
M_Name	Bezeichnung des Gebiets	
NG_Kor	Korrekturfaktor für Gebietsniederschlag	
ID_A	Knoten-ID des ersten Knotens (Startknoten)	
ID_E	Knoten-ID des letzten Knotens (Endknoten)	
F_DT	Berechnungs-Zeitschritt: >0 in Stunden und <0 in Minuten	0,25
F_IQ	max. Anzahl der Zeitschritte für Q-Ganglinien, die berechnet werden	600
D_Name	Name der FGM-Dateien	
P_Name	Verzeichnis für FGM-Dateien (Q:\P_Name)	
V_Name	Unterverzeichnis für die SEERET-Dateien	
FG_Nr	Nummer des Flussgebiets aus Tabelle „L_Flussgebiet“ 1: Donau 2: Bodensee 3: Hochrhein 4: Oberrhein 5: Neckar 7: Main	



4 Aufbau der Datenbank „BFGM_Modell“

Grundlage für die Anwendung des hydrologischen Basismodells „BFGM“ ist die modell- bzw. projektspezifische Datenbank „BFGM_Modell“, die einerseits alle hydrologisch relevanten Information zur Modellierung des Abflussverhaltens von Einzugsgebieten enthält und andererseits die Schnittstelle zu der Datenbank „Regional“ (Regionalisierungsmodelle für Abflusskennwerte in Baden-Württemberg) ist. Zur Ersterstellung der Datenbank „BFGM_Modell“ für ein bestimmtes Einzugsgebiet werden deshalb zunächst alle vorhandenen Informationen aus der Datenbank „Regional“ übernommen. Dabei handelt es sich vor allem um die Gewässerknoten, die im Rahmen der Abflussregionalisierung definiert sind und deren Knotenverbindungen. Die Ersterstellung ist in der Regel eine zentrale Aufgabe von FIS-Hydrologie. Die Vorgehensweise ist in der Dokumentation „BFGM_Modell – Aufbau einer projektspezifischen Datenbank“ beschrieben.

Zur Eingabe und Korrektur von Daten stehen in der Datenbank „BFGM_Modell“ verschiedene Abfragen zur Verfügung. Diese Abfragen weisen eine Nummerierung auf und können aufsteigend in der üblichen Bearbeitungsabfolge sortiert werden. Die Abfragen greifen auf die in Abbildung 4.1 verwiesenen Tabellen zu. Zudem sind die Attribute angegeben, die definiert werden müssen.

Die Datenbank „BFGM_Modell“ wird in der Regel in folgenden Schritten bearbeitet:

- Eingabe der Gewässerknoten:
Abfrage: _01a_Eingabe_Knoten
Zunächst sind die Gewässerknoten einzugeben. Die Knoten ID wird automatisch gesetzt. Wichtig dabei sind die richtigen Knotenverbindungen (ID und Folge_ID). Über die Nummer „Fließ_Nr“ ist die Fließreihenfolge der Knoten im Gewässersystem festzulegen. Diese Nummer muss immer einen Abstand von mindestens 5 aufweisen, damit bei der Modellanwendung zusätzliche Nummern eingefügt werden können.
Als Knotenkategorien sind zu setzen:
 - oberhalb von Zusammenflüssen: Knt_Kat = Z
 - unterhalb von Zusammenflüssen: Knt_Kat = Y
 - Knoten auf der Gewässerstrecke Knt_Kat = E
- Übertragung neuer Knoten in die Tabellen

- FGM_Gebiets_Kennwerte
Abfrage: _01b_Anf_FGM_Gebietskennwerte
- FGM_Kennwerte
Abfrage: _01c_Anf_FGM_Kennwerte
- Eingabe des FGM-Namens der Knoten und der Kennungen für Landabfluss, Stadtabfluss, Stauanlagen usw.
Abfrage: _02a_Eingabe_Kennungen
- Eingabe der Gebietskennwerte
Abfrage: _02b_Eingabe_Gebietskennwerte
- Eingabe der Parameter für Abflussbildung (Tabelle 3.5) für Knoten mit Landabfluss
Abfrage: _03a_Eingabe_Land_PSI
- Eingabe der Parameter für Abflusskonzentration (Tabelle 3.5) für Knoten mit Landabfluss
Abfrage: _03b_Eingabe_Land_UH
Eingabe der Parameter für Stadtabfluss (Tabelle 3.5) für Knoten mit Stadtabfluss
Abfrage: _03c_Eingabe_Daten_Stadt
Diese Eingabe ist nur erforderlich, wenn Regenentlastungsstellen mit ihren tatsächlichen Kenndaten berücksichtigt werden. Wird die Stadtfläche pauschal als ein fiktives Regenrückhaltebecken simuliert wird
Abfrage _06_Eingabe_Kanal_Qmax verwendet.
- Eingabe der Daten für Stauanlagen (Tabelle 3.5)
Abfrage: _03d_Eingabe_Daten_HRB
Zur Anwendung des Seeretentionsverfahrens (F_HRB = 2) muss die Datei mit den Kennlinien im HRB_ID.SEE im Unterverzeichnis SEERET_HRB stehen.
- Eingabe der Daten für Flood-Routing (Tabelle 3.5)
Abfrage: _03e_Eingabe_Daten_Flood
Zur Anwendung des Seeretentionsverfahrens (F_Flood = 3) muss die Datei mit den Kennlinien im GEW_ID.SEE im Unterverzeichnis SEERET_GEW stehen.
- Festlegung der Niederschlagsregion (Tabelle 3.6)
Abfrage: _04a_Eingabe_N_Region
- Zuweisung der Niederschlagsregion zu den Teilgebieten (Tabelle 3.5)
Abfrage: _04b_Knoten_Region
- Eingabe der T-jährlichen Niederschläge (Tabelle 3.7)
Abfrage: _04c_Eingabe_KOSTRA
Die T-jährlichen Niederschläge können mit dem Programm „KOSTRA.exe“ (Argument DB) in die Datenbank eingetragen werden. Die Übernahme der

KOSTRA-Daten in die Datenbank erfolgt über die

Abfrage: Input_KOSTRA

Diese Abfrage darf nicht geändert werden!

- Festlegung des FGM_Modells (Tabelle 3.9)
Abfrage: _05_Eingabe_FGM_Modell
- Eingabe der Leistungsfähigkeit der Kanalisation (Tabelle 3.5)
Abfrage: _06_Eingabe_Kanal_Qmax

Werden die Stadtflächen pauschal als ein fiktives Regenüberlaufbecken betrachtet, so wird beim Attribut F_Qmax der 3-jährliche Abfluss aus der Stadtfläche als Begrenzung der Leistungsfähigkeit angenommen. Die entsprechende Eingabe erfolgt manuell nach der ersten Modellrechnung für die Jährlichkeit T = 3 a.

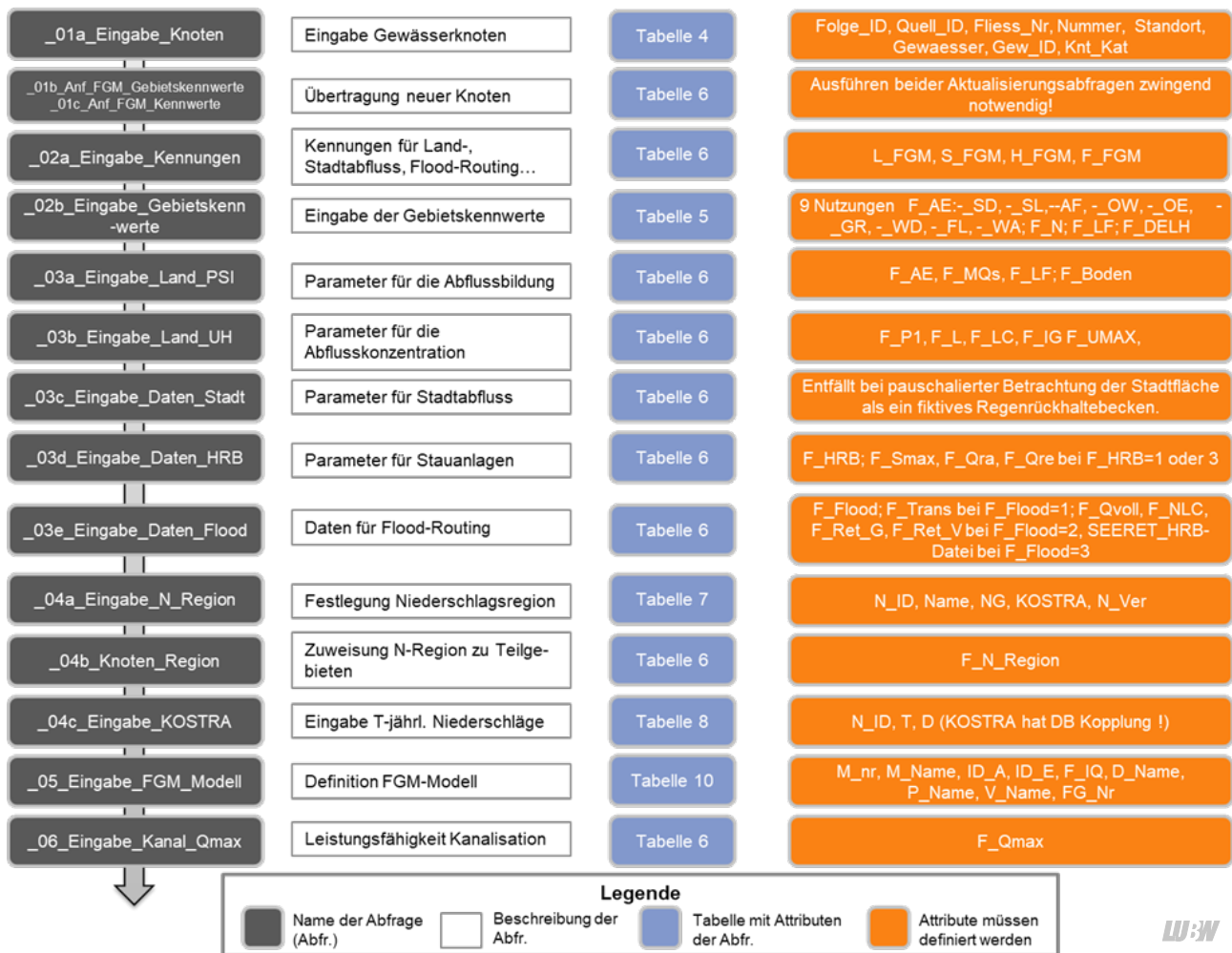


Abbildung 4.1: Abfragen für Eingabe der Modellparameter

5 Modellanwendung

Das Programm „**BFGM**“ erstellt die FGM-Eingabedateien, die Steuerungsdatei „FGM.IN“ und startet (optional) das Flussgebietsmodell. Hierzu werden folgende Abfragen in der Datenbank „BFGM_Modell“ verwendet:

- Output_FGM_Modell:
Ausgabe der definierten Modelle
- Output_FGM_Knoten:
Aufbau der Gewässernetzdatei *.GEW
- Output_FGM_Land:
Daten für den Abfluss aus Landflächen *.LND
- Output_FGM_Stadt:
Daten für den Abfluss aus Stadtflächen *.STD
- Output_FGM_Flood:
Daten für die Wellenverformung *.ROU
- Output_FGM_Regen:
Ereignisdaten *.ERG
- H_Abfrage_N_Teilgebiet
Hilfsabfrage für Output_FGM_Regen

Diese Abfragen dürfen nicht verändert werden!

Nach Auswahl des FGM-Modells generiert das Programm die Knotenabfolge für das FGM aus der Fließweg-Definition über das Attribut „ID“ und der aufsteigend sortierten „Fließ_Nr“. Beim Aufbau der Knotenabfolge werden zusätzliche Berechnungsknoten für alle Teilflächen mit Landabfluss und mit Stadtabfluss eingefügt. Somit stehen jeweils die zugehörigen Zuflussganglinien aus den Zwischeneinzugsgebieten zur Verfügung. Die zusätzlichen Knoten werden entweder mit „Q_Land“ oder mit „Q_Stadt“ bezeichnet. Keine zusätzlichen Knoten werden eingefügt, wenn der Knoten als „Kopf-Gebiet“ markiert ist und keine Stadtfläche vorhanden ist. Liegt im Kopf-Gebiet eine Stadtfläche vor, wird für diese ein zusätzlicher Knoten eingefügt. Die Zuordnung der FGM-Nummer („Nr“) zur Datenbankkennung („ID“) und Fließnummer („FV_NR“) wird in der Datei „*.LST“ abgelegt.

Beim Aufbau der Dateien für den Land- und Stadtabfluss werden die in Tabelle 3.5 aufgeführten Default-Werte gesetzt, wenn in der Datenbank für die entsprechenden Parameter keine Einträge vorhanden sind.

Mit dem Programm „BFGM“ können folgende Berechnungsvarianten erstellt und deren Ergebnisse abgespeichert (archiviert) werden:

- **ohne Stadtabfluss:** Mit dem Aufruf „**BFGM S**“ (optionaler Aufruf) erfolgt eine Berechnung ohne gesonderte Berücksichtigung der städtischen Teilflächen. Dies bedeutet, dass die städtischen Flächen als Landflächen mit einem erhöhten Bebauungsanteil (Abflusskonzentration) und einem erhöhten Abflussbeiwert (Abflussbildung) erfasst werden. Diese Berechnungsvariante kann mit der Methodik der Regionalisierung der Hochwasserabfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg verglichen werden, so dass ein entsprechender Datenvergleich möglich ist. Die Berechnungsergebnisse aus dem Modell „FGM“ erhalten die Extension „**FGS**“. Die Berücksichtigung des Stadtabflusses kann auch innerhalb der Programms „BFGM“ gewählt werden.
- **ohne HRB:** Mit dem Aufruf „**BFGM**“ wird der vorhandene Zustand mit städtischen Flächen aber ohne Berücksichtigung vorhandener wasserwirtschaftlicher Maßnahmen (Stauanlagen und Abflussverzweigungen) berechnen. Dieser IST-Zustand kann meistens für einen Vergleich mit der Hochwasserabflussstatistik an einem Pegel genutzt werden. Sind zur Modellierung des IST-Zustands beispielsweise vorhandene Retentionsräume zum Beispiel infolge von Abflussengstellen über die Annahme fiktiver Stauanlage zu erfassen, können diese bei dieser Berechnungsvariante generell zugeschaltet werden. Hierzu ist bei der Definition der Stauanlage bzw. einer stets wirksamen Abflussverzweigung die Art der Maßnahme (Attribut F_HRB in Tabelle 3.5) negativ vorzugeben. Die Berechnungsergebnisse aus dem Modell „FGM“ erhalten die Extension „**FGO**“. Aus diesen Ergebnissen wird die HWGK-Variante HQ_{100_oHRB} (ohne Hochwasserrückhaltebecken) abgeleitet.
- **mit HRB:** Mit dem Aufruf „**BFGM**“ und der zusätzlichen Aktivierung der HRB in der Programmmaske (Abbildung 5.3) werden alle definierten wasserwirtschaftlichen Maßnahmen (Stauanlagen und Abflussverzweigungen) eingeschaltet. Die Berechnungsergebnisse aus dem Modell „FGM“ erhalten die Extension „**FGM**“. Aus diesen Ergebnissen werden die HWGK-Varianten HQ_T mit Schutzmaßnahmen abgeleitet.

Die Berechnungsvariante „ohne Stadtabfluss“ und „mit HRB“ ist nicht vorgesehen.

Nach Aufbau der FGM-Dateien kann das Modell „FGM“ gestartet werden. Anschließend können die FGM-Dateien archiviert und die wesentlichen Ergebnisse in die Datenbank übernommen werden. Archivierung bedeutet, dass die Ergebnisdateien (*.FGS, *.FG0 und *.FGM) und die Liste mit der Zuordnung von FGM-Nummer und Knoten-ID (*.LST) in das Verzeichnis „P_Name“ verschoben werden. Alle Ergebnisdateien (*.FG?) können mit den Auswerteprogrammen des Flussgebietsmodells FGM aus dem Softwarepaket für Hochwasser gelesen werden.

Die Übernahme der Berechnungsergebnisse in die Datenbank erfolgt über

Abfrage: Input_Ergebnisse

Diese Abfrage darf nicht geändert werden !

Das Programm „BFGM“ kann mit verschiedenen Argumenten gestartet werden. Diese können über „BFGM ?“ am Bildschirm ausgegeben werden.

Die Argumente des Programms sind:

- BFGM ? Ausgabe der Argumente auf dem Bildschirm
- BFGM T Aktivierung des Testausdrucks
Ausgabe des Testausdrucks „BFGM.LOG“, in dem die Abläufe zur Erstellung der verschiedenen FGM-Dateien protokolliert werden
- BFGM S Berechnungsvariante ohne Stadtmodule
Erstellung der FGM-Dateien („*.FGS“)

- BFGM Nr Berechnung einer ausgewählten Jährlichkeit.

Es werden nur die verschiedenen Dauerstufen der ausgewählten Jährlichkeit $T = Nr$ berechnet. Ohne diese Vorgabe werden grundsätzlich alle Dauerstufen und Jährlichkeiten berechnet.

Erstellung der FGM-Dateien („*.FG0“) ohne HRB bzw. („*.FGM“) mit HRB

Die Argumente können auch kombiniert werden, z. B.:

BFGM 100 S Berechnungsvariante: 100-jährliche Ereignisse ohne Stadtmodule

Nach Aufruf des Programms wird zunächst das Flussgebiet (Abbildung 5.1) und anschließend das Modellgebiet (Abbildung 5.2) gewählt. Vor dem Start der Modellrechnungen können entsprechend Abbildung 5.3 noch der Name der FGM-Dateien, die Titelzeilen der Datensätze und die maximale Anzahl der Berechnungszeitschritte modifiziert werden. Hier wird zusätzlich gewählt, ob die Berechnung ohne (*.FG0) oder mit (*.FGM) Berücksichtigung der HRB („HRB umschalten“) erfolgen soll.

Nach dem Start der Ausführung werden die Daten des gewählten Modells aus der Datenbank ausgelesen, die FGM-Eingabedateien sowie die Steuerungsdatei „FGM.IN“ erstellt. Die Zuordnung der internen FGM-Nummer zu der entsprechenden Datenbank-Knotennummer wird in der Datei „*.LST“ aufgelistet. Nach Ausgabe der Dateien kann das Modell „FGM“ für alle Ereignisse gestartet werden.

Nach Ausführung der Modellrechnung können die Ergebnisse archiviert werden. Bei der Archivierung werden

Tabelle 5.1: Attribute der Tabelle „FGM_Ergebnisse“

Attribut	Bedeutung
M_Nr	INummer des Modells aus Tabelle „L_FGM_Modelle“
ID	ID des Knotens aus Tabelle „L_Gewaesser_Knoten“
F_Ver	Versionsnummer aus Tabelle „L_FGM_Version“ -1: ohne Stadt (*.FGS) 0: ohne HRB (*.FG0) 1: mit HRB (*.FGM)
T	Jährlichkeit
Dmx	maßgebende Niederschlags-Dauerstufe [h]
HQ	Abfluss-Scheitelwert des Ereignisses Dmx
FGM_Nr	FGM-Nr des Knotens



Abbildung 5.1: Auswahl des Flussgebiets

LUBW

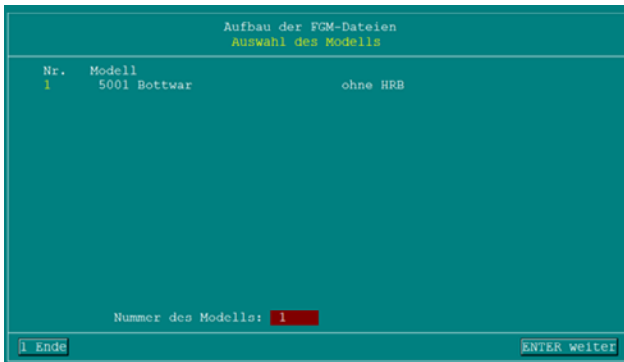


Abbildung 5.2: Auswahl des Modells

LUBW

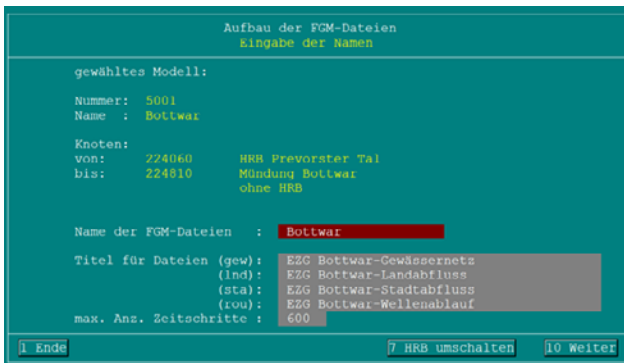


Abbildung 5.3: Eingaben für die Modellrechnung

LUBW

alle Ausgabedateien „*.FG?“ sowie die Datei „*.LST“ ins Verzeichnis „P_Name“ (Tabelle 3.9) verschoben und die wesentlichen Ergebnisse nach Tabelle 5.1 werden in die Datenbank übertragen. Dabei kann jede Kombination aus (M_Nr, ID, F_Ver, T) nur jeweils einmal auftreten. Zur Übertragung der FGM-Ergebnisse wird das Programm „BFGM_HQ“ für jede Jährlichkeit aufgerufen. Dieses Programm kann auch für einzelne Jährlichkeiten außerhalb von „BFGM“ eingesetzt werden.

Die Ergebnisse können in der Datenbank mit der

Abfrage: `_07_Ausgabe_Ergebnisse`

abgerufen werden. Hierfür ist das gewünschte Ereignis über Jährlichkeit T und Dauerstufe D im Abfrageentwurf zu wählen.

Die Abfragen `Transfer_FGM_Modell`
`Transfer_HQ_Ergebnisse`
`Transfer_Knoten`

dienen der Übertragung von ausgewählten Knoten mit ihren Berechnungsergebnisse in die Datenbank „BFGM_Ergebnisse“. Diese Abfragen sollten nicht verändert werden.

Die Transferknoten können gesetzt werden über die Abfrage:

`_10_Eingabe_Transfer_Knoten`

Für alle Knoten, für die Ganglinien in die Datenbank „BFGM_Ergebnisse“ geschrieben werden sollen, muss das Attribut `FGM_Trans` auf „Wahr“ gesetzt werden.

5.1 Unterverzeichnisse

Auf dem Laufwerk „Q:\“ befinden sich die Datenbank „BFGM_Modell“ und folgende Unterverzeichnisse auf:

- `Programm` Programme zum Ein- und Auslesen der Datenbank,
- `SEERET_GEW` Kennlinien für das Seeretentionsverfahren für Flood-Routing,
- `SEERET_HRB` Kennlinien für das Seeretentionsverfahren für Stauanlagen,
- „P_Name“ vorgegebene Verzeichnisse zur Archivierung der Berechnungsergebnisse für die Modelle (Tabelle 3.9)

5.2 Programm BFGM_HQ

Das Programm „BFGM-HQ“ ermittelt für jeden Knoten über die vorgegebenen Varianten den maximalen Abflussscheitelwert und überträgt die Daten entsprechend Tabelle 5.1 in die Datenbank.

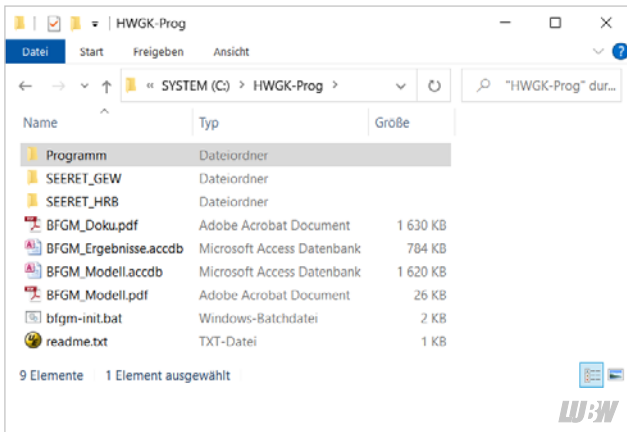
Das Programm wird im Programm „BFGM“ automatisch für alle berechneten Ereignisse gestartet, wenn die Archivierung der Ergebnisse gewählt wurde. Für einzelne Jährlichkeiten und Berechnungsvarianten kann das Programm auch manuell aufgerufen werden. Die „*.FG?“-Dateien, die ausgewertet werden sollen, müssen in der Datei „FGMVER.IN“ stehen. Diese Datei kann beispielsweise über das Programm „BFGM_WEL“ oder „FGMVER“ (Programm aus dem Softwarepaket „Hochwasseranalyse und -berechnung“) erstellt werden.

5.3 Programm BFGM_WEL

Das Programm „BFGM_WEL“ überträgt die Abflussganglinien der maßgebenden ländlichen und städtischen Teileinzugsgebiete zur Übergabe an die hydraulische Bearbeitung der HWGK in die Datenbank „BFGM_Ergebnisse“.

Diese Datenbank wird in der Regel erst nach Abschluss der hydrologischen Bearbeitung erstellt. Die zugehörige Beschreibung befindet sich im Dokument „Datenbank: BFGM_Ergebnisse“.

6 Anlage: Implementierung und Anwendung des Programmpakets „BFGM“



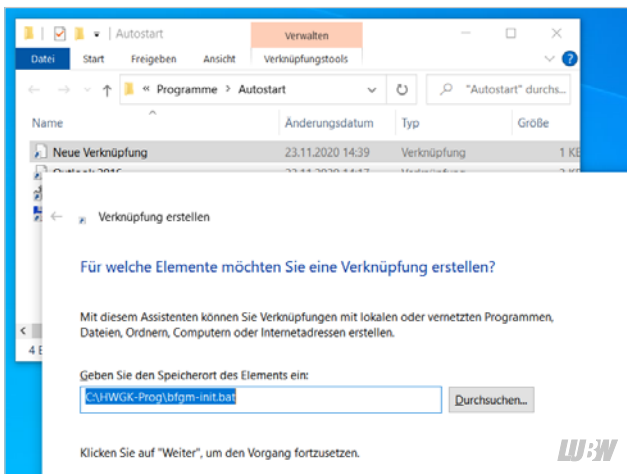
Das BFGM-Programmpaket mit Datenbank benötigt einen Microsoft Windows 10 (64bit) Arbeitsplatzrechner mit Microsoft Access 2019 (64bit).

Einrichten der Verzeichnisse

Das Paket wird als zip-Datei bereitgestellt und beinhaltet in einer definierten Verzeichnisstruktur unter anderem die Programme und die Datenbanken sowie die Dokumentationen.

Die zip-Datei umfasst alle Projektdaten und kann an einem beliebigen Ort auf dem Rechner entpackt werden, beispielsweise unter „C:\HWGK-Prog“. Bei der Wahl von Verzeichnissen muss gelten:

- keine Leerzeichen oder Sonderzeichen im Namen
- nicht im Ordner „Eigene Dateien“
- nicht unter C:\Programme (um Schreibzugriffe zu gewährleisten)

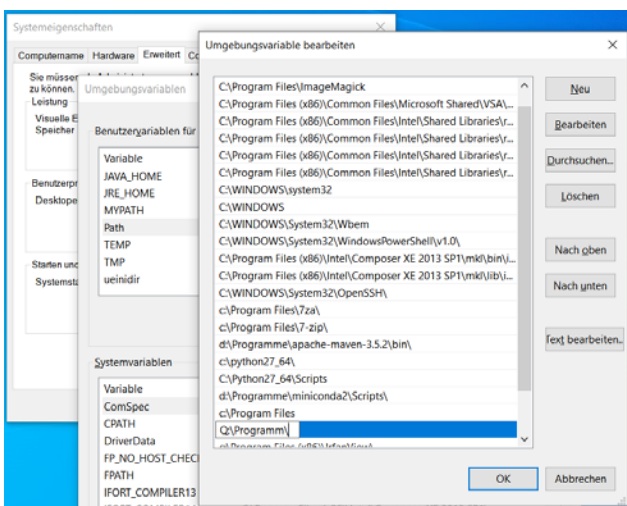


Die später durch die BFGM-Bearbeitung erzeugten Dateien für Berechnungsvarianten sollten zunächst in einem anderen Verzeichnis angelegt werden, beispielsweise unter C:\HWGK-Daten\. Auch hier gelten dieselben Regeln zur Namenswahl. Erst nach Fertigstellung der Berechnungen werden diese in der Datenbank und in einem speziellen Verzeichnis unter dem Laufwerk „Q:“ abgelegt.

Einrichten der Datenbankumgebung

- Das BFGM-Modellsystem muss unter der Laufwerkskennung „Q:“ ansprechbar sein. Dies bedeutet, dass das Verzeichnis, in dem die Datenbank steht, als Laufwerk „Q:“ definiert werden muss. Zur Erstellung dieser Verknüpfung liegt im Programmverzeichnis die Batch-Routine

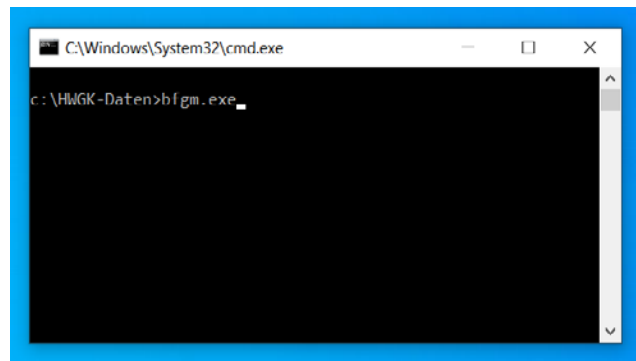
BFGM_Init.bat



Diese muss vom Benutzer nach dem Rechnerstart einmal ausgeführt werden.

Optional kann diese Batch-Datei in den Ordner „Auto-start“ eingefügt werden. Dann wird die Laufwerks-Verbindung bei jedem Rechnerstart automatisch hergestellt. Andernfalls muss die Batch-Datei bei jedem Start manuell ausgeführt werden.

[Windows] + R → „shell:startup“ → rechte Maustaste → Neu → Verknüpfung → bfgm-init.bat auswählen



U:W

Programme in die PATH Variable aufnehmen

Damit die BFGM-Programme (unter Q:\Programm\)) von überall auf dem Rechner aufgerufen werden können, empfiehlt sich die Aufnahme des Programmpfads in die PATH Variable von Windows. Dies kann in der Systemsteuerung bewerkstelligt werden.

[Windows] + R → „control“ → System → Erweiterte System-einstellungen → Umgebungsvariablen → „Path“ bearbeiten → Neu → „Q:\Programm\“

Sobald die Verknüpfung gesetzt ist, können die BFGM-Programme in der Konsole

[Windows] + R → „cmd“

in jedem Verzeichnis aufgerufen werden.

Links zu den Programmen auf dem Desktop

Alternativ kann zu jedem Programm ein Link auf dem Desktop angelegt werden.

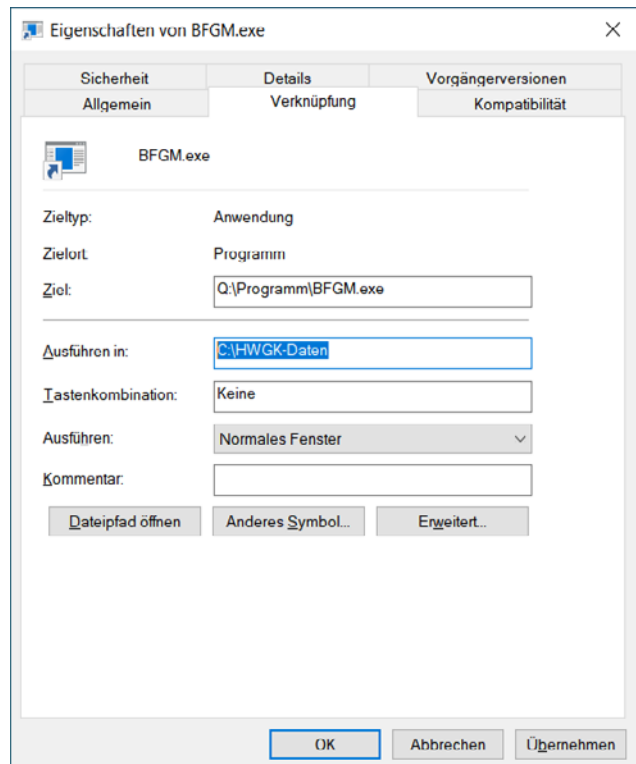
Dazu auf dem Desktop

rechte Maustaste → Neu → Verknüpfung → Q:\Programm\BFGM.exe auswählen

Anschließend, wichtig, nochmals in Eigenschaften der Verknüpfung

rechte Maustaste → Eigenschaften → Ausführen in C:\HWGK-Daten

das Arbeitsverzeichnis auf das Daten-Verzeichnis der BFGM Daten setzen.



U:W

Eine solche Verknüpfung kann für jedes der Programme

- BFGM.exe*
- BFGM_HQ.exe*
- FGMPL.exe*
- KOSTRA.exe*
- BFGM_WEL.exe*
- SEERET.exe*

angelegt werden.

7 Abbildungen und Tabellen

7.1 Abbildungen

Abbildung 1.1: Schematische Darstellung der Interaktion der Regional-DB mit den im Rahmen der BFGM-Methodik entwickelten Datenbanken	9
Abbildung 2.1: Einzugsgebiet der Bottwar mit topografischem Gradient, Markierung der HWGK-Gewässer und Lage der geplanten sowie vorhandenen HRBs	10
Abbildung 2.2: Einzugsgebiet der Bottwar mit Lage der Gewässerknoten, Abgrenzung der Teileinzugsgebiete und Flächennutzung	12
Abbildung 2.3: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen der Teileinzugsgebiete im Einzugsgebiet der Bottwar.	13
Abbildung 4.1: Abfragen für Eingabe der Modellparameter.	27
Abbildung 5.1: Auswahl des Flussgebiets	30
Abbildung 5.2: Auswahl des Modells.	30
Abbildung 5.3: Eingaben für die Modellrechnung	30

7.2 Tabellen

Tabelle 2.1: Endabflussbeiwerte c und Anfangsverlust A_V für verschiedene Bodenklassen und Flächennutzungen.	14
Tabelle 3.1: Tabellen in der Datenbank „BFGM_Modell“	17
Tabelle 3.2: Farbcodierung der Tabellenzeilen mit den Datenbankattributen	18
Tabelle 3.3: Definition eines Gewässerknotens in der Tabelle „L_Gewaesser_Knoten“	19
Tabelle 3.4: Attribute der Tabelle „FGM_Gebiets_Kennwerte“ für die Teileinzugsgebiete	20
Tabelle 3.5: Attribute der Tabelle „FGM_Kennwerte“ für die Teileinzugsgebiete mit zugehörigem Default-Wert	21
Tabelle 3.6: Attribute der Tabelle „Gebiet_Niederschlag_Region“	23
Tabelle 3.7: Attribute der Tabelle „FGM_Niederschlag“ (KOSTRA-Niederschlags-Höhen)	23
Tabelle 3.8: Zuordnung der Jahreszeit (Monat) zur Dauerstufe D.	24
Tabelle 3.9: Attribute der Tabelle „L_FGM_Modelle“	25
Tabelle 5.1: Attribute der Tabelle „FGM_Ergebnisse“	29

8 Literatur und Quellen

- DWD (2017A):
„REGNIE (REGionalisierte NIEederschläge): Verfahrensbeschreibung & Nutzeranleitung, interner Bericht des DWD (Deutscher Wetterdienst), Offenbach
- DWD (2017B):
„KOSTRA-DWD-2010R – Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010 – Abschlussbericht“, Deutscher Wetterdienst Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main, Juli 2017
- IHRINGER & LIEBERT (2012):
„SOFTWAREPAKET: Hochwasseranalyse und -berechnung, Anwenderhandbuch“, Version 7.0, IWG – KIT Karlsruhe
- LUTZ, W. (1984):
„Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen“, Mitteilung Nr. 24 des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe

