

## Anlage 16/1: Modellierung der Grundwasserneubildung – Methodik

Die flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist das Ergebnis der Bodenwasserhaushaltsmodellierung mit dem Modell GWN-BW (Vers. 3.1) unter anschließender Verrechnung des modellierten Gesamtabflusses mit dem flächenhaften Baseflow-Index (BFI, s. Punkt 2 f. und Anlage 16/2: Anpassung des Baseflow-Index) (Gleichung 1).

Grundwasserneubildung = Gesamtabfluss x BFI

Gleichung 1

### 1. Bodenwasserhaushaltsmodellierung

GWN-BW ist ein modular aufgebautes, deterministisches und flächendifferenziertes Modell zur Berechnung der tatsächlichen Verdunstung, zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und der unterhalb der durchwurzelten Bodenzone gebildeten Sickerwassermenge (Gudera & Morhard 2015).

Die Modellierung des Bodenwasserhaushalts erfolgt auf Basis von Einzelflächen (nachfolgend Grundflächen genannt), die aus der Verschneidung von Landnutzung (ATKIS) und Bodenkarte (ÜBK25) resultieren. Die Parametrisierung der Grundflächen erfolgt über physiographische Daten, die aus dem Höhenmodell (DGM), der Landnutzung, der Bodenkarte sowie der Flurabstandskarte abgeleitet werden (Kopp et al. 2018). (Tabelle 1)

Tabelle 1: Vergleichende Übersicht von Datengrundlage und Auflösung der Bodenwasserhaushaltsrechnungen mit GWN-BW

| Datengrundlage                  | Modellierungsvariante                                    |   |
|---------------------------------|--|---|
|                                 | KLIWA-Projekt  | Schwerpunktregionen   |
| Digitales Geländemodell (DGM)   | 25 m Raster  | 10 m Raster   |
| Bodenkarte                      | BÜK1000<br>1:1.000.000                                   | ÜBK25<br>1:25.000   |
| Landnutzungsklassifikation      | CORINE 2000<br>1:100.000                                 | ATKIS<br>1:25.000   |
| Flurabstandskarte               | 200 m Raster   | 10 m Raster<br>Basis:<br>Aktuelle GWGL-Pläne 1:100.000<br>DGM: 10 m Raster<br>Bisherige Karte: 200 m Raster |
| REGNIE Niederschlagsdaten (DWD) | 1 km Raster<br>Tageswerte 1951-2019                      | 1 km Raster<br>Tageswerte 1951-2018   |
| Klimadaten (Stationswerte, DWD) | Tageswerte 1951-2019                                     | Tageswerte 1951-2018  |
| Modellierungszeitraum           | 1951-2019  | 1951-2018   |
| Aktualisierungsintervall        | jährlich   | Noch festzulegen  |
| Anzahl Grundflächen             | Osterhofener Platte 2.088<br>Würzburg/Schweinfurt: 4.273 | Osterhofener Platte 34.988<br>Würzburg/Schweinfurt 62.538   |

Die von der Modellierungssoftware GWN-BW verwendeten physiographischen Landnutzungseigenschaften basieren auf parametrisierten Einheiten der Corine-Klassifikation. Unter Verwendung von ATKIS-Landnutzungsdaten in der Modellierung der Schwerpunktgebiete müssen diese daher im Vorfeld der Modellierung mit GWN-BW aufbereitet (Beseitigung von

strukturbedingten Überlagerungen und Priorisierung von Einheiten) und in die entsprechenden Corine-Einheiten übersetzt werden.

## 2. Baseflow Index (BFI)

Die Bestimmung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag erfordert eine, der Bodenwasserhaushaltsmodellierung nachgeschaltete, Reduktion des Gesamtabflusses um die Direktabflussanteile. Als Verlustgröße innerhalb der Wasserbilanz beschreibt der BFI den Direktabfluss, der sich insbesondere durch Oberflächenabfluss und Interflow speist. Er wird durch den Quotienten aus Basis- und Gesamtabfluss gebildet und liegt somit zwischen 0 und 1. Ein BFI=0 bedeutet, dass 0 % des Gesamtabflusses dem Grundwasser zugeführt werden. BFI=1 bedeutet, dass 100 % des Gesamtabflusses grundwasserneubildungswirksam werden. Der BFI liegt für Bayern in regionalisierter Form für die gesamte Landesfläche vor. Er ist das Ergebnis multipler linearer Regressionsanalysen einzugsgebietsspezifischer und somit zeitinvarianter Größen im Maßstab 1:500.000. Die berücksichtigten Eingangsgrößen sind in Tabelle 2 aufgeführt. (LfU 2009)

*Tabelle 2: Eingangsdaten der Regressionsanalysen zur Ermittlung des bayernweiten Baseflow-Index (LfU 2009)*

| Bezeichnung Eingangsdaten     | Parameter  |
|-------------------------------|--|
| Pegeldaten<br>Stationsdaten   | Gesamtabfluss<br>Basisabfluss                                      |
| Bodendaten BÜK1000            | Feldkapazität<br>Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums |
| Landnutzung CORINE            | Nutzungsklassen Grünland, Acker, Wald                              |
| Digitales Geländemodell DGM25 | Hangneigung<br>Höhe<br>Exposition                                  |
| GwFlurabstand                 | Grundwasserflurabstand   |
| Gewässernetz DLM1000W         | Gewässernetzdichte   |
| REGNIE                        | Verhältnis Sommer-/Winterniederschlag                              |
| Hydrogeologie HÜK200          | Hydraulische Leitfähigkeit<br>Transmissivität                      |

Für die aktuelle, räumlich höher aufgelöste Modellierung in den Schwerpunktregionen kann der bayernweit vorhandene BFI aufgrund seiner veralteten Datengrundlage und unzureichenden räumlichen Auflösung nicht ohne Weiteres angewendet werden. In der Konsequenz besteht die Notwendigkeit einer gebietsspezifischen Anpassung des BFI, der die direktabflussrelevanten Gebietscharakteristika ausreichend wiedergibt.

## 3. Anpassung des BFI

Am Beispiel des Schwerpunktgebiets der Osterhofener Platte, wurde eine Standardmethodik zur Anpassung des bayernweiten BFI an die nun höher aufgelösten Gebietscharakteristika erarbeitet. Diese soll als Grundlage dienen für die Anpassung in den übrigen Schwerpunktregionen. Aufgrund besonderer Charakteristika, die die Abflussanteile in anderen Schwerpunktgebieten determinieren können (bspw. Karst), müssen in Abstimmung mit den betroffenen WWA ggf. weitere Daten berücksichtigt und die Methodik entsprechend angeglichen werden.

Basierend auf einer statistischen Auswertung des ursprünglichen bayernweiten BFI-Datensatzes anhand der Direktabfluss-bestimmenden Parameter im Schwerpunktgebiet und gestützt durch Literaturangaben, wurden den Grundflächen neue BFI-Werte gemäß ihrer Direktabfluss-

bestimmenden Charakteristika zugeschrieben. Im Zuge dessen wurden auch bislang vernachlässigte Einflüsse durch Versiegelung (bislang nur über einen sehr pauschalen berücksichtigt) und Drainage (bislang unberücksichtigt) einbezogen. Die Resultate der BFI-Anpassung sind in Anlage 16/2.6: Ergebnisse der BFI-Anpassung aufgeführt.

Für nähere Informationen zur Methodik der BFI-Anpassung sei auf Anlage 16/2: Anpassung des Baseflow-Index verwiesen.

## Anlage 16/2: Anpassung des Baseflow-Index am Beispiel des Schwerpunktgebietes Osterhofener Platte

### Anlage 16/2.1: Allgemeines Vorgehen bei der gebietsspezifischen BFI-Anpassung im Schwerpunktgebiet Osterhofener Platte

Die Methodik der BFI-Anpassung basiert auf den folgenden grundlegenden Annahmen:

- Die maßgebenden Kombinationen der wichtigsten zeitinvarianten Einflussgrößen auf den Direktabfluss führen zu spezifischen BFI-Werten.
- Eine Neuzuschreibung der BFI-Werte kann anhand der durch Literaturangaben bekannten Spezifika der relevanten Parameterkombinationen erfolgen.

Darauf aufbauend gestalteten sich die wesentlichen Arbeitsschritte wie folgt:

#### 1. Auswahl und Klassifizierung der wichtigsten zeitinvarianten Einflussgrößen für den Direktabfluss (Anlage 16/2.4: Parameterklassen im Schwerpunktgebiet)

Orientierung der Klassifizierung und Parameter an Messer (1997)

- Hauptflächennutzung
  - A Acker
  - G Grünland
  - F Forst
  - O sonstige
- Hydrologischer Bodentyp (nach DVWK 113) nach Versickerungsvermögen
  - A bspw. tiefe Sand- und Kiesböden
  - B bspw. tiefe bis mäßig tiefe Böden mit feiner bis mäßig grober Textur, mitteltiefe Sandböden, Löß, (schwach) lehmiger Sand
  - C bspw. Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauender Schicht, flache Sandböden, sandiger Lehm
  - D bspw. Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauerhaft hohem GW-Spiegel
- Hangneigung
  - < 2 %
  - 2-4 %
  - 4-10 %
  - > 10 %
- Flurabstand
  - < 1 m
  - 1-3 m (nach stat. Auswertung konnten die Klassen 1-2m und 2-3m zusammengefasst werden)
  - > 3 m

## **2. Datenaufbereitung und statistische Analyse über die Wertverteilung des alten BFI in den Parameterkombinationen**

- dabei gesonderte Betrachtung von Hauptflächennutzung 0 „sonstige“ (Anlage 16/2.6: Ergebnisse der BFI-Anpassung, Tabelle 4): differenziertere Betrachtung nach Corine-Landnutzung, u.a. Hinzuziehung des bayernweiten Versiegelungsrasters und Abgleich mit Luftbildern

## **3. Übersetzung von Literaturangaben zum Direktabfluss in BFI-Werte**

### **4. Ableitung neuer BFI-Werte**

- Setzen von Annahmen zu Absolut- und Relativwerten auf Basis von 2. und 3.
- Annahmen werden gestützt durch Angaben der Fachliteratur zum Direktabfluss und zu Drainagewirkung (vgl. Anlage 16/2.3: Relevanz und Berücksichtigung von Drainagen) auf den Wasserhaushalt
- In den wahrscheinlich drainierten Parameterkombinationen (Anlage 16/2.6: Ergebnisse der BFI-Anpassung, blaue Hinterlegung in Tabelle 3) wird neben einem BFI-Wert ohne Drainage zusätzlich ein Alternativwert („BFI drainiert“) erarbeitet, der die Wirkung von Drainage berücksichtigt

### **5. Neuzuschreibung des BFI auf Grundflächenbasis anhand der spezifischen Parameterkombination** (Anlage 16/2.6: Ergebnisse der BFI-Anpassung)

- Die Alternativwerte des BFI („BFI drainiert“) finden nur dann Anwendung, , sofern die betroffene Grundfläche in der Kulisse potentiell drainierter Flächen (LfU 2014) enthalten ist (
- 
- Anlage 16/2.5: Drainagekulissen, Kulisse „potentiell drainierter Flächen“ - orange). Daraus resultiert (aufgrund der durch die Parameter fixierten Bedingungen) auch eine Flächenreduktion der Kulisse möglicher drainierter Flächen. In
- 
- Anlage 16/2.5: Drainagekulissen ist diese reduzierte Kulisse als „wahrscheinlich drainiert“ (rot) ausgewiesen. Nur in diesen Bereichen wird die Wirkung von Drainage berücksichtigt.

## Anlage 16/2.2: Annahmen bei der gebietsspezifischen BFI-Anpassung im Schwerpunktgebiet Osterhofener Platte in den Kombinationen mit Flächennutzung Acker, Grünland oder Forst

Aufgrund der mangelhaften Verfügbarkeit qualifizierter Daten, sowie der unzureichenden Datengrundlage des alten BFI, ist das Setzen von Annahmen im Arbeitsschritt 4 unumgänglich. Diese fokussieren auf den spezifischen Einfluss der Parameter und werden nachfolgend vorgestellt. Die getroffenen Annahmen werden gestützt durch Literaturangaben und Expertenwissen.

### **1. Einfluss der Flächennutzung auf den Direktabfluss/BFI**

- Insbesondere bei geringen Flurabständen spielen lokale Senken für die Versickerung und den Direktabfluss eine Rolle (Gramlich et al. 2018 nach Acreman und Holden 2013, Lennartz et al. 2011 und Scott et al. 1998).
- Es wird angenommen, dass der BFI aufgrund der Häufigkeit lokaler Senken und der Intensität von Bewirtschaftungsmaßnahmen prinzipiell in folgender Reihenfolge steigt: BFI Acker < BFI Grünland < BFI Forst

### **Annahmen zum Drainageeinfluss**

- Drainagen werden im Schwerpunktgebiet Osterhofener Platte nur für die Hauptflächennutzung Acker und Grünland, nicht jedoch für Wald/Forst angenommen (WWA DEG, Mail vom 25.6.2020).
- Drainage von Acker und Grünland führt besonders bei niedrigen Hangneigungsklassen zu niedrigeren BFI-Werten.
- Die Drainagewirkung liegt auf Ackerflächen höher als bei Grünland, da hier bewirtschaftungsbedingt eine höhere Dichte von Drainen anzunehmen ist.

## 2. Einfluss des Flurabstands auf den Direktabfluss/BFI

- Niedrige Flurabstände führen unter Umständen zu frühzeitiger Sättigung des Bodenspeichers und somit zu Oberflächenabfluss (vgl. Gramlich et al. 2018). Dadurch nimmt der BFI im Allgemeinen mit geringerem Flurabstand ab.

### **Annahmen zum Drainageeinfluss**

- Die Draintiefe beträgt nach DIN1185 Blatt 1 ca. 0,8-1,2 m. Bei tiefgründigen Böden und tief wurzelnden Pflanzen kann sie gar 1,8 m betragen. Laut LUNG Mecklenburg-Vorpommern (2010) kann Drainage auch bei höheren Flurabständen (> 5m) angenommen werden.
- Unter Berücksichtigung potentieller, saisonaler Flurabstandsschwankungen wird Drainagewirkung daher auf Parameterkombinationen mit Flurabstandsklassen bis < 3 m beschränkt.

Ausnahme: hydrologische Bodentypen C und D aufgrund möglicher Stauhorizonte im Boden

## 3. Einfluss der Hangneigung

- Bei höherer Hangneigung wird der BFI aufgrund des zunehmenden Oberflächenabflussanteils reduziert.

### **Annahmen zur Drainage**

- Drainagen werden auf die Flächen mit Hangneigung < 4% begrenzt (vgl. (1) DIN 1185 Blatt 2: Drainage bei < 7% und (2) Angabe WWA DEG (Mail vom 25.6.2020), dass möglicherweise drainierte Flächen keine nennenswerte Neigung aufweisen)
- Bei einer Hangneigung < 2% findet eine effizientere Ableitung durch Drainagen und somit eine Reduktion des BFI statt.  
Bei einer Hangneigung > 2% steigt die Relevanz von Oberflächenabfluss. Dieser kann durch Drainagen reduziert werden (vgl. Gramlich et al. 2018). Der Nettoeffekt von Drainage (Reduktion des Oberflächenabflusses und dennoch direkter Wasserableitung) und Oberflächenabfluss muss abgewogen werden.

## 4. Einfluss des Bodentyps auf den Direktabfluss/BFI

- Der BFI reduziert sich mit abnehmendem Infiltrationsvermögen.
- Besonders C und D-Böden ermöglichen vermehrt Oberflächenabfluss aufgrund unzureichender Infiltration oder/und Interflow infolge stauender Horizonte.

### **Annahmen zur Drainage**

- Nach Gramlich et al. (2018) führt Drainage von sandigen und lehmigen Böden zur Erhöhung des Direktabflusses (vgl. Gramlich et al. 2018)
- Je geringer die hydraulische Leitfähigkeit des Bodens ist, desto geringer ist die effektive Drainagewirkung gegenüber einer undrainierten Situation (Muma et al. 2016).
  - a) Absolute Drainagewirkung: ca. 40 % des Gesamtabflusses bei Silt- und Lehm Böden (entspricht C und D-Böden) bei landwirtschaftlicher Nutzung drainiert (vgl. King et al. 2014). Für durchlässigere Böden ist eine höhere effektive Drainage anzunehmen.

- b) Relative Drainagewirkung: Muma et al. (2016) modellierten die Drainagewirkung in einem Einzugsgebiet anhand von vier Boden-Szenarien. In Abhängigkeit von der hydraulischen Leitfähigkeit lag der Direktabfluss mit Drainage um 3/4.5 /12.5 /22% über dem der undrainierten Simulation. Die Werte wurden zur Orientierung in der mittleren Parameterkategorie Hangneigung 2-4%, Grünland und Acker, Flurabstand 1-3 m verwendet.
- Drainage wird auch bei Staunässe benötigt (DIN 1185 Blatt 1). Staunäseeinfluss ist unabhängig vom Flurabstand. Entsprechend wird Drainage für C und D-Böden in den ausgewiesenen Bereichen potentieller Drainage nach ÜBK25 (LfU Ref. 65), ungeachtet des Flurabstands, angenommen.

### Anlage 16/2.3: Relevanz und Berücksichtigung von Drainagen

Insbesondere der Drainageeinfluss fand in bisherigen Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung in Bayern gar keine Beachtung. Es ist jedoch anzunehmen, dass Drainagen regional einen erheblichen Einfluss haben können. Laut Agrazeitung topagrar sei ein Großteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland „nicht zu gebrauchen, wenn unter ihr keine Drainagen vergraben wären. Ohne das kilometerlange unterirdische Netz aus Entwässerungsrohren, die überschüssiges Wasser ableiten, käme es auf den meisten Äckern zu Staunässe“ (www.topagrar.com). Es ist folglich davon auszugehen, dass Entwässerung von landwirtschaftlich genutzten Flächen nach wie vor großflächig stattfindet.

Bis zum Ende der 1970er Jahre wurde der Bau von Drainagen in Deutschland finanziell gefördert. Heute besteht weder eine gesicherte flächendeckende Kenntnis über den Bau von Drainagen noch dieser Zeit, noch über den Zustand und die Funktionalität bestehender Drainagen. Die Verfügbarkeit von Daten hinsichtlich der Existenz, Lage und Auswirkung ist daher sehr unzureichend. Eine prinzipielle Aufzeichnungs- und Meldepflicht von Drainagen besteht nicht und etwaige (alte) Pläne liegen den bayerischen Behörden nur noch in wenigen Fällen vor. Dies wurde durch eine Abfrage der betroffenen Wasserwirtschaftsämter Deggendorf und Landshut sowie dem Amt für ländliche Entwicklung Niederbayerns bestätigt.

In anderen Bundesländern (z.B. Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern) wurde aus denselben Gründen auf pauschale Verfahren zurückgegriffen, die einer Abschätzung drainierter Flächen dienen und auf Informationen zu Bodenverhältnissen und Flächennutzung basieren. Ein ähnliches Verfahren wurde zur Erarbeitung einer Kulisse potentiell drainierter Flächen vor einigen Jahren auch am LfU umgesetzt (LfU 2014). Dieses basiert auf Bodendaten (ÜBK25) und wird im hiesigen Fall herangezogen (vgl.

Anlage 16/2.5: Drainagekulissen). Die Quantifizierung des Drainageeffekts auf den Wasserhaushalt bzw. den BFI erfordert Annahmen, die einer fachlichen Einschätzung unterliegen und zusätzlich durch Literaturangaben abgesichert wurden. Die, basierend auf diesen Annahmen, im Projekt erarbeitete Kulisse wahrscheinlich drainierter Flächen (nur hier wird ein Drainageeffekt berücksichtigt), ist zu 96% Flächenanteil auch von der Karte „Hohe Grundwasserstände in Bayern“ (LfU 2018) erfasst.

Im Vergleich zur hier gewählten Methodik zur Quantifizierung und Lokalisierung des Drainageeinflusses basiert das, auch in Bayern, etablierte Modell MONERIS (Umweltbundesamt 2010) auf einem erheblich pauschaleren Ansatz. Das Modell quantifiziert die Wirkung von Drainagen als Einzelpfad bei der Berechnung von Stoffeinträgen in Fließgewässer. Die Quantifizierung der Drainagespende richtet sich hier lediglich nach dem Niederschlag und vernachlässigt somit



insbesondere den Einfluss des Bodens und der Landnutzung auf die Notwendigkeit und den Effekt von Drainagen. Im Schwerpunktgebiet Osterhofener Platte ergäbe sich bei Anwendung des MONERIS-Verfahrens eine noch deutlich stärker reduzierte Grundwasserneubildung. Es handelt sich bei der hiesigen Methodik, gegenüber anderen Verfahren, folglich um konservative Schätzungen.

#### Anlage 16/2.4: Parameterklassen im Schwerpunktgebiet

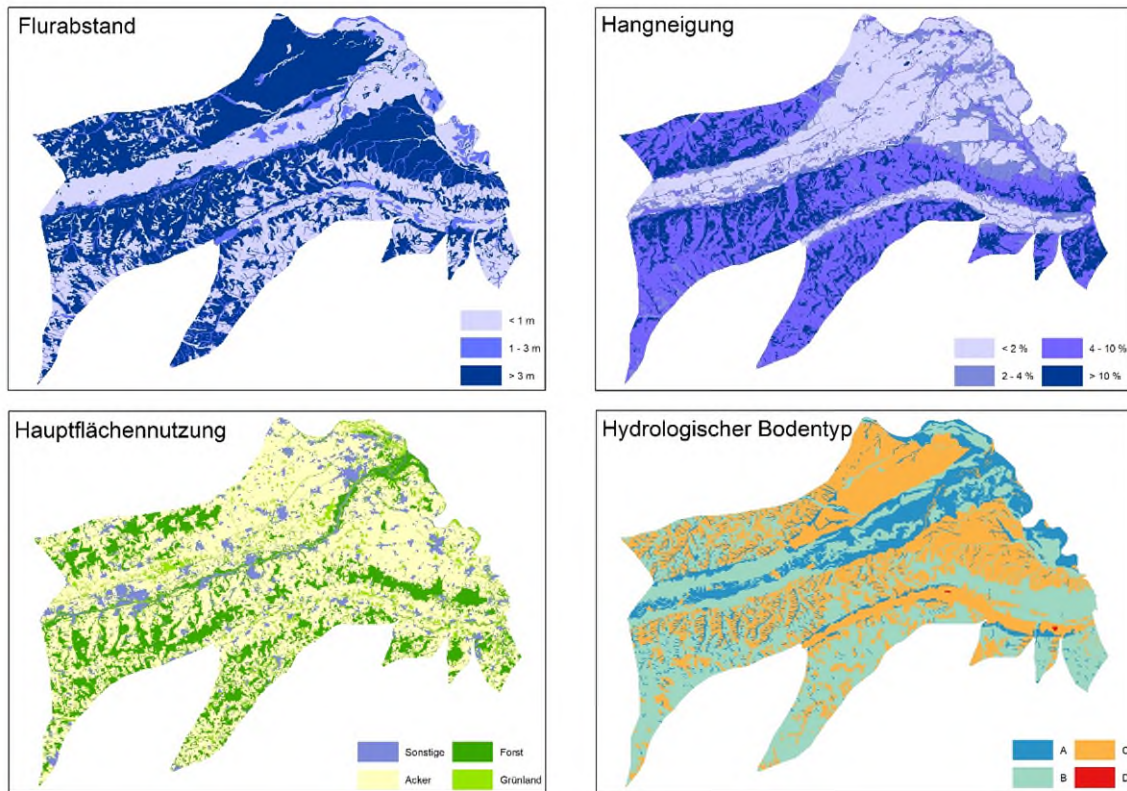


Abbildung 1: zur stat. Auswertung und Anpassung des BFI herangezogene Parameterklassen und deren Verteilung im Schwerpunktgebiet

#### Anlage 16/2.5: Drainagekulissen

drainierte Flächen

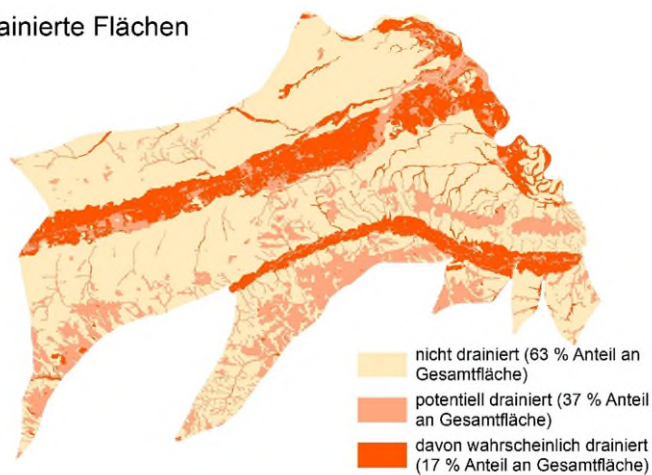


Abbildung 2: Drainagekulisse, dunkelrot: für Modellierung herangezogene Kulisse

## Anlage 16/2.6: Ergebnisse der BFI-Anpassung

Tabelle 3: BFI-Parametermatrix der Nutzungskategorien Acker, Forst und Grünland - Ergebnis der BFI-Anpassung; blau: Parameterkombination, für die potentiell Drainage angenommen wird

| BFI neu            | Flächennutzung  | Acker |      |      |      | Forst |      |      |      | Grünland |      |      |      |
|--------------------|-----------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|----------|------|------|------|
|                    | hydr. Bodentyp  | A     | B    | C    | D    | A     | B    | C    | D    | A        | B    | C    | D    |
| Hangneigung 0-2%   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
| Flurabstand <1 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI drainiert   | 0.50  | 0.50 | 0.50 | 0.50 | /     | /    | /    | /    | 0.55     | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
|                    | BFI undrainiert | 0.65  | 0.65 | 0.60 | 0.60 | 0.75  | 0.70 | 0.65 | 0.60 | 0.65     | 0.65 | 0.60 | 0.60 |
| Flurabstand 1-3 m  |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI drainiert   | 0.60  | 0.60 | 0.60 | /    | /     | /    | /    | /    | 0.60     | 0.60 | 0.60 | /    |
|                    | BFI undrainiert | 0.95  | 0.90 | 0.80 | /    | 0.95  | 0.90 | 0.85 | /    | 0.95     | 0.90 | 0.80 | /    |
| Flurabstand >3 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI drainiert   | /     | /    | 0.60 | /    | /     | /    | /    | /    | /        | /    | 0.60 | /    |
|                    | BFI undrainiert | 1.00  | 0.95 | 0.85 | /    | 1.00  | 0.95 | 0.90 | /    | 1.00     | 0.95 | 0.90 | /    |
| Hangneigung 2-4%   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
| Flurabstand <1 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI drainiert   | 0.50  | 0.50 | 0.50 | 0.50 | /     | /    | /    | /    | 0.55     | 0.55 | 0.50 | /    |
|                    | BFI undrainiert | 0.65  | 0.65 | 0.60 | 0.60 | 0.70  | 0.65 | 0.60 | /    | 0.65     | 0.65 | 0.60 | /    |
| Flurabstand 1-3 m  |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI drainiert   | 0.60  | 0.60 | 0.60 | /    | /     | /    | /    | /    | 0.65     | 0.65 | 0.60 | /    |
|                    | BFI undrainiert | 0.85  | 0.75 | 0.60 | /    | 0.95  | 0.80 | 0.60 | /    | 0.85     | 0.75 | 0.65 | /    |
| Flurabstand >3 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI drainiert   | /     | /    | 0.60 | /    | /     | /    | /    | /    | /        | /    | 0.60 | /    |
|                    | BFI undrainiert | 0.85  | 0.75 | 0.70 | /    | 1.00  | 0.95 | 0.75 | /    | 0.90     | 0.80 | 0.70 | /    |
| Hangneigung 4-10 % |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
| Flurabstand <1 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI undrainiert | 0.60  | 0.55 | 0.45 | /    | 0.65  | 0.60 | 0.50 | /    | 0.60     | 0.55 | 0.45 | /    |
| Flurabstand 1-3 m  |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI undrainiert | 0.70  | 0.65 | 0.55 | /    | 0.75  | 0.70 | 0.65 | /    | 0.75     | 0.70 | 0.55 | /    |
| Flurabstand >3 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI undrainiert | 0.75  | 0.70 | 0.65 | /    | 0.80  | 0.75 | 0.70 | /    | 0.75     | 0.70 | 0.65 | /    |
| Hangneigung > 10%  |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
| Flurabstand <1 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI undrainiert | 0.55  | 0.50 | 0.35 | /    | 0.60  | 0.55 | 0.45 | /    | 0.55     | 0.50 | 0.40 | /    |
| Flurabstand 1-3 m  |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI undrainiert | 0.60  | 0.55 | /    | /    | 0.70  | 0.65 | /    | /    | 0.65     | 0.60 | 0.45 | /    |
| Flurabstand >3 m   |                 |       |      |      |      |       |      |      |      |          |      |      |      |
|                    | BFI undrainiert | 0.70  | 0.60 | 0.50 | /    | 0.75  | 0.70 | 0.60 | /    | 0.70     | 0.65 | 0.50 | /    |



Tabelle 4: BFI-Parametermatrix der Flächennutzung „sonstige“ - Ergebnis der BFI-Anpassung

| Sonderkategorie der Flächennutzung<br>Corine |  | Annahme   | BFI neu =   |
|--|--|---|---|
| 112  | n. durchg. städt. Prägung                                    | Ableitung in Kanalisation                                 | BFI-Hintergrund * Versiegelung                        |
| 121  | Industrie & Gewerbe<br>> freistehende PV-Anlagen<br>> andere | keine Versiegelung, Grünland<br>Ableitung in Kanalisation | Grünlandkombination<br>BFI-Hintergrund * Versiegelung |
| 122  | Straßen & Eisenbahn<br>> Autobahn<br>> andere                | Ableitung in Auffangbecken/Kanalisation                   | 0   |
| 124  | Flughäfen  | Ableitung in Kanalisation                                 | BFI-Hintergrund * Versiegelung                        |
| 131  | Abbaufäche   | Senke vorhanden, in der Versickerung stattfindet          | 0.9   |
| 132  | Abraumhalden   | keine vertikale Abdichtung                                | BFI-Hintergrund                                       |
| 142  | Sport- & Freizeitanlagen                                     | Ableitung in Kanalisation                                 | BFI-Hintergrund * Versiegelung                        |
| 332  | Felsflächen  | als Gewässer identifiziert                                | NA  |
| 511 & 512                                    | Gewässer   | keine GWN   | NA  |

BFI-Hintergrund: durchschnittlicher BFI in einer Parameterkombination aus den Parametern hydr. Bodentyp, Hangneigung und Flurabstand

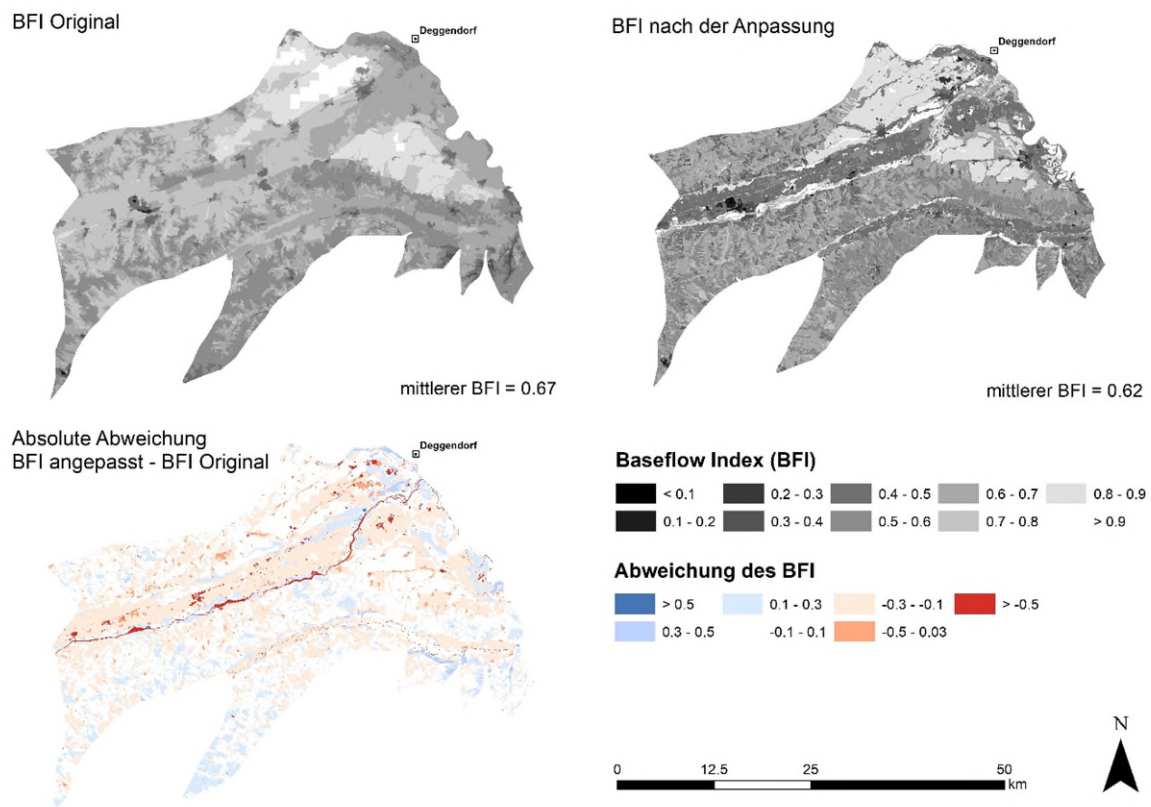


Abbildung 3: Vergleich des BFI vor und nach der Anpassung

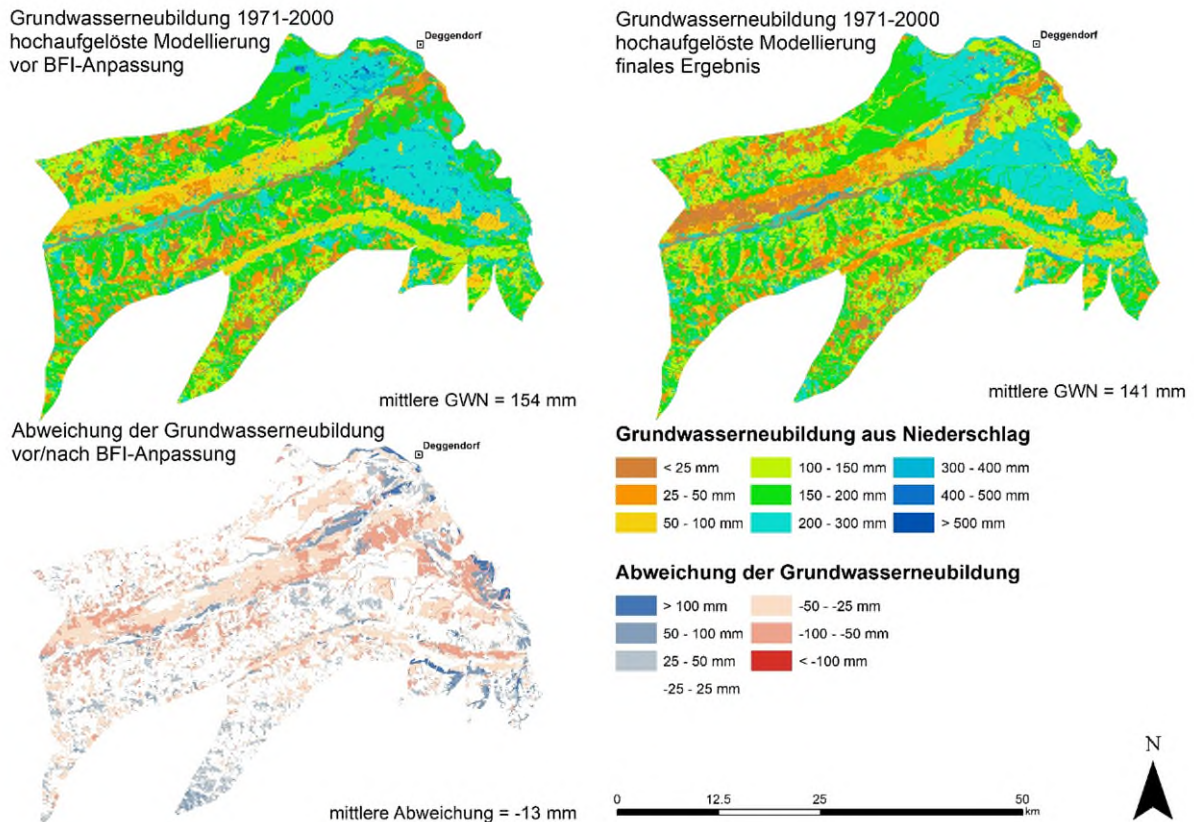


Abbildung 4: Vergleich der Grundwasserneubildung vor und nach der BFI-Anpassung

### Anlage 16/3: Potentielle Unsicherheiten in der Bodenwasserhaushaltsmodellierung mit dem Modell GWN-BW

Die Ergebnisse der Bodenwasserhaushaltsmodellierung mit GWN-BW werden sowohl von den Modellansätzen als auch von der Qualität und räumlichen Auflösung der Eingabedaten beeinflusst.

Wichtige Modellansätze sind die konzeptionelle Beschreibung von Verdunstungs- und Sickerwasserbildungsprozessen, die bei der numerischen Umsetzung zu verschiedenen Modellunsicherheiten führen können. So entstehen Unsicherheiten zum Beispiel durch die Parametrisierung der Penman-Monteith-Gleichung, welche die nichtlinearen Prozesse der Verdunstung beschreibt. Unsicherheiten resultieren hier v.a. aus der Parametrisierung der Bodeneigenschaften und Eigenschaften der Vegetation und der Verwendung der Modellalgorithmen des Niederschlag-Abfluss-Modells HBV (BENGTTSSON 1997). Innerhalb von GWN-BW beschreibt der HBV-Ansatz die Auffüllung und Entleerung des Bodenspeichers und hängt hauptsächlich von der nutzbaren Feldkapazität des Bodens ab.

Weitere Modellunsicherheiten entstehen dadurch, dass das Modell GWN-BW keine lateralen Abflüsse, d.h. weder Oberflächenabfluss noch Interflow, berücksichtigt. Daher erfordert die Bestimmung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag eine, der Bodenwasserhaushaltsmodellierung nachgeschaltete, Reduktion des Gesamtabflusses um die Direktabflussanteile durch den Baseflow-Index (BFI). Die regressionsbasierte Ableitung des BFI im Einzugsgebietsmaßstab kann räumliche Unschärfen bei kleinräumiger Anwendung zur Folge haben.

Neben den meteorologischen Eingangsdaten, die vom DWD bereitgestellt werden, erfordert das Modell GWN-BW flächenhafte Informationen hauptsächlich aus drei verschiedenen, räumlich

unterschiedlich hoch aufgelösten Quellen: Bodendaten aus der ÜBK25 (1:25.000), Landnutzungsdaten aus dem Amtlichen Topographisch Kartographischen Informationssystem (ATKIS), und Grundwasserstände (Flurabstände) aus der HK100 (1:100.000).

Die benötigten meteorologischen Eingangsdaten sind Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer und Lufttemperatur. Alle diese meteorologischen Daten werden an Wetterstationen gemessen und regionalisiert, um die untersuchten Regionen abzudecken. Unsicherheiten ergeben sich sowohl aus Fehlern der Messung, als auch aus Artefakten, die durch die Regionalisierung, bzw. die zu Grunde liegende Stationsverteilung verursacht werden. Am stärksten sensitiv sind Niederschlag und Luftfeuchtigkeit. Letztere kann aber sehr viel zuverlässiger gemessen und regionalisiert werden. Daher können insbesondere die Messfehler bzw. Unsicherheiten des Niederschlags erhebliche Auswirkungen auf die Aussagegenauigkeit der Grundwasserneubildung haben. Die Lufttemperatur ist demgegenüber nur mäßig sensitiv und zudem sehr genau messbar und leicht zu regionalisieren. Die Sonnenscheindauer hat vergleichsweise wenig Einfluss auf die Modellergebnisse.

Die Bodendaten aus der ÜBK25 dienen primär zur Übersicht der räumlichen Verteilung der Bodeneinheiten und bieten in der Regel keine ausreichenden Informationen über sehr lokale und kleinräumige Eigenschaften bzw. Strukturen. Als einschichtiges Modell, weist GWN-BW jeder einzelnen Fläche die Bodenart zu, die in der ÜBK25 als „Unterer Bodenhorizont“ gegeben ist. Letzteres könnte dann relevant werden, wenn beispielsweise eine grobkörnige Bodenschicht eine feinkörnigere Bodenschicht überlagert. Weil die grobkörnigere Schicht nicht im Modell abgebildet werden kann, wird kapillarer Aufstieg berechnet (falls die Bodeneinheit auf Basis der ÜBK25 als grundwasserbeeinflusster Boden ausgewiesen ist), auch wenn der Prozess in der Realität gar nicht stattfinden würde.

Dies hat zur Folge, dass hier die Grundwasserneubildung aus Niederschlag z.T. drastisch verringert wird. Bei den Landnutzungsdaten und Flurabständen aus ATKIS und der HK100 kommt neben den maßstabsbedingten Unsicherheiten hinzu, dass es sich hierbei um statische Daten ohne zeitliche Dynamik handelt.

Aufgrund der verschiedenen, oben beschriebenen Unsicherheiten kann nicht ausgeschlossen werden, dass Abweichungen zwischen Modellergebnissen und tatsächlichen Standortbedingungen auftreten. In solchen Fällen sind örtliche Fachexpertise und Kenntnis der lokalen Gegebenheiten besonders wichtig, um die Modellergebnisse zu plausibilisieren.

Im Hinblick auf das tatsächliche Wasserdargebot eines Betrachtungsraums muss außerdem berücksichtigt werden, dass neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag weitere wichtige Bilanzgrößen relevant sein können. In vielen Fällen entspricht die Grundwasserneubildung aus Niederschlag näherungsweise dem Grundwasserdargebot. Insbesondere in ergiebigen Talaquiferen müssen jedoch weitere wichtige Bilanzgrößen, wie z.B. ein möglicher lateraler Zustrom zum Aquifer oder Uferfiltrat, berücksichtigt werden.