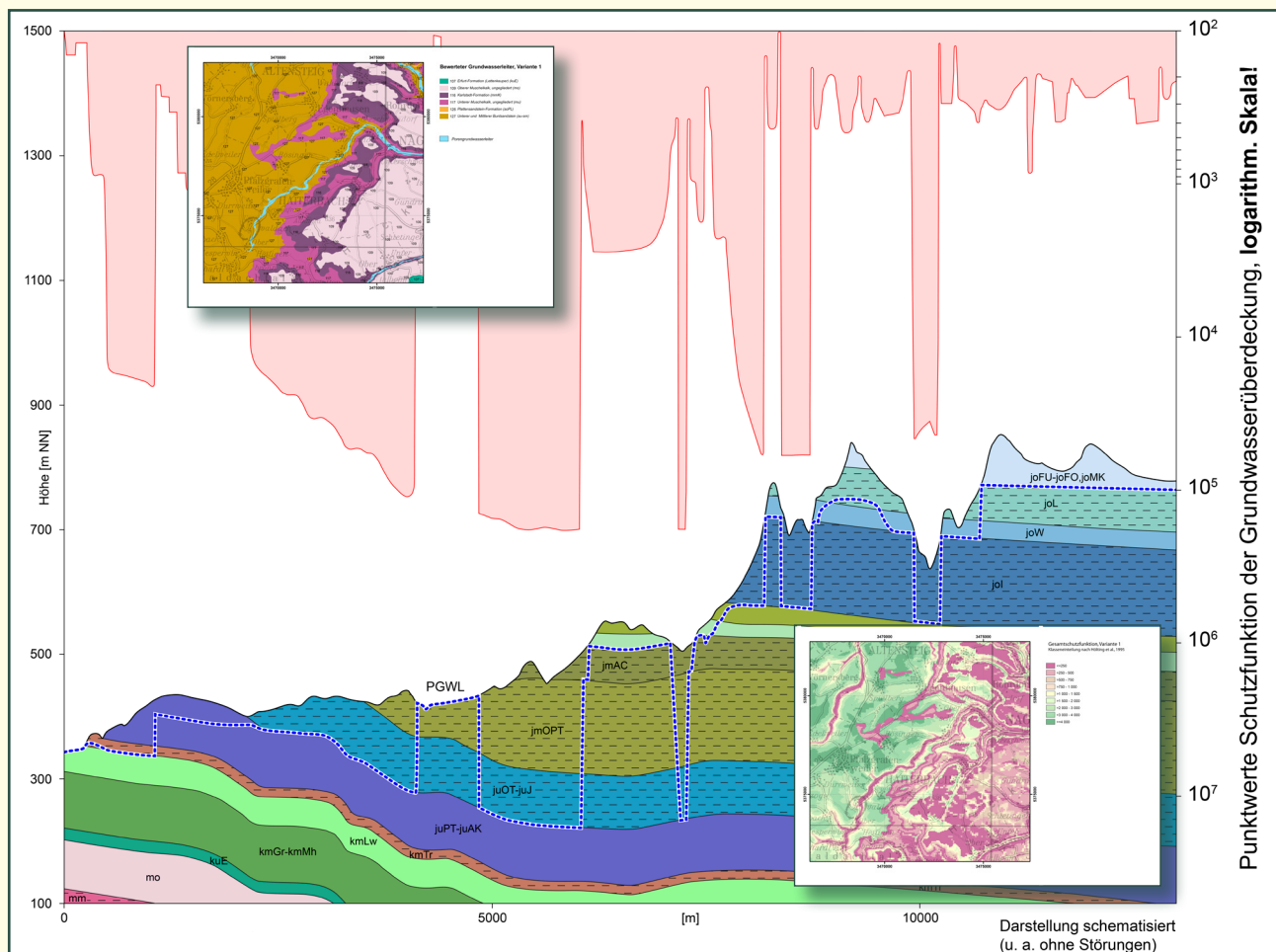


Landesweiter digitaler Datensatz zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung in Baden-Württemberg

GUNTHER WIRSING & FRANZ-JOSEF KERN



IMPRESSUM

Herausgeber: Regierungspräsidium Freiburg
Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br.
Telefon: (0761) 208-3000 (Zentrale), -3022 (Vertrieb)
E-Mail: abteilung9@rpf.bwl.de bzw. vertrieb-lgrb@rpf.bwl.de
<https://www.lgrb-bw.de> bzw. <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/Abt9>

Bearbeitung: Dr. GUNTHER WIRSING & FRANZ-JOSEF KERN

Mitarbeit: Referat 91 (Kartographie), Referat 92 & Referat 94

Bearbeitungsstand: Februar 2020

Download: <https://produkte.lgrb-bw.de/schriftensuche/sonstige-produkte/?aid=9>

© Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Bildnachweis (Fotos): Soweit bei den Abbildungen nicht anders angegeben, liegen die Bildrechte beim LGRB (Bildautoren: og. Autoren).

Titelbild: Abbildungen aus dem Inhalt des Fachberichts

Landesweiter digitaler Datensatz zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung in Baden-Württemberg

Bearbeitung:

GUNTHER WIRSING & FRANZ-JOSEF KERN

Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9:
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RPF-LGRB)

LGRB-Fachbericht	2020/1	108 S.	53 Abb.	7 Tab.	Freiburg i. Br., Juli 2020
------------------	--------	--------	---------	--------	----------------------------



Inhalt	Seite
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungen	7
Zusammenfassung	9
1 Einführung.....	12
2 Grundlagen und Methoden	13
2.1 Methodische Ansätze zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.....	13
2.2 Bisherige Bearbeitungen und Datenlage in Baden-Württemberg	14
2.3 Technische Randbedingungen	16
3 Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	17
3.1 Methodisches Vorgehen	17
3.2 Bindige Deckschichten	21
3.3 Bewertete Grundwasserleiter und Überlagerungssituation.....	21
3.3.1 Variante 1: Oberster Grundwasserleiter	25
3.3.2 Variante 2: Wasserwirtschaftlich genutzter bzw. nutzbarer Grundwasserleiter.....	27
3.4 Grundwasserneubildung, Sickerwasserrate	30
3.5 Grundwasserflurabstand.....	35
3.5.1 Datengrundlagen für die Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes.....	37
3.5.2 Methodische Vorgehensweise bei der Erstellung des Datensatzes zum Grundwasserflurabstand.....	39
3.5.2.1 Interpolationsverfahren	39
3.5.2.2 Landesweite Regionalisierung des Grundwasserflurabstands	40
3.5.2.3 Regionale Besonderheiten	44
3.6 Bewertung der Schutzfunktion des Bodens	46
3.7 Bewertung der Schutzfunktion der ungesättigten Zone unterhalb des Bodens	49
3.7.1 Bindige Deckschichten.....	50
3.7.1.1 Mächtigkeit der Deckschichten	52
3.7.1.2 Lithologie der Deckschichten.....	54
3.7.1.3 Bewertung der Schutzfunktion der bindigen Deckschichten.....	55



3.7.2	Festgesteinsüberlagerung.....	55
3.7.2.1	Mächtigkeit der Festgesteinsüberlagerung.....	55
3.7.2.2	Lithologie der Festgesteinsüberlagerung.....	57
3.7.2.3	Strukturfaktor für die Festgesteinseinheiten	58
3.7.2.4	Verwitterungsfaktor für Festgesteine	59
3.7.2.5	Tektonikfaktor	61
3.7.2.6	Dolinen	62
3.7.2.7	Berechnung der Schutzfunktion des Festgesteins.....	63
4	Überprüfung der Ergebnisse der Gesamtbewertung	63
4.1	Vorgehensweise	63
4.2	Ergebnisse.....	64
5	Gesamtbewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung - Produkte	65
5.1	Landesweite digitale Datensätze	66
5.1.1	Schutzfunktion des Bodens.....	66
5.1.2	Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für den obersten Grundwasserleiter (Variante 1)	68
5.1.3	Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für den wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiter (Variante 2)	72
5.1.4	Regionale Betrachtung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	74
5.2	Profildarstellungen	80
5.2.1	Mittleres Albvorland (Raum Mössingen)	80
5.2.2	Bauland/Tauberland (Raum Königsheim–Boxberg–Assamstadt)	84
5.2.3	Nordschwarzwald.....	88
6	Ausblick.....	92
6.1	Berücksichtigung lateraler Abflusskomponenten	92
6.2	Aktualisierung des Datensatzes nach Vorliegen der geologischen Karte ohne Deckschichten	93
7	Hinweise zur Nutzung des Datensatzes.....	94
8	Verfügbarkeit der Daten	95
	Literatur	96
	Anhang	99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: GeoLa-Fachdaten und Anwendungsbereiche.	15
Abbildung 3-1: Hydrogeologische Begriffe (verändert nach Hölting, 1992, GW: Grundwasser).	17
Abbildung 3-2: Hydrogeologischer Profilschnitt durch das Schichtstufenland und die Albhochfläche (vereinfacht) mit lateralem und vertikalem Wechsel von Grundwasserleitern (blau) und Grundwassergeringleitern.	21
Abbildung 3-3: Landesweite Übersicht der Regionen mit spezifischen Randbedingungen bei der Bewertung der Grundwasserschutzfunktion.	24
Abbildung 3-4: Variante 1: Bewertet wird der oberste Grundwasserleiter (hellblau: Grundwasserleiter, dunkelblau: bewerteter Grundwasserleiter).	25
Abbildung 3-5: Variante 1: Oberster Grundwasserleiter	26
Abbildung 3-6: Variante 2: Bewertet wird der wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasserleiter (hellblau: Grundwasserleiter, dunkelblau: bewerteter Grundwasserleiter)	28
Abbildung 3-7: Variante 2: Oberster wasserwirtschaftlich genutzter oder nutzbarer Grundwasserleiter (schraffiert: im Vergleich zu Variante 1 unterschiedliche Bewertung). ...	29
Abbildung 3-8: Prozesse der Abflussbildung, die die Grundwasserneubildung regional beeinflussen (BMU 2003).	30
Abbildung 3-9: Modellkomponenten des Modells GWN_BW (Morhard, 2012).	31
Abbildung 3-10: Karte der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungshöhen 1981–2010.	32
Abbildung 3-11: Häufigkeitsverteilung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungshöhe 1981–2010 (Klassengrenzen entsprechend Kartendarstellung).	32
Abbildung 3-12: Linearisierung des Faktors W anhand der Grundwasserneubildungshöhe	33
Abbildung 3-13: Sickerwasserfaktor W berechnet anhand der mittleren Grundwasserneubildungshöhen 1981–2010.	34
Abbildung 3-14: Vergleich der Interpolationsmethoden Kriging und Topo to Raster anhand einer Validierungsstichprobe von Grundwassermessstellen im Oberrheingraben inkl. Trend und Bestimmtheitsmaß.	40
Abbildung 3-15: Talquerschnitt: Randbedingungen für die Modellierung der Grundwasseroberfläche (Prinzipskizze).	41
Abbildung 3-16: Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes, 1. Arbeitsschritt	42
Abbildung 3-17: Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes, 2. Arbeitsschritt	43
Abbildung 3-18: Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes, 3. Arbeitsschritt	44

Abbildung 3-19: Pauschalisierte Berechnung des Grundwasserflurabstands in den glazial geprägten Sedimenten in Oberschwaben (Prinzipiskizze).	45
Abbildung 3-20: Anpassungsfunktion der Boden-Punktzahl B an die mittleren nFK Werte. 47	
Abbildung 3-21: Schutzfunktionsbewertung des Bodens. Landesweite Übersicht unter Berücksichtigung des Sickerwasserfaktors.W	48
Abbildung 3-22: Beispiele für Überlagerungssituationen unterschiedlicher Hydrogeologischer Einheiten und Grundwasserleiter.	49
Abbildung 3-23: Skizze zur Abdeckung von Deckschichten in HKoD-BW.	51
Abbildung 3-24: Beispielhafte Überlagerungssituation in einem Tal im Oberen Muschelkalk, blau gepunktet: Poren-Grundwasserleiter.	51
Abbildung 3-25: Vorgehensweise bei der Modellierung der Mächtigkeit von Deckschichteneinheiten (Prinzipiskizze).	52
Abbildung 3-26: Verwitterungsprofile in Tonstein (links) und geschichtetem Kalkstein (rechts, Einsele et al., 1985).	60
Abbildung 3-27: Tektonikfaktor	62
Abbildung 4-1: Vergleich der Ergebnisse zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.	64
Abbildung 5-1: Landesweiter digitaler Datensatz: Schutzfunktion des Bodens nach dem Verfahren von Hölting et al. (1995).	67
Abbildung 5-2: Schutzfunktion des Bodens: Prozentualer Flächenanteil der Schutzfunktionsklassen 1 bis 5 nach Hölting et al. (1995) an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg.	68
Abbildung 5-3: Landesweiter digitaler Datensatz: Punktwerte der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung nach dem Verfahren von Hölting et al. (1995).	69
Abbildung 5-4: Gesamtschutzfunktion: Prozentualer Flächenanteil der Schutzfunktionsklassen 1 bis 5 nach Hölting et al. (1995) an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg. 70	
Abbildung 5-5: Landesweiter digitaler Datensatz: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (oberster Grundwasserleiter, Variante 1)	71
Abbildung 5-6: Landesweiter digitaler Datensatz: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (wasserwirtschaftlich genutzter bzw. nutzbarer Grundwasserleiter, Variante 2)	72
Abbildung 5-7: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Raum Schorndorf - Ebersbach (Mittleres und Westliches Keuperbergland).	74
Abbildung 5-8: Hydrogeologische Karte ohne Deckschichten (HKoD-BW) im Raum Schorndorf - Ebersbach (Mittleres und Westliches Keuperbergland).	75

Abbildung 5-9: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) im Raum Schorndorf - Ebersbach (Mittleres und Westliches Keuperbergland).....	75
Abbildung 5-10: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Raum Krautheim (Muschelkalk der Kocher-Jagst-Ebenen).....	76
Abbildung 5-11: Hydrogeologische Karte ohne Deckschichten (HKoD-BW) im Raum Krautheim (Muschelkalk der Kocher-Jagst-Ebenen).....	77
Abbildung 5-12: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) im Raum Krautheim (Muschelkalk der Kocher-Jagst-Ebenen).....	77
Abbildung 5-13: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Raum Pfalzgrafenweiler	78
Abbildung 5-14: Abgedeckte hydrogeologische Karte (HKoD-BW) im Raum Pfalzgrafenweiler	79
Abbildung 5-15: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) im Raum Pfalzgrafenweiler. ..	79
Abbildung 5-16: Mittleres Albvorland, Raum Mössingen: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts.....	81
Abbildung 5-17: Mittleres Albvorland, Raum Mössingen: Schutzfunktionsbewertung (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts.....	82
Abbildung 5-18: Mittleres Albvorland, Raum Mössingen: Stark vereinfachtes hydrogeologisches Profil (unten) sowie räumlich zugeordnete Punktwerte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	83
Abbildung 5-19: Bauland/Tauberland: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts	85
Abbildung 5-20: Bauland/Tauberland: Schutzfunktionsbewertung (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts.....	86
Abbildung 5-21: Bauland/Tauberland: Stark vereinfachtes hydrogeologisches Profil (unten) sowie räumlich zugeordnete Punktwerte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.....	87
Abbildung 5-22: Nordschwarzwald: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts.....	89
Abbildung 5-24: Nordschwarzwald: Schutzfunktionsbewertung (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts.....	90
Abbildung 6-1: Prozesse und Komponenten der Abflussbildung: Schemazeichnung (WaBoA, 2012).	93



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung nach Hölting et al. (1995): Übersicht über die Eingangsgrößen und Datengrundlagen in Baden-Württemberg.....	20
Tabelle 2: Regionale Besonderheiten bei der Bewertung der Grundwasservorkommen für die Varianten 1 und 2.	23
Tabelle 3: Beziehung zwischen Grundwasserneubildungsrate (GWNb) und dem Sickerwasserfaktor W (Hölting et al., 1995).....	33
Tabelle 4: Bewertung der Böden nach der nutzbare Feldkapazität (nFK) und zugehörige Punktzahl B (nach Hölting et al., 1995).....	47
Tabelle 5: Punktezahlen zur Bewertung der Gesteinsart der Lockersedimente nach Hölting et al. (1995).	54
Tabelle 6: Bewertung von Festgesteinen: Punktzahl P für Gesteinsart und Faktor F für strukturelle Eigenschaft – „Strukturfaktor“ (Hölting et al., 1995).	58
Tabelle 7: Klasseneinteilung der Gesamtpunktzahl der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung nach Hölting et al. (1995) sowie Sonderflächen.....	65



Abkürzungen

ADB	Aufschlussdatenbank des LGRB
ArcGIS	Geographisches Informationssystem der Fa. ESRI
BFI	Baseflow-Index
BK-BW	Digitaler Datensatz der Bodenkundlichen Karte Baden-Württemberg als Bestandteil von GeoLa
BK	Bodenkarte
BÜK200	Bodenübersichtskarte 1 : 200 000
DGM	Digitales Geländemodell
GDB	File Geodatabase
GE, GLE	Geologische Kartiereinheit der GK-BW
GeoLa	Integrierte Geowissenschaftliche Landesaufnahme
GLA, GLÄ	Geologisches Landesamt, Geologische Landesämter
GK-BW	Digitaler Datensatz der Geologischen Karte Baden-Württemberg als Bestandteil von GeoLa (Grundkarte, Geologische Grundflächen)
GOK	Geländeoberkante
Grid	Rasterdatensatz in ArcGIS
GWF	Grundwasserflurabstand
GWGL	Grundwassergeringleiter
GWL	Grundwasserleiter
GWN	Grundwasserneubildung
GWS	Grundwasserstand
HE	Hydrogeologische Kartiereinheit der HK-BW
HGE	Hydrogeologische Erkundung
HGK	Hydrogeologische Kartierung
HK-BW	Digitaler Datensatz der Hydrogeologischen Karte Baden-Württemberg als Bestandteil von GeoLa
HKoD-BW	Digitaler Datensatz der Hydrogeologischen Karte Baden-Württemberg ohne Deckschichten („Abgedeckte Hydrogeologische Karte“) als Bestandteil von GeoLa
ISONG	Informationssystem Oberflächennahe Geothermie
Kuerz	Kurzbezeichnung einer HE



LGL	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Baden-Württemberg) am Regierungspräsidium Freiburg
ORG	Oberheingraben
PGWL	Porengrundwasserleiter
RoGeR	Runoff Generation Research, Abflussbildungsmodell der Professur für Hydrologie der Univ. Freiburg i. Br.
RPF	Regierungspräsidium Freiburg
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses, GIS-Programm-System (http://www.saga-gis.org)
SDE	Spatial Database Engine, servergestütztes Geodatenbankmanagementsystem von ESRI
SF	Schutzfunktion
SFK	Schutzfunktionsklasse
SGD	Staatliche Geologische Dienste
SLK	Schichtlagerungskarte
sync	Datentabelle (SDE) mit Zuordnung von rund 450 GEs zu etwa 150 HEs
WSG	Wasserschutzgebiet

Zusammenfassung

Für das Land Baden-Württemberg wurden flächendeckende digitale Datensätze zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erstellt. Die Bearbeitung erfolgte im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung des Landes Baden-Württemberg am Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg (LGRB) in Kooperation mit der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Die Datensätze zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung sind ein Produkt der Integrierten Geowissenschaftlichen Landesaufnahme des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (GeoLa).

Für die Beurteilung wurde ein modifiziertes Verfahren der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) angewendet (Hölting et al., 1995). Mit dem intrinsischen Ansatz wird die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung bei einem Stoffeintrag an der Geländeoberfläche für einen vertikalen Transport bis in das Grundwasser abgeschätzt. Der Hauptfaktor der Betrachtung ist die mittlere Verweilzeit – je länger ein Stoff braucht, um ins Grundwasser zu gelangen, umso mehr wird er von Prozessen wie Verdünnung, Sorption, Dispersion oder Abbau beeinflusst. Stoffspezifische Eigenschaften werden nicht berücksichtigt.

Wichtige Bearbeitungsgrundlagen stellen die GeoLa-Fachdaten des LGRB dar. Sie liegen fachübergreifend abgestimmt in Datenbanken für den mittleren Maßstabsbereich vor. Es handelt sich dabei um die Datensätze der Geologischen Karte GK-BW, der Bodenkarte BK-BW, der Hydrogeologischen Karte HK-BW, der abgedeckten Hydrogeologischen Karte HKoD-BW und der hydrogeologischen Deckschichten (Bearbeitungsstand Ende 2016). Daneben wurden das Bohrdatenarchiv des LGRB (Aufschlussdatenbank, ADB), wie auch regional vorliegende Projektdaten gesichtet und ausgewertet. Die Bewertung der Festgesteine greift auf die Ergebnisse der geologischen 3D-Untergrundmodelle des Landes zurück (Schichtlagerung, Mächtigkeitsverteilungen), insbesondere ISONG, GeoMOL und GeORG. Mächtigkeitsverteilungen für hydrogeologische Einheiten, die nicht in den 3D-Modellen berücksichtigt wurden bzw. nicht flächendeckend für Baden-Württemberg vorliegen, wurden auf der Grundlage von Bohrinformationen ergänzt. Die Mächtigkeiten der bindigen Deckschichten wurden aus bodenkundlichen Daten und Angaben aus der ADB abgeleitet.

Der flächendeckende Datensatz zum Flurabstand des Grundwassers wurde nach einem einheitlichen methodischen Vorgehen erstellt. Er basiert auf Wasserständen in oberirdischen Gewässern (LUBW), Grundwasserstandsdaten (GWDB und ADB), Lage- und Höhenangaben zu Quellaustritten, Grundwassergleichenplänen sowie in Gebieten mit großen Informationsdefiziten auf plausiblen hydrogeologischen Annahmen. Aufgrund der komplexen hydrogeologischen Situation konnte für die glazial geprägten Sedimente des Alpenvorlandes mit Ausnahme der fluvioglazialen Kiese und Sande kein hinreichend verlässlicher Datensatz zum Grundwasserflurabstand erzeugt werden. In diesem Gebiet



wurden für die Schutzfunktionsbewertung zwei Szenarien mit Flurabständen von bis zu fünf bzw. zehn Metern betrachtet.

Die Bewertung der Schutzfunktion erfolgte getrennt für den Boden und die ungesättigte Zone unterhalb des Bodens. Die Zuweisung der Punktwerte für die in Baden-Württemberg vorkommenden Gesteinsarten (Locker- und Festgestein) und deren Strukturfaktor wurde basierend auf dem Ansatz in Hölting et al. (1995) entsprechend erweitert. Daraus wurden für alle hydrogeologischen Einheiten auf einen Meter normierte Punktwerte abgeleitet und mit den Mächtigkeiten der hydrogeologischen Einheiten in der ungesättigten Zone verknüpft. Daneben wurden ein Verwitterungsfaktor sowie ein Tektonikfaktor eingeführt. Ergänzend werden Dolinen als Schwachstellen ohne Schutzfunktion dargestellt. Flächen ohne Bewertung sind Gewässerflächen, Altablagerungs- und Deponieflächen, Rohstoffabbauflächen sowie Siedlungsflächen.

Die flächenhafte Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erfolgte in zwei Varianten:

in Variante 1 wurde die Schutzfunktion für den obersten Grundwasserleiter bewertet. Im Hinblick auf den Grundwasserschutz ist dies die konservative Betrachtungsweise.

in Variante 2 wurde die Schutzfunktion für den wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren („relevanten“) Grundwasserleiter bewertet.

Für beide Varianten liegen als Ergebnis der Bewertung mehrere Produkte vor:

- digitale Flächendatensätze (40 Meter Raster) zur Schutzfunktion des Bodens (1), der Grundwasserüberdeckung unterhalb des Bodens (2), sowie zur Gesamtschutzfunktion (3), die sich aus (1) und (2) zusammensetzt. Die Datensätze werden ergänzt durch Datensätze des bewerteten Grundwasserleiters (getrennt für Variante 1 und Variante 2).
- Profilschnitte entlang definierter Schnittspuren. Sie verdeutlichen die Lagerungs- und Grundwasserverhältnisse, sowie die daraus resultierende Bewertung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.

Ergänzend wurde am Institut für Hydrologie der Universität Freiburg ein Datensatz zum „flächendetaillierten Grundwasserneubildungs-Index (GwN-I)“ entwickelt. Die Ergebnisse ermöglichen detaillierte standortbezogene Betrachtungen zur Grundwasserneubildung. Einerseits wurden Bereiche mit hohen lateralen Abflusskomponenten (Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss) identifiziert. Diese Prozesse können sich günstig auf die regionale bis standörtliche Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung auswirken. Andererseits gibt es Bereiche, in denen sich oberflächlich bzw. oberflächennah abfließende Wässer sammeln und versickern können. In diesen Bereichen erhöhter vertikaler Sickerung ist von einem verstärkten Stoffeintrag in das Grundwasser auszugehen. Nach der noch ausstehenden Validierung der Daten können sie in einer späteren Version berücksichtigt werden.



Die Berechnung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erfolgt modular in mehreren aufeinander abgestimmten Rechenschritten (ArcGIS ModelBuilder, Python-Skripte). Dies ermöglicht es, bei Bedarf und mit vertretbarem Aufwand (z. B. bei erweiterter oder aktualisierter Datenlage) einzelne Datenebenen zu ersetzen bzw. neu einzubinden und die Schutzfunktionsbewertung mit den aktualisierten Eingangsdaten erneut zu berechnen.

Bei der Nutzung der Datensätze sind folgende Hinweise zu beachten:

- die Qualität der Eingangsdaten (u. a. zu Schichtmächtigkeiten und Flurabstand) ist regional unterschiedlich. Die daraus abgeleitete Schutzfunktionsbewertung ist dementsprechend unterschiedlich belastbar.
- bereichsweise mussten hydrogeologisch plausible Annahmen getroffen werden. Dies betrifft beispielsweise den Grundwasserflurabstand, die Mächtigkeit und Schichtlagerung einiger hydrogeologischer Einheiten oder ihre petrographische Ausprägung.
- die Datensätze wurden für den mittleren Maßstabsbereich landesweit einheitlich erstellt. Für eine kleinräumige bzw. lokale Bewertung der Schutzfunktion sind standortbezogene Betrachtungen erforderlich.
- die Bewertung bezieht sich ausschließlich auf Einträge von der Erdoberfläche aus. Dies ist zu berücksichtigen, wenn die Grundwasserüberdeckung durch bauliche Eingriffe an der Geländeoberfläche verringert wird. Dabei ist der Beitrag des Bodens, der bindigen Deckschichten und der übrigen ungesättigten Zone an der Gesamtschutzfunktion zu beachten.
- der Eintrag persistenter Stoffe kann durch die Grundwasserüberdeckung nicht verhindert, sondern allenfalls verzögert werden.
- die Bewertung basiert auf Eingangsdaten mit Stand Dezember 2016.

Das LGRB hat die Daten mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Der Herausgeber übernimmt aber keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Daten und haftet nicht für Schäden des Erwerbers oder Dritter.

1 Einführung

Grundwasser kann in seiner Beschaffenheit durch verschiedene Einflüsse nachteilig beeinträchtigt werden. Mögliche punkt-, linien- oder flächenhafte Belastungsquellen können Altlasten, Havarien mit Schadstoffen, belastetes Oberflächenwasser, undichte Kanalisationen oder der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln bzw. Düngestoffen aus der Landwirtschaft sein.

Neben dem allgemeinen Vorsorgegrundsatz sowie den besonderen Schutzvorkehrungen in Wasserschutzgebieten ergibt sich aus den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, EU-WFD 2000/60/EG) und der EU-Grundwasserrichtlinie (EU-GWD 2006/118/EG) die Notwendigkeit, Grundwasserkörper hinsichtlich ihres chemischen und mengenmäßigen Zustandes zu bewerten und ggf. Maßnahmen zu ihrem Schutz bzw. zur Verbesserung ihres Zustands zu ergreifen (UBA, 2002). Bei diesen Fragestellungen kommt der Beurteilung des Gefährdungspotenzials des Grundwassers durch Verunreinigungen, die von der Erdoberfläche ausgehen, bzw. der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung eine besondere Bedeutung zu.

Schadstoffe können sich einerseits in ihren Stoffeigenschaften, andererseits im Transportverhalten und ihrer Verlagerungscharakteristik stark voneinander unterscheiden. Um belastbare Aussagen zum stoffspezifischen Retentionsvermögen der ungesättigten Zone einschließlich der belebten Bodenzone für verschiedene Schadstoffgruppen machen zu können, ist deshalb die Kenntnis einer Vielzahl unterschiedlicher Eingangsparameter erforderlich. Die Ermittlung dieser Parameter ist mit einem hohen Untersuchungsaufwand verbunden. Derartige Studien werden daher meist nur standort- bzw. anlassbezogen durchgeführt. Zur Ableitung flächendeckender Aussagen sind sie nicht geeignet. Hierzu kann eine idealisierte Betrachtung des wassergebundenen Stofftransports mit dem Niederschlags- bzw. Sickerwasser dienen. Sie kann eine hinreichend genaue Abschätzung der potenziellen Stoffverlagerung im Boden und der unterlagernden ungesättigten Zone bis ins Grundwasser liefern.

Neben dem Begriff der Schutzfunktionsbewertung der Grundwasserüberdeckung ist in der Literatur auch der Begriff „Vulnerabilitätsanalyse“ gebräuchlich (z. B. Sinnreich 2009, Li & Merchant, 2013). Unter Vulnerabilität wird die Empfindlichkeit des Grundwassers gegenüber einem potenziellen Schadstoffeintrag verstanden.

Die landesweiten Datensätze zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung in Baden-Württemberg sind ein Produkt der Integrierten Geowissenschaftlichen Landesaufnahme des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau.

2 Grundlagen und Methoden

Unter dem Begriff „Grundwasserüberdeckung“ werden der Boden und der Gesteinskörper (Locker- und Festgesteine) über dem obersten, zusammenhängenden und für eine Grundwassergewinnung potenziell nutzbaren Grundwasserstockwerk verstanden (DIN, 1994).

2.1 Methodische Ansätze zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

Grundsätzlich gibt es bei der Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung bzw. der Vulnerabilität des Grundwassers zwei methodische Ansätze (Magiera, 2000).

(1) Der stoffspezifische Ansatz betrachtet die Prozesse und damit Wechselwirkungen spezifischer Stoffe wie Nitrat, Schwermetalle oder organische Schadstoffe mit dem zirkulierenden Wasser und dem Gestein. Dabei werden in unterschiedlichem Detaillierungsgrad Einflüsse wie Wasserlöslichkeit, Adsorption an Boden- und Gesteinsmatrix oder Humus, hydrochemische Gleichgewichtsreaktionen (inkl. deren Kinetik) wie auch beispielsweise der biologische Abbau modelliert. Hierzu sind neben genauen standortspezifischen Kenntnissen der Boden- und Gesteinszusammensetzung auch eine Vielzahl stoffspezifischer Parameter zu berücksichtigen.

(2) Der intrinsische Ansatz geht von einem idealen Tracer aus, der im Boden und der ungesättigten Zone mit dem versickernden Niederschlagswasser in das Grundwasser verlagert wird. Er stellt eine eher konservative Schätzung der möglichen Beeinflussung des Grundwassers durch einen (wasserlöslichen) Schadstoff dar. Der Hauptfaktor der Betrachtung ist die mittlere Verweilzeit – je länger ein Stoff braucht, um ins Grundwasser zu gelangen, umso mehr wird er von Prozessen wie Verdünnung, Sorption, Dispersion oder Abbau beeinflusst.

Hierunter fallen auch eher deterministische Ansätze, die Vulnerabilität des Grundwassers (halb-)quantitativ über Verweilzeiten direkt zu bestimmen. Allerdings erfordern solche Ansätze insbesondere bei großräumigen Betrachtungen bei der Parametrisierung beispielsweise des tieferen Untergrunds unterhalb des Bodens oft starke Vereinfachungen (z. B. Wendland et al., 2011).

Daneben gibt es auch statistische oder lernende Ansätze mit neuronalen Netzwerken (Hötzl & Liesch, 2006).

Der Erarbeitung des landesweiten digitalen Datensatzes zur flächenhaften Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung in Baden-Württemberg ging eine intensive Sichtung von Literatur und Datengrundlagen voraus, um eine an die gegebenen Randbedingungen angepasste, möglichst differenzierte Bewertung vornehmen zu können.

Die landesweite Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung basiert auf der intrinsischen Verschmutzungsempfindlichkeit, da standörtliche und stoffspezifische Informationen nicht flächendeckend in der erforderlichen räumlichen Auflösung bzw. im erforderlichen Parameterumfang vorliegen bzw. belastbare Annahmen hierfür nicht getroffen werden können. Dabei wird von einem idealen Tracer ausgegangen, der sich mit dem Niederschlagswasser von der Bodenoberfläche vertikal in Richtung Grundwasser-oberfläche bewegt. Die abgeschätzten Aufenthaltszeiten im Boden und der darunter folgenden ungesättigten Zone dienen als Bewertungsgrundlage für den Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen von der Erdoberfläche aus.

In der Literatur dominieren halbquantitative Ansätze. Eine auch heute noch weitgehend gültige Übersicht findet sich z. B. in UBA (2002). Im deutschsprachigen Raum stellt die Methode nach Hölting et al. (1995, sogenannte GLA-Methode bzw. SGD-Ansatz, Diepolder, 1995) den am häufigsten genutzten Ansatz dar – zuweilen auch mit methodischen oder an die Datengrundlage/Situation angepassten Modifikationen (z. B. PI-Methode, Goldscheider et al., 2000, Wirsing et al., 2015).

Bei der Hölting-Methode handelt es sich um ein Matrix- und Punktbewertungsverfahren. Dabei werden mehrere Parameter, die sich auf die vertikale Schadstoffverlagerung im Untergrund auswirken, flächenhaft aufbereitet und anschließend miteinander kombiniert. Wesentliche Eingangsparameter sind die Grundwasserneubildungsrate sowie die wasserleitenden und -speichernden Eigenschaften der Grundwasserüberdeckung (Boden, Lockergestein und Festgestein). Die daraus ermittelte Punktzahl wird mit den jeweiligen Schichtmächtigkeiten bis zur Grundwasseroberfläche sowie weiteren standörtlichen Gegebenheiten kombiniert.

Die GIS-basierte Auswertung ist modular aufgebaut, so dass Modifikationen in den einzelnen Datenebenen oder methodische Ergänzungen leicht in das Auswertungsverfahren implementiert werden können. Als Ergebnis liegen Punktzahlen vor, die in fünf Schutz-funktionsklassen von sehr gering bis sehr hoch eingeteilt werden.

2.2 Bisherige Bearbeitungen und Datenlage in Baden-Württemberg

Landesweit gibt es bisher in Baden-Württemberg verschiedene Ausarbeitungen zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung:

Im Wasser- und Bodenatlas (WaBoA, 2012) wird in Karte 4.15 (Filter- und Pufferkapazität der Böden) die Schutzwirkung des Bodens auf Grundlage der BÜK200 und forstlicher Standortkarten charakterisiert. Sie zielt insbesondere auf die Ausstattung der Böden hinsichtlich Humus und Austauschkapazität ab, und damit auf die Rückhaltewirkung für organische und anorganische Schadstoffe.

Karte 4.11 (Potentielle Nitratauswaschung ackerbaulich genutzter Böden, WaBoA, 2012) zeigt die Belastungssituation in landwirtschaftlich genutzten Gebieten speziell hinsichtlich des wasserlöslichen Stickstoffs. Unter der Annahme eines konservativen Verhaltens von



Nitrat und Berücksichtigung des Bodenwasserhaushalts (Austauschrate) werden für verschiedene Randbedingungen Szenarien einer möglichen Grundwasserbelastung berechnet.

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wurde im Übersichtsmaßstab landesweit nach dem Verfahren der SGD (Hölting et al., 1995) mit einem aufgrund der Datelage (kleinmaßstäbige Karten der GK 1 : 350 000 und BK 1 : 350 000) vereinfachten Ansatz unter Berücksichtigung der Geologie, der Deckschichten und des Bodens bewertet (3 Klassen) (Prechtel et al., 2002).

Daneben wurde die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für verschiedene Regionen des Landes im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung (HGK) bzw. Hydrogeologischen Erkundung (HGE) erarbeitet (Maßstab 1 : 50 000, z. B. HGK, 2010, HGE, 2004).

Inzwischen wurden im Rahmen der Integrierten Geowissenschaftlichen Landesaufnahme Baden-Württemberg räumlich wie auch inhaltlich deutlich höher aufgelöste, weitgehend konsistente, landesweite geologische, hydrogeologische und bodenkundliche Datensätze erstellt (<https://maps.lgrb-bw.de/>). Sie bilden die Voraussetzung und wesentliche Grundlage für eine landesweit einheitliche Neubearbeitung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (Abbildung 2-1).



Abbildung 2-1: GeoLa-Fachdaten und Anwendungsbereiche.

In GeoLa liegen die Fachdaten nach fachübergreifenden Objektklassenkatalogen gegliedert und abgestimmt digital in Datenbanken für den mittleren Maßstabsbereich vor. Wichtige Grundlagendaten sind die Datensätze der Geologischen Karte GK-BW, der Bodenkarte BK-BW, der hydrogeologischen Karte HK-BW, der abgedeckten Hydrogeologischen Karte HKoD-BW und der hydrogeologischen Deckschichten.

Der daraus neu abgeleitete Datensatz zur Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung basiert auf dem Bearbeitungsstand der Fachdaten von Ende 2016. Daneben wurden das Bohrarchiv (Aufschlusssdatenbank, ADB), sowie regional vorliegende Projektdaten gesichtet und hinsichtlich der Fragestellungen ausgewertet.

Die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) stellte darüber hinaus flächendeckende Datensätze zur Grundwasserneubildung, zu Grundwasserständen in Grundwassermessstellen und Brunnen sowie zum Gewässernetz und Wasserspiegel-lagen an Gewässern zur Verfügung.

2.3 Technische Randbedingungen

Die Bearbeitung erfolgte in ESRI ArcGIS V. 10.2.2 bzw. 10.4. Editierarbeiten und Parametrisierung erfolgten auf Vektorbasis in jeweils thematisch getrennten File Geodatabases.

Die Zusammenführung der Datenebenen, deren Verknüpfung wie auch die weitere räumliche Differenzierung erfolgten auf Rasterbasis (Spatial Analyst Extension für ArcGIS). Die anfängliche Rasterauflösung orientierte sich an den vorliegenden Digitalen Höhen-daten (10 m-DGM) sowie daraus abgeleiteten Reliefparametern (Köthe, 2012). Aus Gründen der Performanz und des Speicherbedarfs erfolgte die Berechnung von Grundwasserspiegelhöhen sowie Boden- und Deckschichtenmodellierung in einem 20 m Raster. Die Daten zur Schichtlagerung und Schichtmächtigkeit aus den 3D-Modellen Baden-Württemberg liegen in einer Auflösung von 100 m vor. Daraus wurden Datensätze im 40 m Raster abgeleitet. Die Datensätze zur Schutzfunktion wurden schließlich im 40 m Raster berechnet.



3 Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

In Abbildung 3-1 sind wichtige hydrogeologische Begriffe im Zusammenhang mit der Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erläutert.

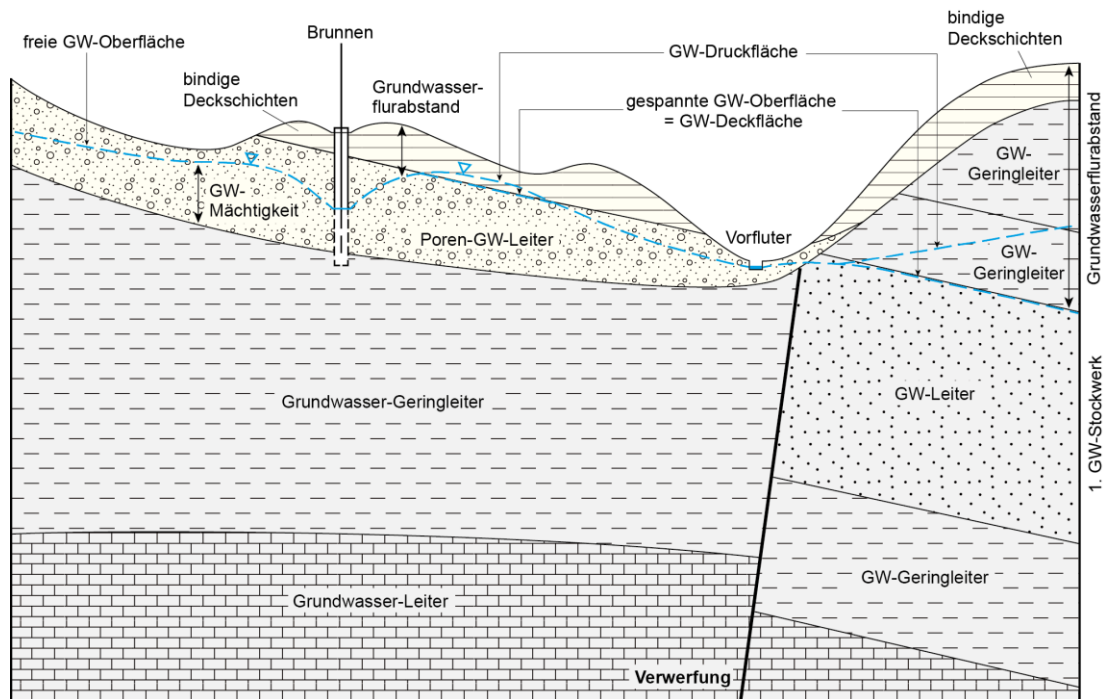


Abbildung 3-1: Hydrogeologische Begriffe (verändert nach Hölting, 1992, GW: Grundwasser).

3.1 Methodisches Vorgehen

Für die Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wurde ein modifiziertes Verfahren des SGD-Ansatzes angewendet (Hölting et al., 1995). Wesentliches Bewertungskriterium des intrinsischen Ansatzes ist die Verweildauer des Sickerwassers in der ungesättigten Zone. Eingangsgrößen für die Bewertung sind:

- die mittlere Grundwasserneubildungshöhe aus Niederschlag
- die nutzbare Feldkapazität des Bodens
- die petrographische Ausprägung der Grundwasserüberdeckung unter dem Boden
- die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung unter dem Boden
- die strukturellen Eigenschaften (bei Festgesteinseinheiten)
- Verwitterungseinflüsse (bei Festgesteinseinheiten)
- tektonische Beanspruchung der Festgesteine

Nach dem Verfahren von Hölting et al. (1995) setzt sich die Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (S_g) aus der Schutzfunktion des Bodens (S_1) und der Schutzfunktion der ungesättigten Zone unter dem Boden (S_2) zusammen. Die ungesättigte Zone unter dem Boden kann aus einer Abfolge mehrerer Schichten bestehen.

$$S_g = S_1 + S_2$$

$$S_1 = B * W$$

$$S_2 = (G_1 * M_1 + G_2 * M_2 + \dots + G_n * M_n) * W$$

S_g	Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung
S_1	Schutzfunktion des Bodens
S_2	Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung unter dem Boden
B	Punktzahl Boden
W	Faktor für Sickerwassermenge
$M_{1,\dots,n}$	Faktor für Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung
$G_{1,\dots,n}$	Punktzahl Lockergestein (G_L) bzw. Festgestein (G_F)

Entsprechend diesem methodischen Ansatz wurde die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung in drei Arbeitsschritten ermittelt. Zuerst wurde die Schutzfunktion des Bodens (Kap. 3.6), danach die Schutzfunktion der ungesättigten Zone unterhalb des Bodens (Kap. 3.7) bestimmt. Diese besteht aus der Schutzfunktion der bindigen Deckschichten (Lockersedimente) unter dem Boden (Kap. 3.7.1) und der Schutzfunktion der restlichen ungesättigten Zone (Kap. 3.7.2). Daraus wurde die Gesamtschutzfunktion ermittelt (Kap. 5).

Nach Hölting et al. (1995) soll die Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung „für das oberste, zusammenhängende, in der Regel weiträumige Grundwasserstockwerk, das für eine Grundwassererschließung nutzbar gemacht werden kann“ erfolgen. In der Praxis zeigte sich, dass bei zwei bzw. mehreren übereinander liegenden Grundwasserleitern bzw. -vorkommen die Festlegung des bewertungsrelevanten Grundwasserstockwerks nach den o. g. unscharfen Kriterien nicht widerspruchsfrei möglich war.

Es wurden deshalb zwei Bewertungsvarianten eingeführt.

In Variante 1 wird die Geschütztheit des Grundwasservorkommens im obersten, nach hydrogeologischen Kriterien definierten Grundwasserleiter, unabhängig von der tatsächlichen Nutzung des Grundwassers, bewertet (Kap. 3.3.1). Dabei wurden entsprechend

der hydrogeologischen Kartieranleitung (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie, 1997) alle hydrogeologischen Einheiten mit einer Durchlässigkeit größer als $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s als Grundwasserleiter klassifiziert.

In Variante 2 wird die Geschützhtheit des Grundwasservorkommens im *in der Regel wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiter* bewertet (Kap. 3.3.2). Sie ist bereichsweise deckungsgleich mit Variante 1, unterscheidet sich jedoch von ihr, wenn ein bedeutendes, genutztes Grundwasservorkommen von einem wasserwirtschaftlich weniger bedeutenden Grundwasserleiter überlagert wird. Dies kann z. B. in Gebieten der Fall sein, in denen der wasserwirtschaftlich genutzte Obere Muschelkalk von grundwasserführendem Unterkeuper (Erfurt-Formation) überlagert wird.

Regionale Ausprägungen der Grundwasservorkommen hinsichtlich Menge und Güte blieben unberücksichtigt.

Durch die Betrachtung der beiden Varianten sind auch Aussagen über die Verschmutzungsempfindlichkeit von solchen Grundwasservorkommen möglich, die wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasserleiter überlagern. Damit wird eine Bewertungsgrundlage bereitgestellt, die dem Vorsorgeprinzip Rechnung trägt, wonach Grundwasser generell vor Verunreinigungen oder sonstigen nachteiligen Veränderungen seiner Eigenschaften vorsorgend und flächendeckend zu schützen und in seiner natürlichen Beschaffenheit zu erhalten ist.

Die Schutzfunktionsbewertung bezieht sich nach Hölting et al. (1995) ausschließlich auf die vertikale Überlagerung unmittelbar über dem jeweiligen Grundwasser. Laterale Abflusskomponenten werden in diesem Ansatz nicht berücksichtigt. Abweichend von Hölting et al. (1995) werden artesische Verhältnisse nicht berücksichtigt, da hierfür belastbare Daten nicht flächendeckend zur Verfügung stehen.

Zusätzlich zu dieser flächenhaften Bewertung sind in den Karstgebieten Dolinen, die bei dem Verfahren von Hölting et al. (1995) nicht berücksichtigt werden, als besondere Schwachstellen in der Grundwasserüberdeckung in einer zusätzlichen Datenebene enthalten (vgl. Kap. 3.7.2.6).

Weitere Erläuterungen zur angewandten Methodik finden sich in den Kapiteln 3.4 bis 3.7.

Die aus dem Bewertungsverfahren resultierenden Punktzahlen werden nach den Vorgaben in Hölting et al. (1995) in fünf Schutzfunktionsklassen überführt (vgl. Tabelle 7).

Entsprechend den einzelnen Komponenten des Hölting-Verfahrens wurden folgende Arbeitspakete definiert:

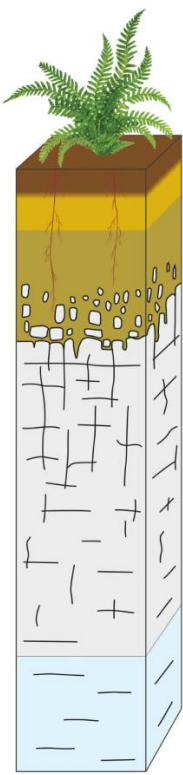
- Festlegung der als bindige Deckschichten klassifizierten hydrogeologischen Einheiten (Kap. 3.2)
- Festlegung des bewerteten Grundwasserleiters (Kap. 3.3)
- Festlegung der Überlagerungssituation (Kap. 3.3)
- Ermittlung der Grundwasserneubildung (Kap. 3.4)



- Ermittlung des Grundwasserflurabstands (Kap. 3.5)
- Bewertung der Schutzfunktion des Bodens (Kap. 3.6)
- Bewertung der Schutzfunktion der ungesättigten Zone unterhalb des Bodens (Kap. 3.7)
- Gesamtbewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (Kap. 5).

Die Bewertung basiert auf einer Vielzahl verschiedener Eingangsdatensätze (Tabelle 1). Trotz der in den letzten Jahren deutlich verbesserten Datenverfügbarkeit können jedoch regional weiterhin erhebliche Datenlücken und Unsicherheiten bestehen.

Tabelle 1: Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung nach Hölting et al. (1995): Übersicht über die Eingangsgrößen und Datengrundlagen in Baden-Württemberg.

		Eingangsgrößen	Datengrundlagen	
ungesättigte Zone		Boden (0 - 1 m)	Grundwasserneubildung (GWN), nutzbare Feldkapazität (nFK)	BK-BW, GWN-BW
		Deckschicht 1 (D1)	Petrographie, Mächtigkeit, GWN	BK-BW, GK-BW, HK-BW, GWN-BW
		Deckschicht 2 (D2)	Petrographie, Mächtigkeit, GWN	BK-BW, GK-BW, HK-BW, GWN-BW
		Festgestein, verwittert, ungesättigt	Petrographie, Mächtigkeit, Struktur, Verwitterung, Tektonik GWN	GK-BW, HK-BW, ADB, 3-D-Untergrundmodell, GWN-BW
		Festgestein, unverwittert, ungesättigt	Petrographie, Mächtigkeit, Struktur, Tektonik GWN	GK-BW, HK-BW, ADB, 3-D-Untergrundmodell, GWN-BW
gesättigte Zone		Festgestein, unverwittert, grundwassererfüllt	Grundwasseroberfläche	Oberirdische Gewässer GWDB, ADB, 3-D-Untergrundmodell



3.2 Bindige Deckschichten

Deckschichten im hydrogeologischen Sinn sind definitionsgemäß überwiegend Grundwassergeringleiter. Sie können jedoch z. T. auch Grundwasserleiter mit geringerer Durchlässigkeit als der unterlagernde Hauptgrundwasserleiter sein (z. B. Flugsand-sedimente über quartären Kiesen und Sanden in der nördlichen Oberrheinebene). Die Deckschichten sind weit verbreitet, stehen oberflächlich oder oberflächennah an und können in stark wechselnden Mächtigkeiten vorkommen.

Bei den bindigen tertiären und quartären Deckschichten handelt es sich um Sedimente und untergeordnet Festgesteine unterschiedlicher petrographischer Zusammensetzung und Entstehung.

Hydrogeologische Einheiten, die als bindige tertiäre und quartäre Deckschichten klassifiziert wurden, sind in Anhang 3 aufgelistet. Eine lithologische Beschreibung der Einheiten findet sich unter <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de>.

3.3 Bewertete Grundwasserleiter und Überlagerungssituation

Der Untergrund von Baden-Württemberg ist vielfach aus einem vertikalen und lateralen Wechsel von Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern aufgebaut (Abbildung 3-2, RPF-LGRB, 2008). In den Anhängen 2, 3 und 4 sind die hydrogeologischen Kartiereinheiten hinsichtlich ihrer Zuordnung als Grundwasserleiter bzw. Grundwassergeringleiter kategorisiert.

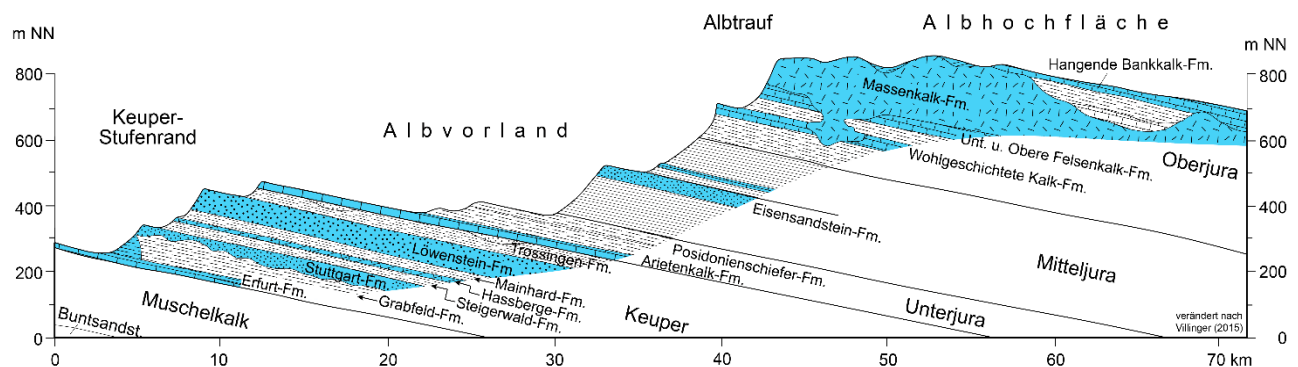


Abbildung 3-2: Hydrogeologischer Profilschnitt durch das Schichtstufenland und die Albhochfläche (vereinfacht) mit lateralem und vertikalem Wechsel von Grundwasserleitern (blau) und Grundwassergeringleitern.



Datengrundlage

- HKoD-BW
- Lithofazies und regionale hydrogeologische Kenntnisse
- Wasserschutzgebiete
- Lage von Brunnen, Quellen und Grundwassermessstellen, z.T. mit zugeordnetem Grundwasserleiter

Arbeitsschritte

Charakterisierung der Hydrogeologischen Einheiten als Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter

Festlegung des zu bewertenden Grundwasserleiters

- oberster, hydrogeologisch definierter Grundwasserleiter (Variante 1)
- wasserwirtschaftlich genutzter bzw. nutzbarer Grundwasserleiter (Variante 2)

Festlegung regionalspezifischer Vorgehensweisen z. B.

- Kristallin im Schwarzwald und Odenwald
- Glazial geprägte Sedimente in Oberschwaben

Variante 1

Der oberste Grundwasserleiter entspricht der von der Geländeoberfläche aus gesehen ersten hydrogeologischen Einheit mit grundwasserleitenden und -speichernden Eigenschaften. Er kann direkt an der Geländeoberfläche austreten oder von einem oder mehreren Geringleitern (bindiges Lockergestein und/oder Festgestein) überlagert werden.

Variante 2

Der oberste wasserwirtschaftlich genutzte bzw. nutzbare Grundwasserleiter entspricht in vielen Fällen dem obersten Grundwasserleiter. In einigen Regionen wird jedoch das Grundwasser nicht aus dem obersten, sondern aus einem darunter liegenden Grundwasserleiter wasserwirtschaftlich genutzt. Gründe hierfür können erhöhte Verschmutzungsempfindlichkeit oder bestehende Verunreinigungen bzw. zu geringe Ergiebigkeiten im obersten Grundwasserleiter sein (z. B. aufgrund der kleinräumigen Verbreitung). Eine derartige Situation liegt z. B. im Nordosten von Baden-Württemberg vor. Dort bilden die Gesteine des Unterkeupers flächenhaft den oberen Grundwasserleiter; die wasserwirtschaftliche Nutzung erfolgt jedoch wegen der größeren Ergiebigkeit überwiegend aus dem unterlagernden Oberen Muschelkalk.



Tabelle 2: Regionale Besonderheiten bei der Bewertung der Grundwasservorkommen für die Varianten 1 und 2.

Bewertungs-varianten Regionen	Oberster Grundwasserleiter (Variante 1)	Oberster wasserwirtschaftlich genutzter bzw. nutzbarer Grundwasserleiter (Variante 2)
Oberrhieingraben	Bewertung der Grundwasservorkommen in der Neuenburg-Formation, Ortenau-Formation bzw. Mannheim-Formation	
Quartäre Porengrundwasserleiter	Quartäre Porengrundwasserleiter werden grundsätzlich als oberster Grundwasserleiter eingestuft.	Die quartären Porengrundwasserleiter werden im Oberrhieingraben und bereichsweise im Alpenvorland bewertet. Ansonsten wird auf den unterlagernden Festgesteinsgrundwasserleiter abgedeckt.
Hochterrassenschotter (Hochrheingebiet)	Werden als oberster Grundwasserleiter bewertet	Bewertung des unterlagernden Festgesteinsgrundwasserleiters
Quartär im Alpenvorland	Bewertung der GW-Vorkommen in den fluvioglazialen Kiesen und Sanden, den Deckenschottern sowie in den glazial geprägten Sedimenten (Beckensedimente, „Moränensedimente“) mit der Annahme eines Flurabstands von maximal fünf Metern. Bei geringerer Mächtigkeit der Lockersedimente wurden die quartären Sedimente bis zum unterlagernden Festgestein (Oberjura bzw. Molassesedimente) bewertet.	Bewertung der GW-Vorkommen in den fluvioglazialen Kiesen und Sanden, den Deckenschottern sowie in den glazial geprägten Sedimenten (Beckensedimente, „Moränensedimente“) mit der Annahme eines Flurabstands von maximal zehn Metern. Bei geringerer Mächtigkeit der Lockersedimente wurden die quartären Sedimente bis zum unterlagernden Festgestein (Oberjura bzw. Molassesedimente) bewertet.
Molasseeinheiten	Molasseeinheiten (tOS, tOB, tOM, tUS) werden bewertet, sofern die Fläche das sogenannte Kriterium der Mindestflächengröße erfüllt ist, d. h. die jeweilige Fläche der Molasseeinheit muss eine Grundwasserneubildungsspende von mindestens 1 l/s liefern.	Molasseeinheiten (tOS, tOB, tUS) werden auf tOM abgedeckt.
Impaktgesteine und unbekannter Untergrund (Vorbergzone)	In Bereichen mit Impaktgesteinen und in der Vorbergzone ist der geologische Festgesteinsuntergrund aufgrund der komplexen tektonischen Situation häufig unbekannt. Dort erfolgt die Bewertung der Schutzfunktion nur für den Boden und die bindigen Deckschichten (z. B. Lösssedimente, Umlagerungssedimente).	
Kristallin	Ausschließlich Bewertung der Schutzfunktion des Bodens (bis maximal 1 m unter Geländeoberfläche).	Bewertung des Bodens, sowie der ungesättigten Zone im Kristallin (bis maximal 10 m unter Geländeoberfläche).
Kleinflächen (Flächen mit weniger als 1 l/s Grundwasserneubildungsspende aus Niederschlag)	Werden nicht berücksichtigt. Bewertet wird das Grundwasservorkommen des darunter liegenden Grundwasserleiters (Kriterium der Mindestflächengröße).	



Die regionalen Besonderheiten, die den beiden Varianten bei der Festlegung des bewerteten Grundwasserleiters berücksichtigt wurden, sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

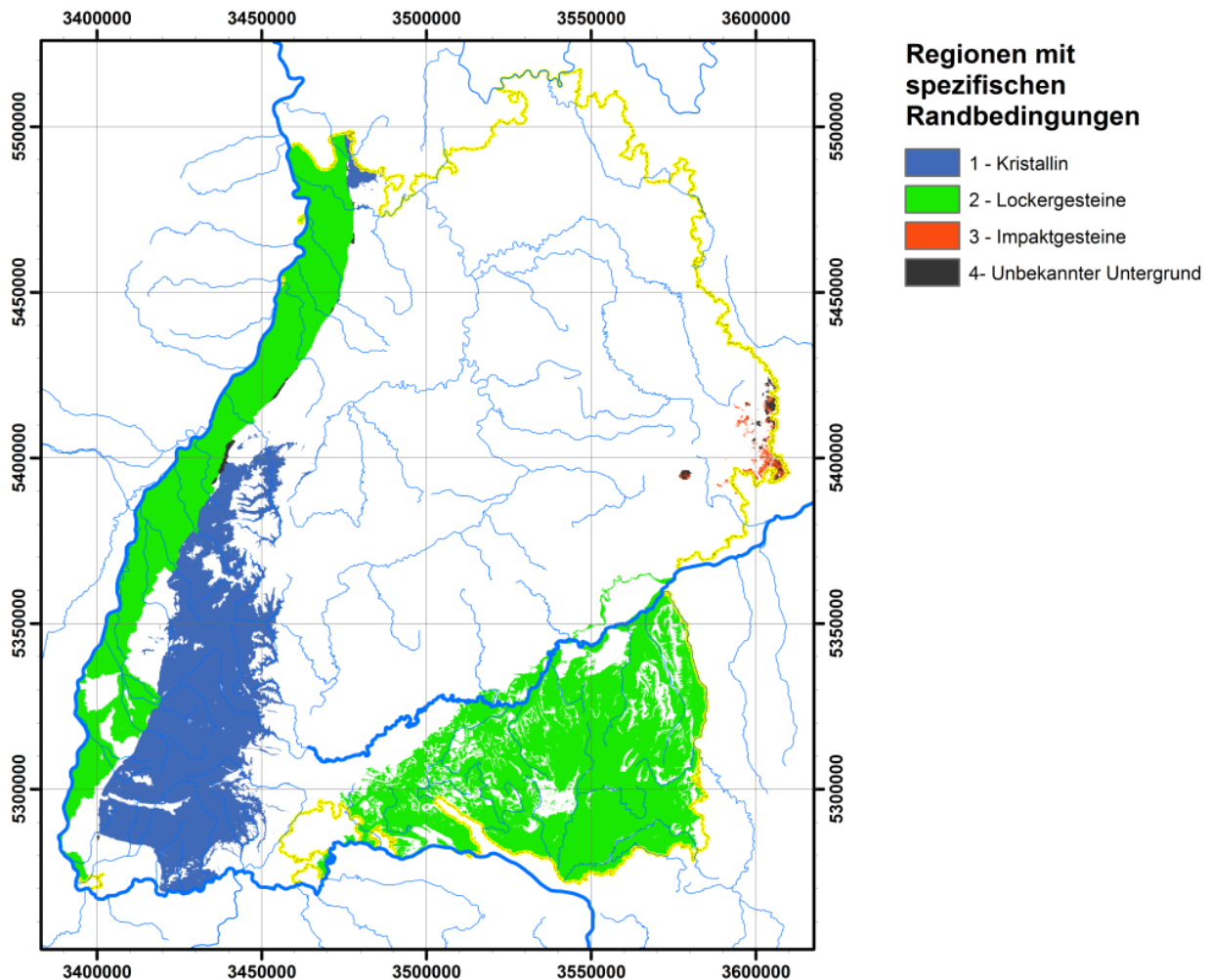


Abbildung 3-3: Landesweite Übersicht der Regionen mit spezifischen Randbedingungen bei der Bewertung der Grundwasserschutzfunktion.

Für das Kristalline Grundgebirge und für die glazial geprägten Sedimente des Alpenvorlands war es nicht möglich, flächendeckend plausible und konsistente Grundwasserflurabstände zu konstruieren. Deshalb wurden für diese Gebiete konservative, pauschalisierte Annahmen getroffen, die sich in den beiden Bewertungsvarianten unterschieden. Im Kristallinen Grundgebirge wurde in Variante 1 nur der Boden mit einer Mächtigkeit von maximal einem Meter, in Variante 2 der Boden mit einer Mächtigkeit von maximal einem Meter und die darunter folgende ungesättigte Zone bis in eine Tiefe von 10 m u. GOK (Auflockerungszone) bewertet. Für die glazial geprägten Sedimente des Alpenvorlands wurde bei ausreichender Mächtigkeit der Sedimente in Variante 1 ein Grundwasserflurabstand von maximal 5 m, in Variante 2 ein Grundwasserflurabstand von maximal 10 m angenommen (vgl. Abbildung 3-19 in Kapitel 3.5.2). Bei geringerer Mächtigkeit wurden

die quartären Sedimente bis zum unterlagernden Festgestein (Oberjura bzw. Molasse-sedimente) bewertet.

In Abbildung 3-3 sind die Regionen mit spezifischen Randbedingungen zur Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung dargestellt.

Die bewerteten Grundwasserleiter werden für beide Varianten jeweils als Karte visualisiert (Kap. 5.1.2). Die Angaben zur Schutzfunktion sind im Kartenviewer des LGRB direkt mit den Angaben zum jeweils bewerteten Grundwasserleiter verknüpft (<https://maps.lgrb-bw.de/>).

3.3.1 Variante 1: Oberster Grundwasserleiter

Die Variante 1 bezieht sich auf den obersten Grundwasserleiter (GWL, Abbildung 3-4, Abbildung 3-5). Die Festlegung erfolgt ausschließlich aufgrund der lithologischen Ausprägung und damit der grundwasserspeichernden und -leitenden Eigenschaften der Gesteinseinheiten. Grundlage hierfür bildet die Abgedeckte Hydrogeologische Karte Baden-Württemberg (HKoD-BW). Bildet ein Grundwassergeringleiter (GWGL) die oberste hydrogeologische Einheit (HE), wurde die erste HE mit GWL-Eigenschaften im Liegenden als zu bewertender Grundwasserleiter festgelegt. Hierbei wurde außer Acht gelassen, ob das Grundwasservorkommen in diesem Grundwasserleiter mengenmäßig und qualitativ grundsätzlich wasserwirtschaftlich nutzbar ist. Die obersten hydrogeologischen Einheiten, die in der Variante 1 bewertet wurden, sind in Anhang 4 zusammengestellt.

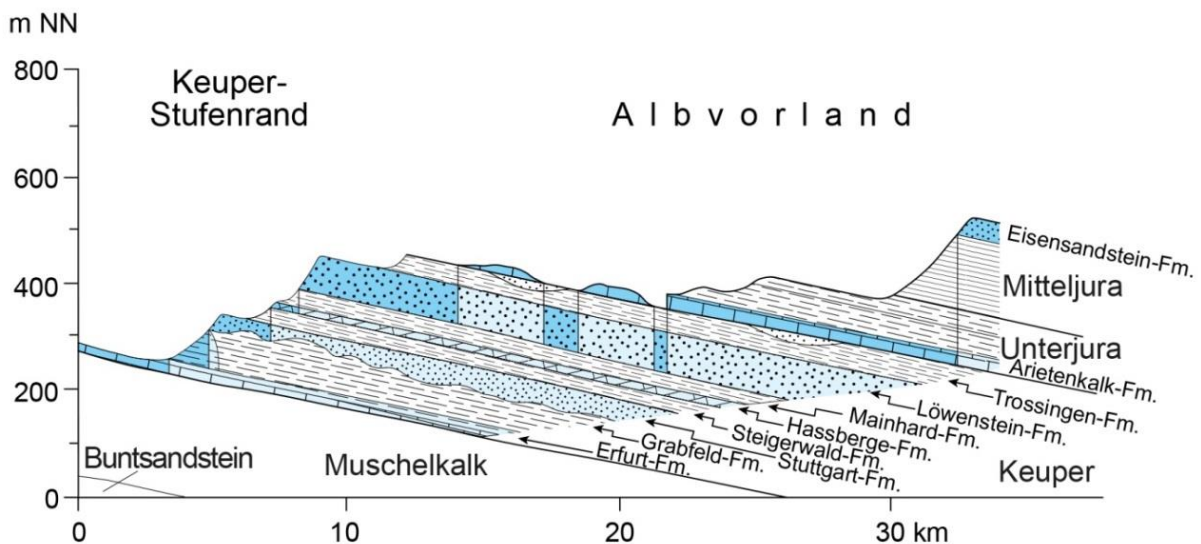


Abbildung 3-4: Variante 1: Bewertet wird der oberste Grundwasserleiter (hellblau: Grundwasserleiter, dunkelblau: bewerteter Grundwasserleiter).

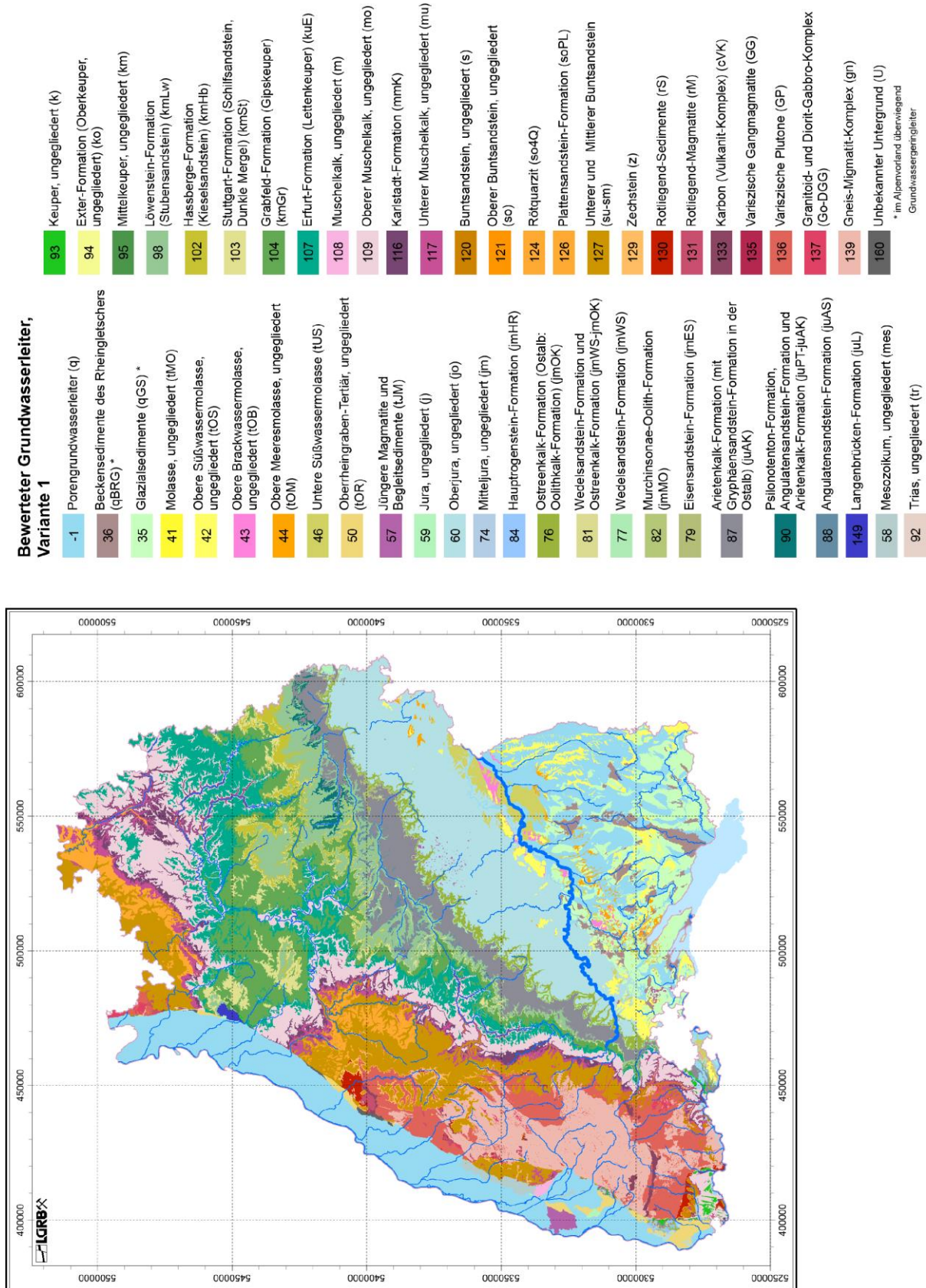


Abbildung 3-5: Variante 1: Oberster Grundwasserleiter



Im Alpenvorland werden in Variante 1 die potenziellen Grundwasservorkommen in den nicht überdeckten sowie bereichsweise überdeckten quartären Kieskörpern bewertet. Die Mächtigkeit und lithologische Ausprägung der Überdeckung der Kieskörper kann stark variieren. In diesen Bereichen ist daher die Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung mit großen Unsicherheiten behaftet. Im Verbreitungsgebiet glazial geprägter Sedimente im Alpenvorland (Diamikte, Beckensedimente) ist nicht mit einem flächenhaft vorhandenen, durchgängigen Grundwasservorkommen zu rechnen. Jedoch treten in den geringer durchlässigen Sedimenten immer wieder kiesige Einschaltungen mit lokalen Grundwasservorkommen auf, die z. T. wasserwirtschaftlich genutzt werden bzw. über Quellen entwässern. Aufgrund der heterogenen Ablagerungsbedingungen können diese Kieskörper aber nicht näher lokalisiert bzw. eingegrenzt werden. Aus diesen Überlegungen heraus werden auch Bereiche mit Glazialsedimenten oder Beckensedimenten hinsichtlich ihrer Schutzfunktion für ein möglicherweise eingeschaltetes Grundwasservorkommen bewertet. Allerdings sind in diesen Bereichen sowohl die Annahmen zum Grundwasserflurabstand als auch zur lithologischen Ausprägung der Sedimente in der ungesättigten Zone mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Deshalb wurde hier auf eine Regionalisierung des Grundwasserflurabstands verzichtet. Stattdessen wurde die Schutzfunktion für einen Grundwasserflurabstand von maximal 5 m (Variante 1) bzw. maximal 10 m (Variante 2) berechnet.

Im Oberrheingraben wird die Schutzfunktion für die Grundwasservorkommen in der Neuenburg-, Ortenau- und Mannheim-Formation bewertet (RPF-LGRB, 2007).

3.3.2 Variante 2: Wasserwirtschaftlich genutzter bzw. nutzbarer Grundwasserleiter

Die Variante 2 bezieht sich auf den wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiter (GWL, Abbildung 3-6, Abbildung 3-7). Die Festlegung des wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiters geht ebenfalls von der Klassifizierung der Hydrogeologischen Kartiereinheiten in Grundwasserleiter bzw. -geringleiter aus.

Im nächsten Schritt wurden die verfügbaren und bekannten standörtlichen wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Nutzung, Ergiebigkeit) berücksichtigt. Folgende Kriterien wurden zur Bewertung der wasserwirtschaftlichen Relevanz herangezogen:

- Lage von Wasserschutzgebieten und zugeordneter wasserwirtschaftlich genutzter Aquifer
- Lage von Quellen mit zugeordnetem Aquifer
- Lage von Brunnen mit Angaben zum verfilterten Aquifer
- Lage von Grundwassermessstellen mit Angaben zum verfilterten Aquifer
- Regionale Kenntnisse über Grundwassernutzungen und hydrogeologische Verhältnisse



Informationen zum wasserwirtschaftlich genutzten Aquifer sind im Datensatz des LGRB zu den Wasserschutzgebieten (WSG) enthalten. Dort ist in der Regel vermerkt, aus welchen Grundwasserleitern die zugehörigen Brunnen oder Quellen das Grundwasser entnehmen. In Gebieten ohne WSG wurden ersatzweise größere Quellen bzw. ausgebaut Bohrungen (Brunnen, GW-Messstellen) herangezogen. Dabei wurde angenommen, dass die Quellen in der Regel aus dem jeweils wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiter austreten bzw. die Brunnen und Grundwassermessstellen darin verfiltert sind.

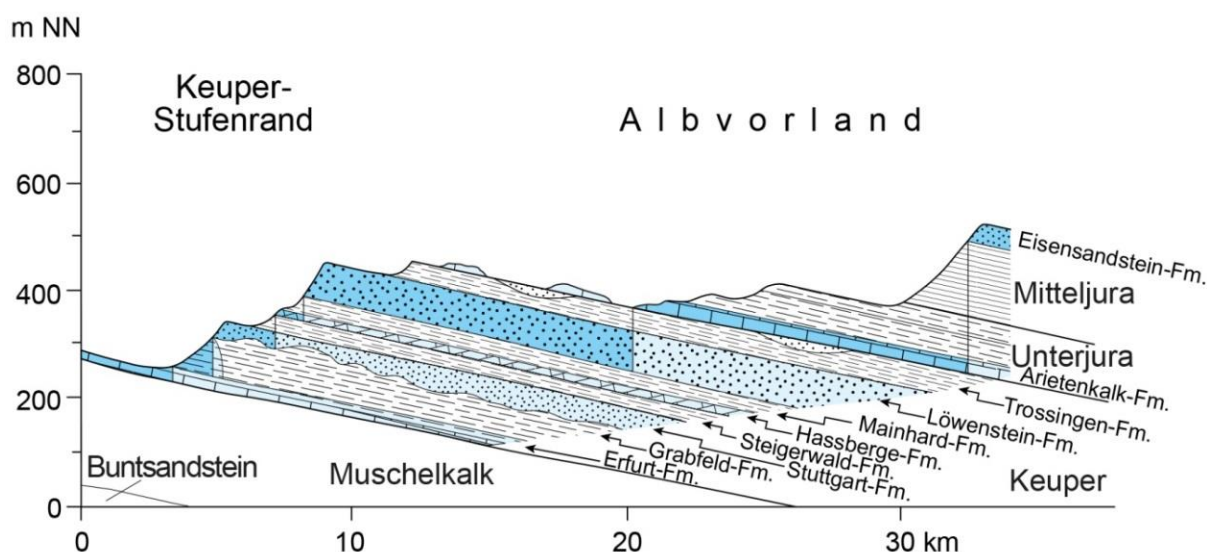


Abbildung 3-6: Variante 2: Bewertet wird der wasserwirtschaftlich genutzte bzw. nutzbare Grundwasserleiter (hellblau: Grundwasserleiter, dunkelblau: bewerteter Grundwasserleiter).

In den Kiesgrundwasserleitern im Oberrheingraben und im Alpenvorland ist der oberste hydrogeologisch definierte Grundwasserleiter mit dem wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiter identisch (siehe Tabelle 2).

Die Grundwasserleiter mit wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasservorkommen, die in der Variante 2 bewertet wurden, sind in Anhang 4 zusammengestellt.

Der Unterschied zwischen Variante 1 und Variante 2 wird beispielhaft in den Abbildungen 3-4 und 3-6 verdeutlicht. Während in Variante 1 der Arietenkalk als oberster Grundwasserleiter bewertet wird, wird in Variante 2 die Löwenstein-Formation als der in dieser Region wasserwirtschaftlich genutzte Grundwasserleiter bewertet.

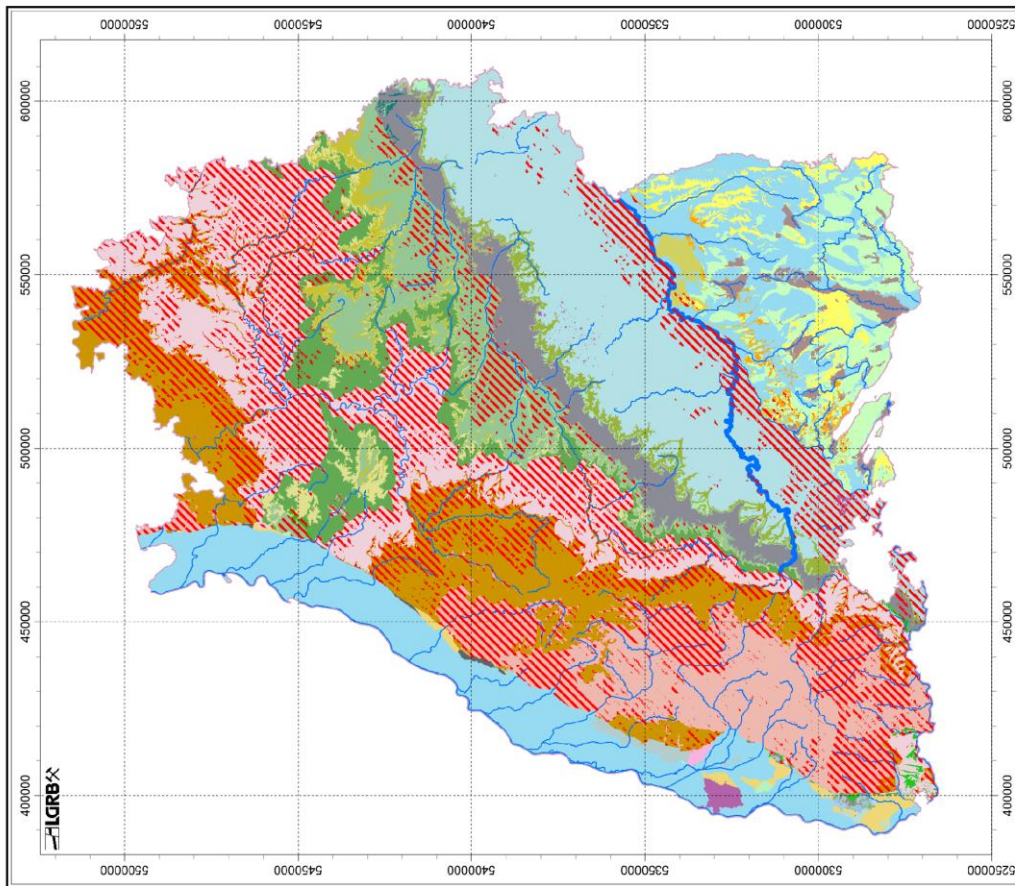
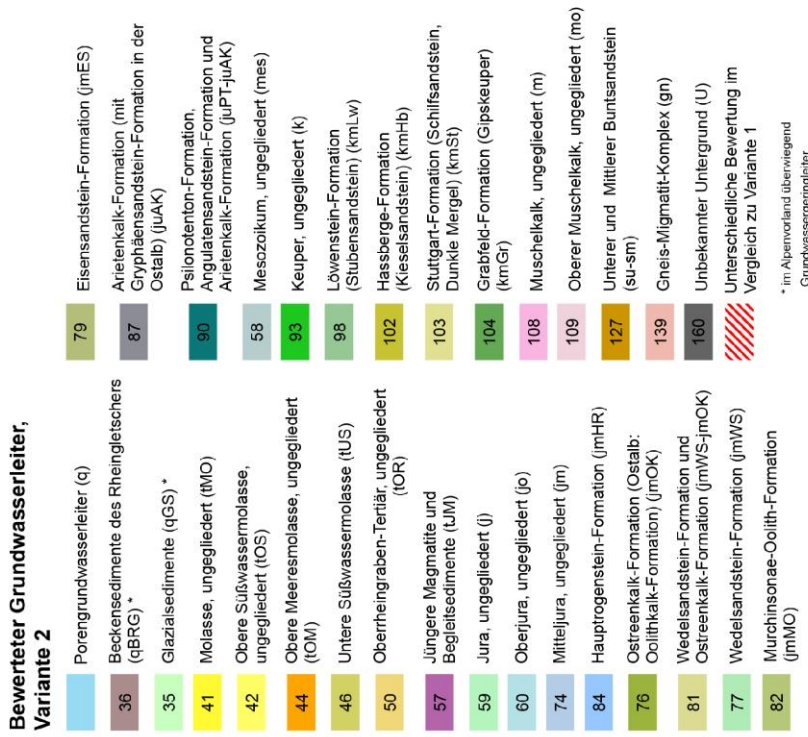


Abbildung 3-7: Variante 2: Oberster wasserwirtschaftlich genutzter bzw. nutzbarer Grundwasserleiter (schraffiert: im Vergleich zu Variante 1 unterschiedliche Bewertung).

3.4 Grundwasserneubildung, Sickerwasserrate

Datengrundlage

- GWN_BW

Arbeitsschritte

- Übernahme der Daten aus dem Modell GWN_BW
- Linearisierung der Beziehung Grundwasserneubildungsrate zu Faktor W

Unter Grundwasserneubildung wird der Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser verstanden (DIN, 1994). Die Prozesse, die die Grundwasserneubildungshöhe beeinflussen, sind in Abbildung 3-8 dargestellt.

Der Modellansatz geht primär davon aus, dass sämtlicher Niederschlag in den Boden eindringt, dort den Bodenwasserspeicher füllt und die tatsächliche Verdunstung über Pflanzen und die Bodenoberfläche bedient. Überschüssiges Wasser tritt als Sickerwasser aus dem Boden über und trägt zur Grundwasserneubildung bei.

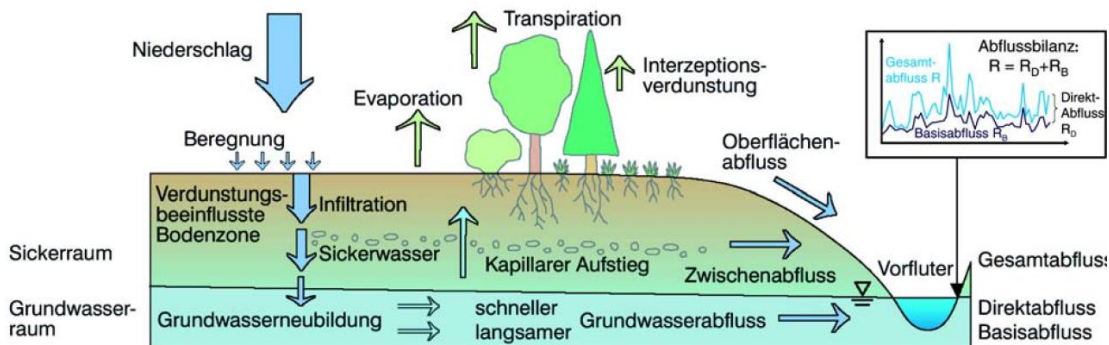


Abbildung 3-8: Prozesse der Abflussbildung, die die Grundwasserneubildung regional beeinflussen (BMU 2003).

Das Bodenwasserhaushaltsmodell GWN_BW rechnet in Tagesschritten auf Grundflächen mit einer mittleren Flächengröße von ca. 0,54 km² (minimale Flächengröße ca. 0,04 km², maximale Flächengröße ca. 1 km²) (Morhard, 2012). Die Flächen resultieren aus der Verschneidung von Datengrundlagen wie Bodendaten und Landnutzung. Eine vergleichbare Methode wird auch in den benachbarten Bundesländern Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen eingesetzt.

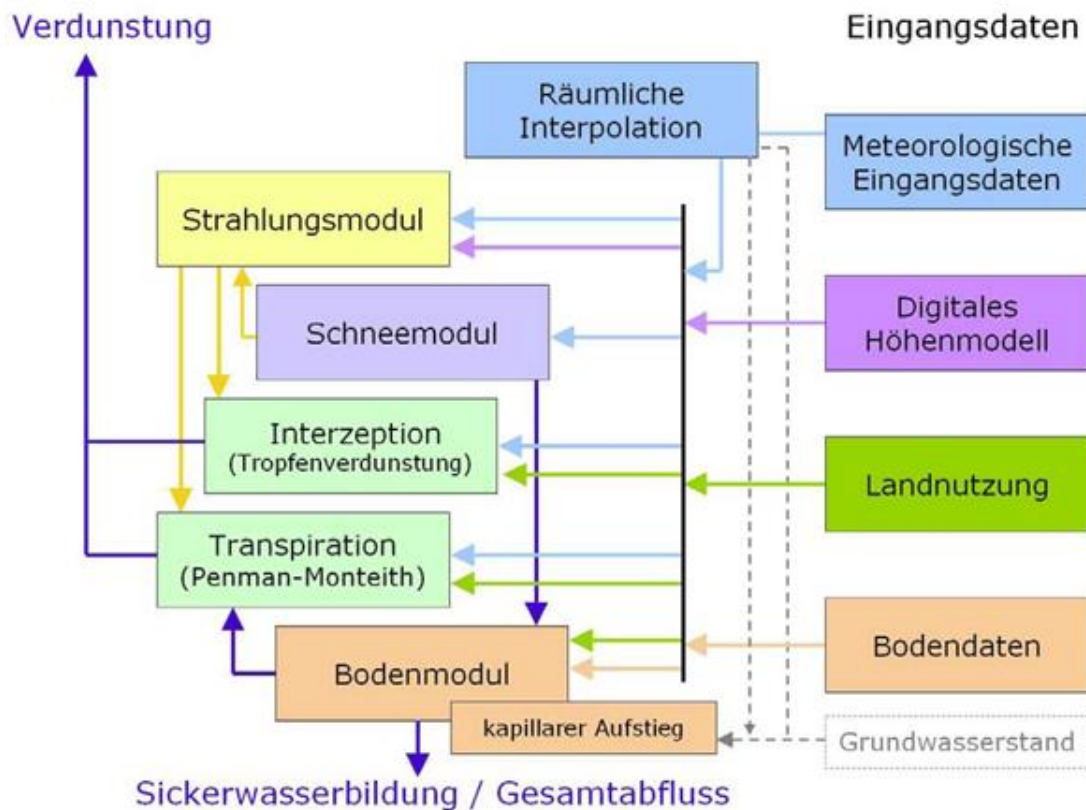


Abbildung 3-9: Modellkomponenten des Modells GWN_BW (Morhard, 2012).

In einer Modellerweiterung wird die Sickerwasserrate durch das „Langjährige mittlere Verhältnis Basisabfluss/Gesamtabfluss“ (Baseflow Index, BFI, WaBoA 2012, Karte 6.1) zur Grundwasserneubildungshöhe reduziert. Dieser Baseflow Index wurde für mittelskalige Einzugsgebiete über eine multiple Regression ermittelt und reduziert, die in einem Einzugsgebiet anfallende Sickerwasserrate idealerweise auf die Höhe der mittleren Grundwasserneubildung (Armbruster, 2002). Die so ermittelte Grundwasserneubildung wird für die Ermittlung des Sickerwasserfaktors nach Hölting et al. (1995) verwendet (Abbildung 3-13).

Aktuell stehen die Modellergebnisse auf Basis der BÜK200 zur Verfügung. Ein verfeinertes Modell auf Basis der GeoLa-BK-Daten ist in Vorbereitung und kann zu späterer Zeit in die Schutzfunktionsbewertung integriert werden (vgl. Kapitel 6.1).

Grundlage für die Schutzfunktionsbewertung sind die mittleren Jahreswerte der Grundwasserneubildungshöhe für den Zeitraum 1981 bis 2010. Abbildung 3-10 zeigt eine landesweite Übersicht der Grundwasserneubildungshöhen, Abbildung 3-11 die Häufigkeitsverteilung der dargestellten Grundwasserneubildungsklassen.

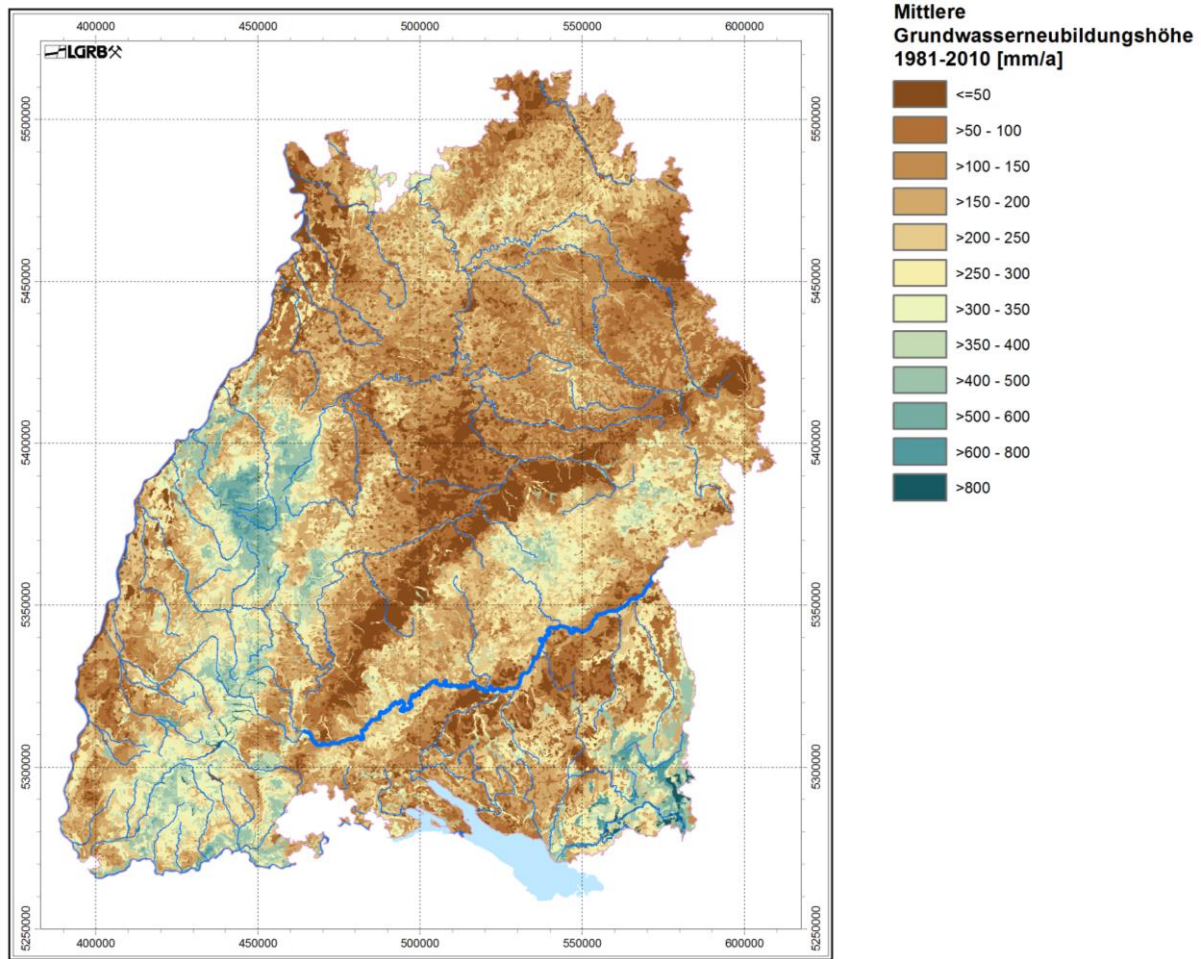


Abbildung 3-10: Karte der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungshöhen 1981-2010.

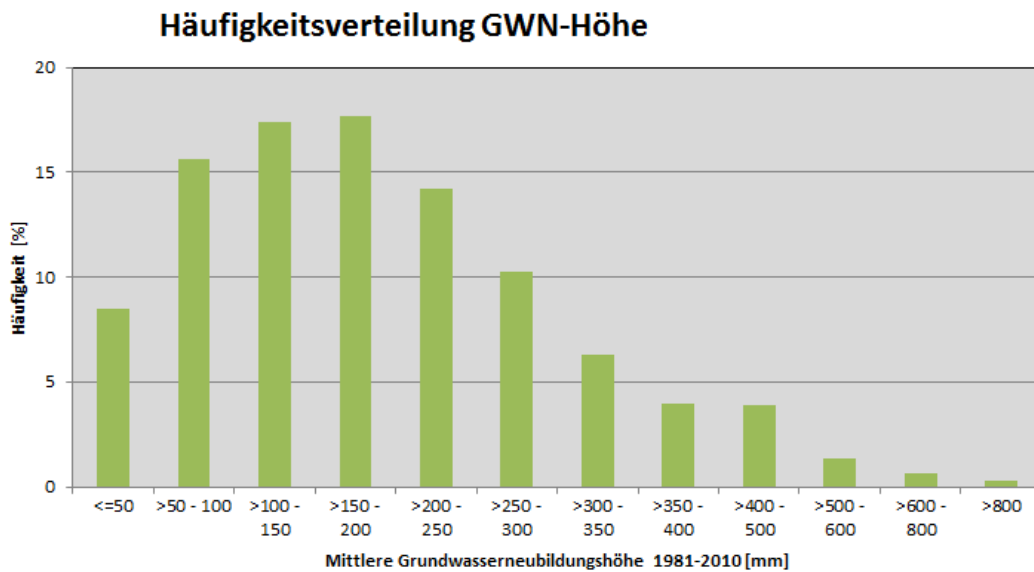


Abbildung 3-11: Häufigkeitsverteilung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungshöhe 1981-2010 (Klassengrenzen entsprechend Kartendarstellung).

Zur Ableitung des Sickerwasserfaktors W (Bewertung der Sickerwassermenge anhand der Grundwasserneubildungsrate, Hölting et al., 1995) wurde der Parameter stufenlos linearisiert. Hierzu wurden die Klassenmittelwerte nach Hölting et al. (1995, Tabelle 4) zu Grunde gelegt und eine Regressionsbeziehung aufgestellt (Abbildung 3-12). Darauf aufbauend wurde der Faktor W mit den unklassifizierten Daten der Grundwasserneubildung aus GWN_BW als Rasterdatensatz aufbereitet (Abbildung 3-13).

Tabelle 3: Beziehung zwischen Grundwasserneubildungsrate (GWN) und dem Sickerwasserfaktor W (Hölting et al., 1995).

GWN [mm/a]*	N-ETP _{pot} [mm/a]*	Sickerwasserfaktor W
<= 100		1,75
>100 – 200	<= 100	1,5
>200 – 300	>100 – 200	1,25
>300 – 400	>200 – 300	1,0
>400	>300 – 400	0,75
	>400	0,5

* Es sollte möglichst – sofern Daten verfügbar sind – die tatsächliche Grundwasserneubildung (GWN) verwendet werden!

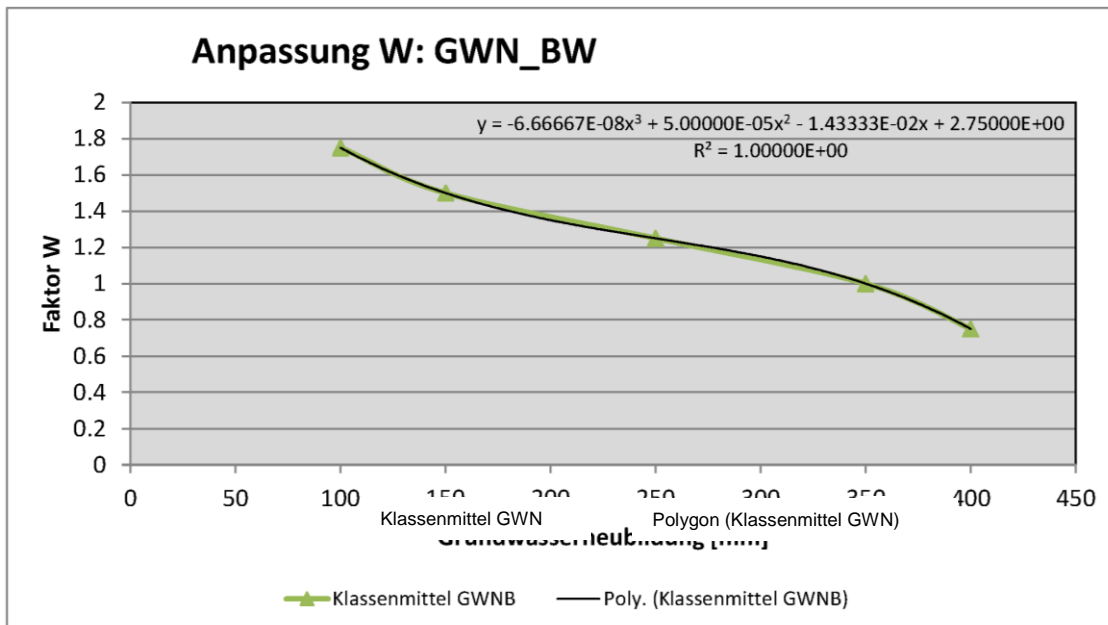


Abbildung 3-12: Linearisierung des Sickerwasserfaktors W anhand der Grundwasserneubildungsrate (GWN, Werte aus der Regression mit $W < 0,5$ werden auf 0,5, Werte von $W > 1,75$ werden auf 1,75 gesetzt).



Für Grundwasserneubildungshöhen kleiner 100 mm und negative Werte (kapillarer Aufstieg) beträgt der Sickerwasserfaktor W maximal 1,75. Grundwasserneubildungshöhen über 400 mm und Gewässerflächen wird der minimale Faktor W von 0,5 zugewiesen.

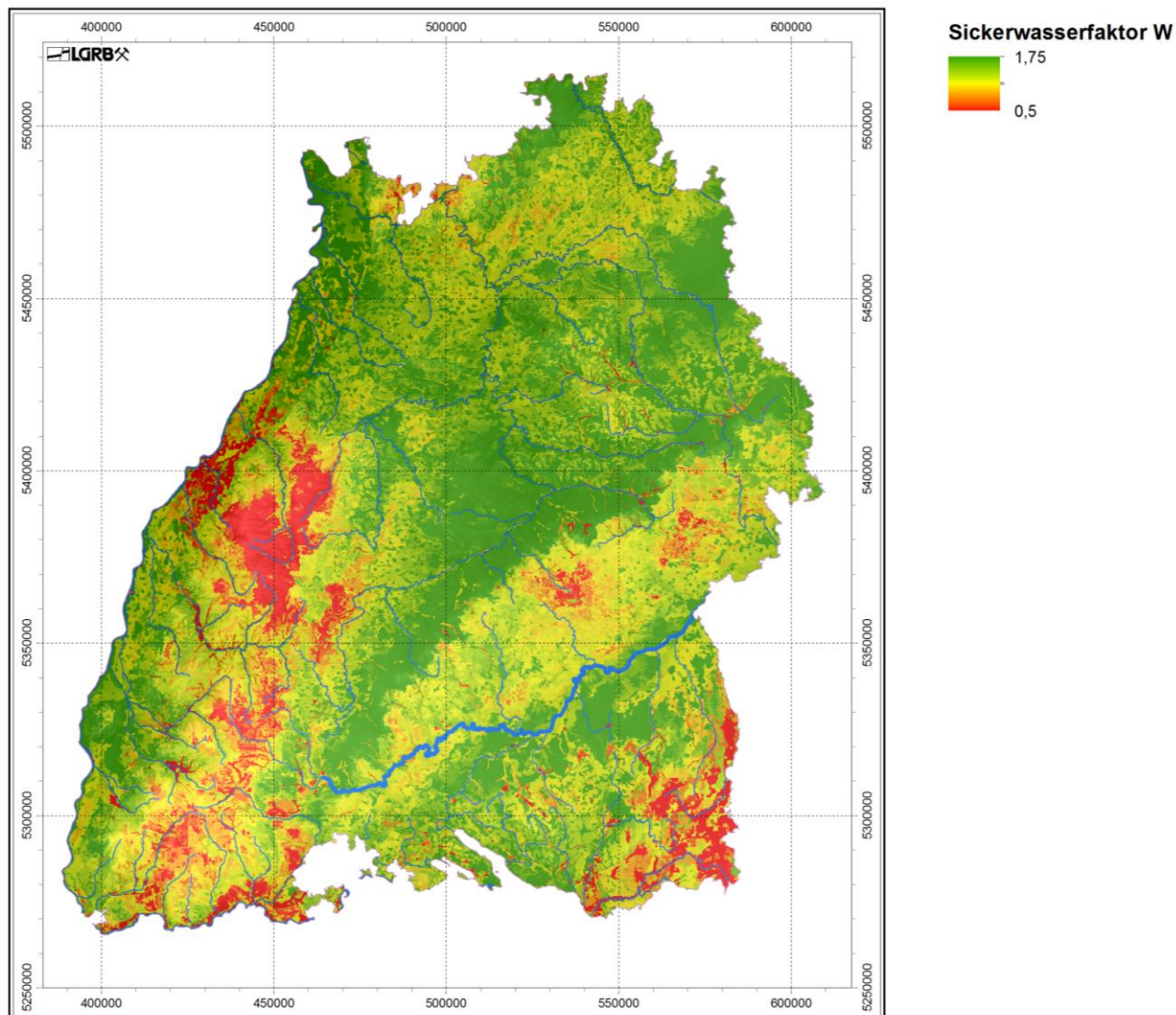


Abbildung 3-13: Sickerwasserfaktor W (nach Hölting et al., 1995) berechnet anhand der mittleren Grundwasserneubildungshöhen 1981–2010.



3.5 Grundwasserflurabstand

Datengrundlage

- Digitales Geländemodell
- Sammlung bestehender Grundwassergleichenpläne (HGK, HGE, Veröffentlichungen, Gutachten LGRB)
- Belegpunkte zu Grundwasserständen aus Grundwassergleichenplänen (LGRB)
- Angaben zu Grundwasserständen in Brunnen und Grundwassermessstellen aus der Grundwasserdatenbank der LUBW (GWDB)
- Angaben zur Lage und Austrittshöhe von Quellen, teilweise mit Angaben zum zugehörigen Aquifer (Quelldatenbank des LGRB, GWDB)
- Lage von (potenziellen) Quellhorizonten (HKoD-BW)
- Sohlhöhen und Wasserspiegellagen von Gewässern (LUBW)
- Verbreitung grundwasserbeeinflusster Böden (BK-BW, LGRB)
- Bohrprofile in der ADB mit Angaben zum (angetroffenen) Wasserstand (LGRB)

Arbeitsschritte (einzelne Arbeitsschritte werden z. T. parallel bzw. mehrfach durchlaufen)

- Sichtung und Bewertung der Datengrundlagen
- Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Erstellung eines landesweiten Datensatzes zum Grundwasserflurabstand
- Festlegung eines geeigneten Regionalisierungsverfahrens
- Identifikation von Regionen mit besonderen hydrogeologischen Verhältnissen und Festlegung eines regional abweichenden methodischen Vorgehens
- Festlegung hydrogeologisch plausibler Randbedingungen
- Iterative Erstellung eines landesweiten Datensatzes zum Grundwasserflurabstand
- Plausibilisierung anhand vorliegender Grundwasserflurabstände aus Grundwassergleichenplänen und mittleren Grundwasserflurabständen aus Messreihen der Grundwasserstände
- Übernahme des bestehenden Grundwassergleichenplans für den Oberjura (Selg et al., 2003)



Neben der Grundwasserneubildungsrate stellt der Grundwasserflurabstand (GWF) eine wichtige und sensitive Eingangsgröße für die Abschätzung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung dar. Er ist definiert als der lotrechte Abstand zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und der Grundwasser Oberfläche des ersten Grundwasserstockwerks (DIN, 1994) (Abbildung 3-1). Im vorliegenden Fall ist die untere Bezugsfläche abweichend von o. g. Definition entweder die Oberfläche des Grundwassers im oberen Grundwasserleiter oder die im wasserwirtschaftlich genutzten, eventuell tieferen Grundwasserleiter. Bei gespannten Grundwasserverhältnissen wurde die Deckfläche des Grundwasserleiters angesetzt. Dementsprechend mussten für Bereiche mit zwei Bewertungen zwei Datensätze zum Grundwasserflurabstand erstellt werden.

Ein flächendeckender Datensatz zum Grundwasserflurabstand lag zu Projektbeginn für Baden-Württemberg nicht vor. Die verfügbaren Datengrundlagen beinhalteten punktförmige, linienhafte und flächenhafte Informationen (siehe oben: Datengrundlage), die im Vorfeld der Erstellung eines landesweiten Datensatzes zum GWF bewertet, gewichtet und kombiniert wurden.

Die vorhandenen Datensätze sind hinsichtlich Flächendeckung (Grundwassergleichenpläne), Datendichte (Grundwasserstandsdaten aus Brunnen, Grundwassermessstellen, Bohrungen, Quellen) und Datenqualität lückenhaft, heterogen und gebietsweise unplausibel. So wurden z. B. die vorliegenden Grundwassergleichenpläne für eine hydrogeologische Einheit an verschiedenen Stichtagen bei unterschiedlichen hydrologischen Situationen (Niedrigwasser, Mittelwasser, Hochwasser) erstellt, ebenso liegen die verfügbaren punktförmigen Grundwasserstandsmessungen für unterschiedliche hydrologische Zustände vor. Grundwassergleichenpläne liegen meist nur für Teilgebiete von Aquiferen als Inselkarten vor (HGK, HGE). Ausnahmen bilden die Grundwassergleichenpläne für den Oberjura sowie für die quartären Kiese und Sande im Oberrheingraben, die sich über das gesamte Verbreitungsgebiet dieser hydrogeologischen Einheiten erstrecken.

Die Datenverfügbarkeit spiegelt die wasserwirtschaftliche Relevanz der Grundwasservorkommen im Land wider: Grundwasservorkommen von hoher regionaler bis überregionaler wasserwirtschaftlicher Bedeutung sind wesentlich besser mit Daten belegt als solche von nur lokaler oder untergeordneter wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Demzufolge weist das Ergebnis der Regionalisierung des GWF in den wasserwirtschaftlich wichtigeren Gebieten tendenziell eine höhere Qualität auf als in den übrigen Gebieten.

Die Sichtung der vorhandenen Daten zeigte, dass ein Datensatz zum Grundwasserflurabstand nur durch eine sinnvolle Kombination der verschiedenen Datenebenen, ergänzt durch zusätzliche, fachlich plausible Annahmen, erstellt werden kann.

3.5.1 Datengrundlagen für die Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes

Zur Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes wurde ein neues methodisches Vorgehen entwickelt, um einen landesweit einheitlichen, konsistenten und flächen-deckenden Datensatz zu erstellen. Die Datengrundlagen wurden je nach Datenbestand und hydrologischer bzw. hydrogeologischer Situation unterschiedlich gewichtet und regional aufbereitet. Die Genauigkeitsanforderungen an den Datensatz zum GWF orientierten sich ausschließlich am Verwendungszweck zur Abschätzung des Schutzpotenzials. Für andere Fragestellungen ist der themenspezifische Datensatz nicht anwendbar.

Folgende Eingangsdaten gingen in die Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes ein:

I. Digitales Geländemodell (DGM)

Als digitales Geländemodell (DGM) diente der Datensatz DGM10 der Fa. Scilands GmbH (Köthe, 2012). Er wurde im Auftrag des LGRB aus dem DGM1 des Landesamts für Geo-information und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) abgeleitet. In der weiteren Bearbeitung wurden die Daten nach Bedarf in eine Rasterauflösung von 20 bzw. 40 m aggregiert.

II. Gewässernetz, Sohlhöhe und Wasserspiegellagen im Gewässer

Die Datensätze „LUBW AWGN“ (Amtliches digitales wasserwirtschaftliches Gewässernetz) sowie die Gewässer von ATKIS (LGL Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) mit ihren Attributen bspw. zur Wasserführung oder nicht verrohrten oder kanalisierten Gewässerstrecken liegen als Vektordaten vor.

Zusätzlich zum Gewässernetz wurden von der LUBW Daten zur Sohlhöhe sowie den Wasserspiegellagen bereitgestellt.

III. Grundwasserstandsdaten aus der GWDB

In der Grundwasserdatenbank (GWDB) der LUBW sind sowohl Einzeldaten als auch z. T. langjährige Messreihen zu Grundwasserständen in Brunnen und Grundwassermessstellen dokumentiert. Sofern Zeitreihen vorlagen, wurde vorzugsweise der Median bzw. alternativ der arithmetische Mittelwert genutzt. Einzelmessungen wurden nach Plausibilitätsprüfung im regionalen Bezug direkt übernommen.

Je nach hydrogeologischer Situation unterscheidet sich die Messstellendichte und Messreihenlänge stark. In den Lockergesteins-Porengrundwasserleitern der quartären Tal-füllungen ist die Dichte relativ hoch. In den Festgesteinsregionen der Mittelgebirge gibt es nur wenige Grundwassermessstellen.



Insgesamt wurden aus der GWDB ca. 6500 Wasserstandsdaten in Brunnen und Grundwassermessstellen bei der Erstellung der Flurabstandskarte herangezogen.

IV. Grundwassergleichenpläne

Veröffentlichte und in Gutachten des LGRB verwendete Grundwassergleichenpläne liegen im digitalen Kartenarchiv des LGRB vor. Der flächendeckende Grundwassergleichenplan für den Oberjura-Aquifer geht direkt in die Regionalisierung ein. Die übrigen Grundwassergleichenpläne dienen zur Validierung der GWF-Regionalisierung.

V. Bodendaten

Die Datensätze zur Bodenkarte BK-BW zeigen die Verbreitung der Bodentypen und Bodengesellschaften. Sie beinhalten u. a. Informationen zum Grundwasserflurabstand (z. B. in Dezimeter unter Flur oder Angaben wie Flurabstand „< 1,5 m“).

VI. Quellen

Lageangaben zu Quellen sowie deren Austrittshöhen liegen als Punktdaten in der Quelldatenbank des LGRB vor. Genutzt wurden ca. 12 000 Quellen.

VII. Quellhorizonte

Potenzielle Quellhorizonte bilden in Oberschwaben und im Hochrheingebiet weitere Stützpunkte zur Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes. In Oberschwaben wird davon ausgegangen, dass die überwiegend gering durchlässigen, tertiären Molassesedimente als Stauer für das Grundwasser in den überlagernden, wechselnd durchlässigen quartären glazialen Sedimenten wirken und die Grenzfläche somit als Quellhorizont ausgebildet sein kann. Am Hochrhein wird die Grenzfläche von Hochterrassenschottern zum unterlagernden Festgestein als Quellhorizont interpretiert.

VIII. Wasserstandsdaten aus Bohrungen

Für Regionen, in denen sonstige Datenquellen zu Grundwasserständen fehlten bzw. in denen das Regionalisierungsverfahren unplausibel große Grundwasserflurabstände produzierte, wurden aus der Aufschlussdatenbank des LGRB Bohrungen selektiert, die Angaben zu erbohrten Grundwasserständen enthalten. Insgesamt wurden ca. 330 derartige Wasserstandsdaten verwendet.



IX. Stehende Gewässer

Im Datensatz „Stehende Gewässer“ der LUBW sind 11 775 Objekte enthalten. Daraus wurden rund 11 000 Objekte mit potenziellem Grundwasseranschluss selektiert. Aus ATKIS ergeben sich noch weitere Stehende Gewässer, die jedoch vielfach mit den Objekten der LUBW identisch sind (3 300 Gewässerflächen). Die Bodenseeuferlinie geht mit einer Höhe von 391,89 m NN in die Interpolation ein.

3.5.2 Methodische Vorgehensweise bei der Erstellung des Datensatzes zum Grundwasserflurabstand

Die Modellierung bzw. Interpolation des Grundwasserflurabstands basiert auf der Regionalisierung der Grundwasseroberfläche [m NN]. Der Grundwasserflurabstand ergibt sich aus der Differenz der Geländehöhe (DGM) und der Grundwasseroberfläche (Abbildung 3-1).

3.5.2.1 Interpolationsverfahren

Zuerst wurden die in ArcGIS und SAGA verfügbaren Regionalisierungsverfahren schwerpunktmäßig für das Verbreitungsgebiet der quartären Kiese und Sande im Oberrheingraben getestet.

Dieses Testgebiet zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- die hydrogeologische Situation ist vergleichsweise einfach
- es steht ein flächendeckender Grundwassergleichenplan zur Validierung zur Verfügung
- es existiert ein dichtes Messnetz aus Grundwassermessstellen und Brunnen mit z. T. langjährigen Messreihen zum Grundwasserstand.

Die im Landesvergleich sehr gute Datenlage ermöglichte es, den Datensatz aufzuteilen und einen Teil zur Regionalisierung, den anderen zur Validierung der gewonnenen Ergebnisse zu verwenden. Aus den Messreihen der Messstellen bzw. Brunnen wurden mittlere Grundwasserstände ermittelt und daraus durch Verschneidung mit der Geländeoberfläche die Grundwasserflurabstände abgeleitet.

Die Validierung erfolgte teils rechnerisch, teils visuell anhand der Abweichungen zum regionalisierten Datensatz. Die vorhandenen Grundwassergleichenpläne wurden zuvor in Rasterdatensätze der Grundwasseroberfläche umgerechnet. Das Ergebnis der Tests zeigte, dass das ArcGIS Modul *Topo to Raster* für die Regionalisierung der Eingangsdaten am besten geeignet ist und vergleichbare Ergebnisse liefert wie bspw. an die Daten angepasste Kriging-Verfahren. *Topo to Raster* „interpoliert eine hydrologisch korrekte Raster-Oberfläche anhand von Punkt-, Linien- und Polygondaten“ (ESRI, 2017). Es ist das gängige Modul bei der Interpolation von Höhendaten, die auf Basis von Isolinien vorliegen. Dabei können verschiedene Datenquellen (z. B. auch gleichzeitig Höhen-

punkte und Isohypsen) kombiniert und Zusatzinformationen über Optionen wie „Lakes“ oder „Stream“ in die Auswertung integriert werden. Die kombinierte Nutzung der Punkt- und Linieninformationen lieferte die beste Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Werten. Abbildung 3-14 zeigt als Ergebnis den Vergleich zwischen den an Messstellen gemessenen Grundwasserständen mit denen, die an der selben Stelle über die Regionalisierung ermittelt wurden.

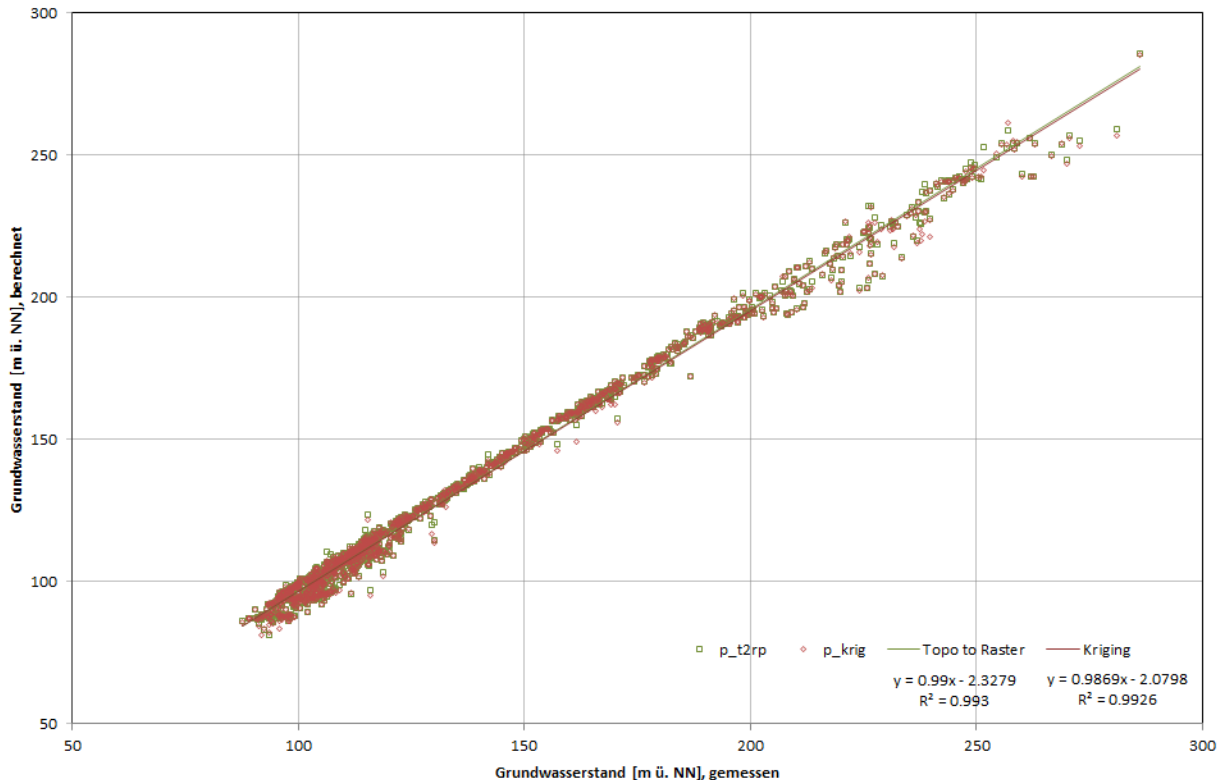


Abbildung 3-14: Vergleich der Interpolationsmethoden Kriging und Topo to Raster anhand einer Validierungsstichprobe von Grundwassermessstellen im Oberrheingraben inkl. Trend und Bestimmtheitsmaß.

3.5.2.2 Landesweite Regionalisierung des Grundwasserflurabstands

Der methodische Ansatz zur Regionalisierung einer landesweit einheitlichen zusammenhängenden Grundwasser Oberfläche geht von folgenden vereinfachten Annahmen aus:

- Das Grundwasser steht im Bereich von Porengrundwasserleitern grundsätzlich mit Fließgewässern und stehenden Gewässern in einer hydraulischen Wechselwirkung.
- Die Fließgewässer in den Porengrundwasserleitern der Talfüllungen bilden für das Grundwasser die Vorflut.



- Das Grundwasser tritt aus den Festgesteinsgrundwasserleitern in die Porengrundwasserleiter der Talfüllungen über.
- Die Grundwasserdruckfläche liegt nicht über der Geländeoberfläche, es gibt also keine artesisch gespannten Verhältnisse.
- Der Grundwasserflurabstand beträgt überall mindestens 0,5 m.
- Im Bereich bindiger Lockergesteinsdeckschichten liegt der Grundwasserstand an der Basis der Lockergesteinsdeckschichten, sofern er aufgrund der Regionalisierung höher liegen würde.

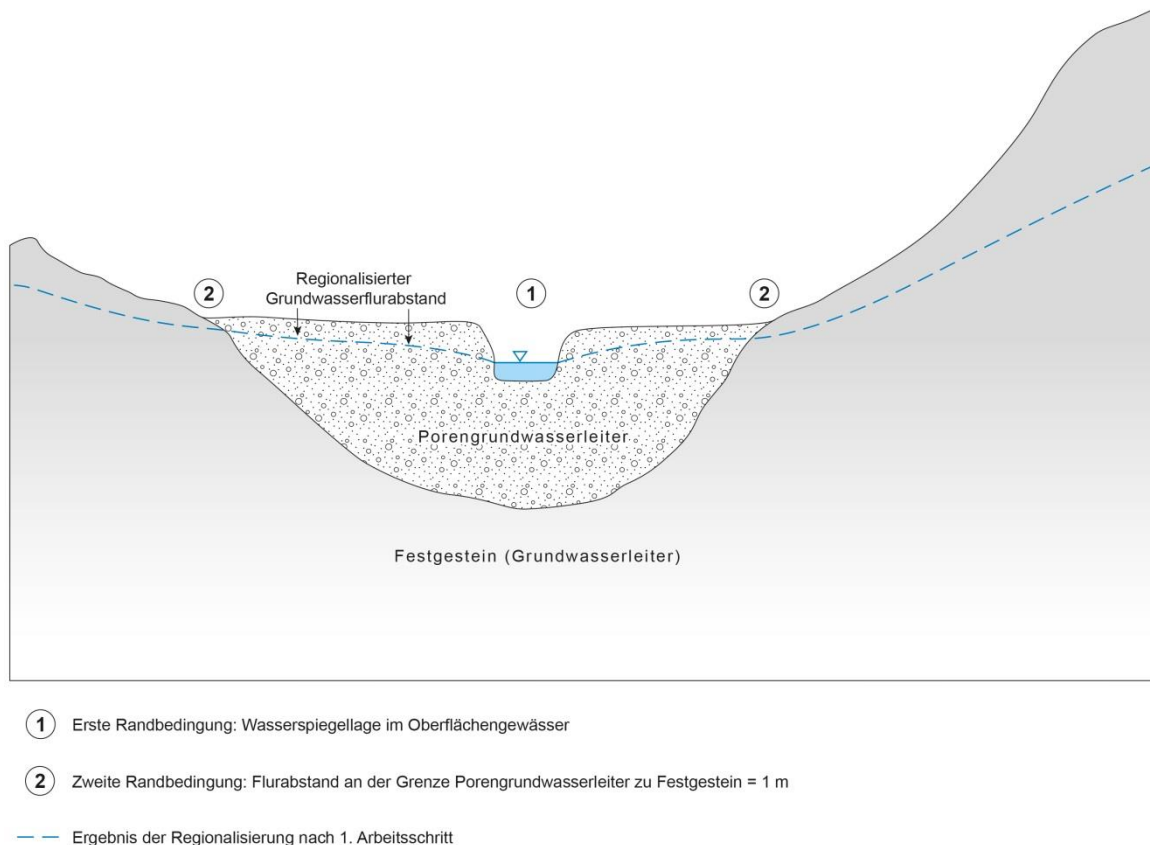


Abbildung 3-15: Talquerschnitt: Randbedingungen für die Modellierung der Grundwasser-oberfläche (Prinzipskizze).

Die Ergebnisse am Ende ausgewählter Bearbeitungsschritte werden beispielhaft und schematisiert an einem hydrogeologischen Profilschnitt durch den Oberjura der Schwäbischen Alb dargestellt (Abbildung 3-16 bis 3-18).

In einer ersten Topo to Raster-Interpolation wird der Grundwasserflurabstand in den Porengrundwasserleitern aus den Wasserspiegellagen entlang ausgewählter Gewässer (ohne die Quellgebiete und die oberen Talabschnitte) und den Seeflächen interpoliert. Ausgangspunkt der Regionalisierung sind die Wasserspiegellagen in den selektierten Oberflächengewässern (vgl. hierzu Kapitel 3.5.1, II) (Punkt 1 in Abbildung 3-15). Basierend auf diesen Höhen wird der Grundwasserstand bis an den Rand des Locker-



gesteinsgrundwasserleiters extrapoliert, wobei der Flurabstand an der Grenze zum Festgestein generell auf 1 m unter Gelände gesetzt wird (Punkt 2 in Abbildung 3-15). Von dort aus verläuft die extrapolierte Grundwasseroberfläche im angrenzenden Festgestein bis zu den Gewässern in den benachbarten Tallagen.

Im Festgestein zwischen den Talgrundwasserleitern wird eine eher flache Interpolationsebene erzeugt. Sie definiert hier eine „untere Randbedingung“ für den Grundwasserflurabstand (d. h. das Grundwasser kann nicht tiefer anstehen), während die “obere Randbedingung“ durch die Geländeoberfläche (GOK) vorgegeben ist (Abbildung 3-16: Beispiel Oberjura).

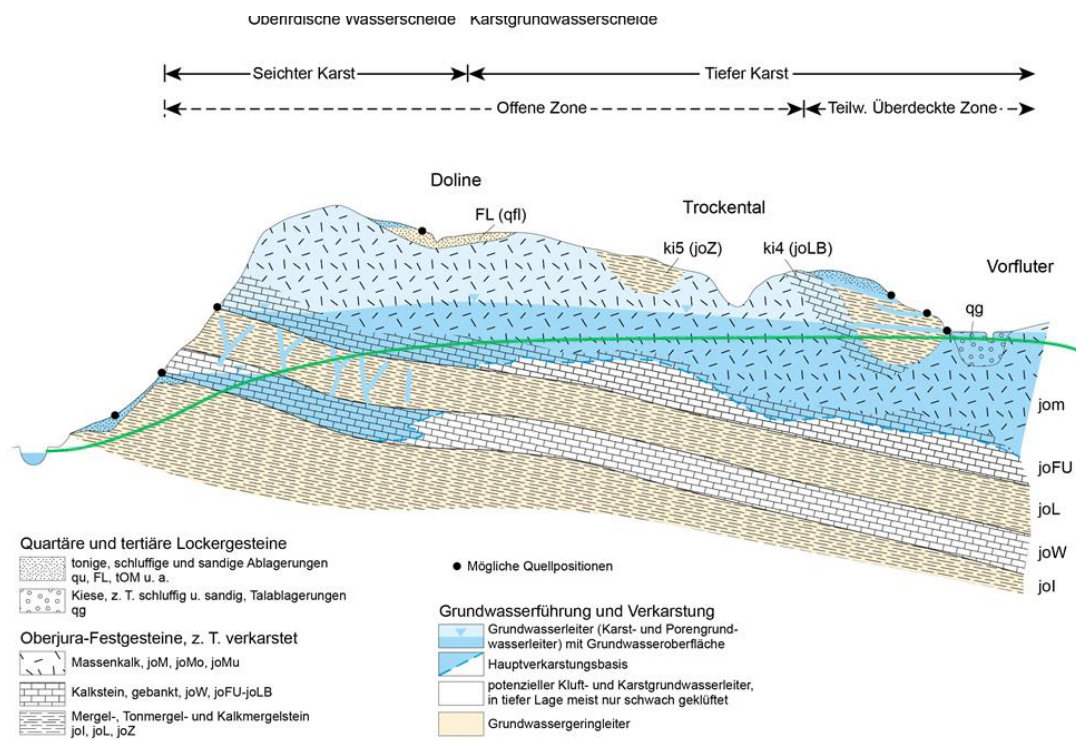


Abbildung 3-16: Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes, 1. Arbeitsschritt: Oberflächengewässer, weitere Erläuterungen im Text (dunkelblaue Flächenfarbe: grundwassererfüllter Bereich, ermittelt aus Grundwasserstandsmessungen in Bohrungen).

In einer zweiten Topo to Raster-Interpolation werden darauf aufbauend die Grundwasserstände im Festgestein gegenüber den Talbereichen angehoben und in den Talbereichen durch weitere Datenebenen verfeinert. Dazu wird das Ergebnis der ersten Regionalisierung durch folgende Datensätze ergänzt:

- Grundwasserstandsdaten aus Grundwassermessstellen und Bohrungen (vgl. hierzu Kapitel 3.5.1, III)
- Austrittshöhen von Quellen (vgl. hierzu Kapitel 3.5.1, VII) bzw. potenziellen Quellhorizonten

- Bodendaten mit Hinweis auf flurnahe Grundwasserstände (vgl. hierzu Kapitel 3.5.1, V)

In einer dritten Routine werden schließlich hydrogeologisch plausible Anpassungen vorgenommen, die sich i. W. aus den nutzbaren Schichtlagerungsdaten und Mächtigkeiten ergeben (Abbildung 3-18, Beispiel Oberjura):

- Die Grundwasseroberfläche liegt immer innerhalb des bewerteten Grundwasserleiters, d. h. die niedrigste mögliche Grundwasserspiegelhöhe entspricht der GWL-Basis, die höchste dem Top des GWL.
- Wird ein Festgesteinsgrundwasserleiter von einem mächtigeren Geringleiter überlagert, so kann die freie Grundwasseroberfläche in eine gespannte Grundwasseroberfläche (Grundwasserdeckfläche) übergehen. Sie entspricht der Basis des Grundwassergeringleiters.
- Nicht repräsentative Quellen wurden aus dem Datensatz entfernt.

In diesem Arbeitsschritt fließen auch der Grundwassergleichenplan für den Oberjura und vordefinierte maximale Grundwasserflurabstände für die hydrogeologischen Einheiten ein (Abbildung 3-17, Beispiel Oberjura).

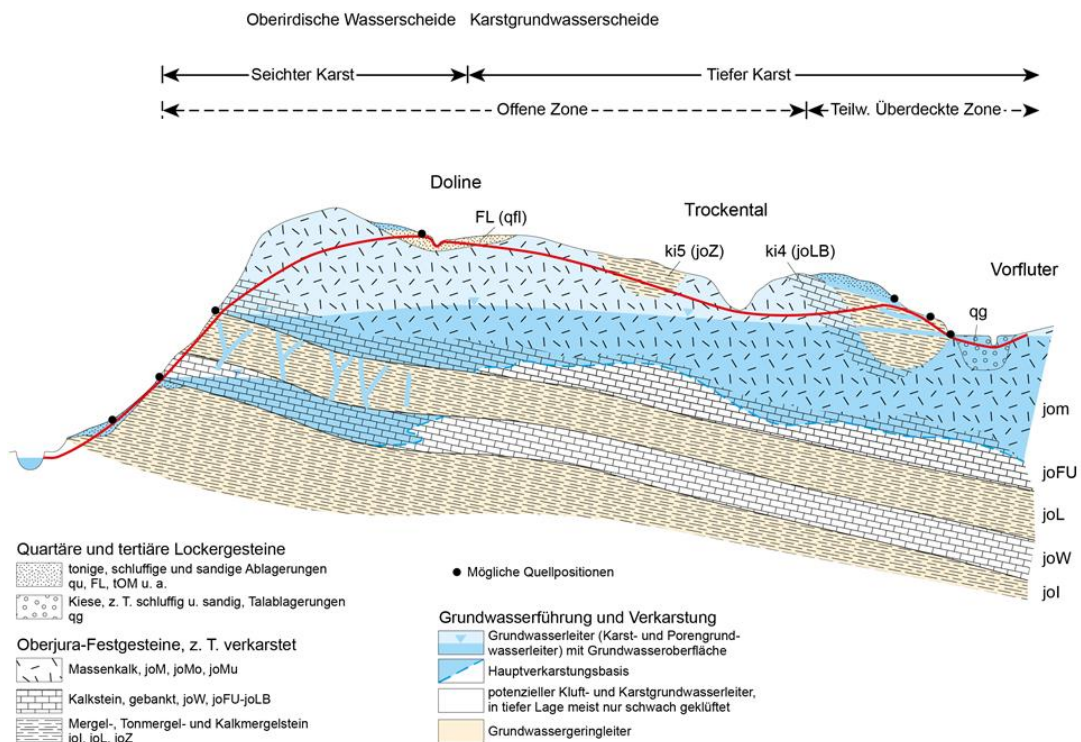


Abbildung 3-17: Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes, 2. Arbeitsschritt: Nutzung von zusätzlichen Grundwasseraufschlüssen (Brunnen, Grundwassermessstellen, Bohrungen, Austrittshöhen von Quellen), weitere Erläuterungen im Text (dunkelblaue Flächenfarbe: grundwassererfüllter Bereich, ermittelt aus Grundwasserstandsmessungen in Bohrungen).

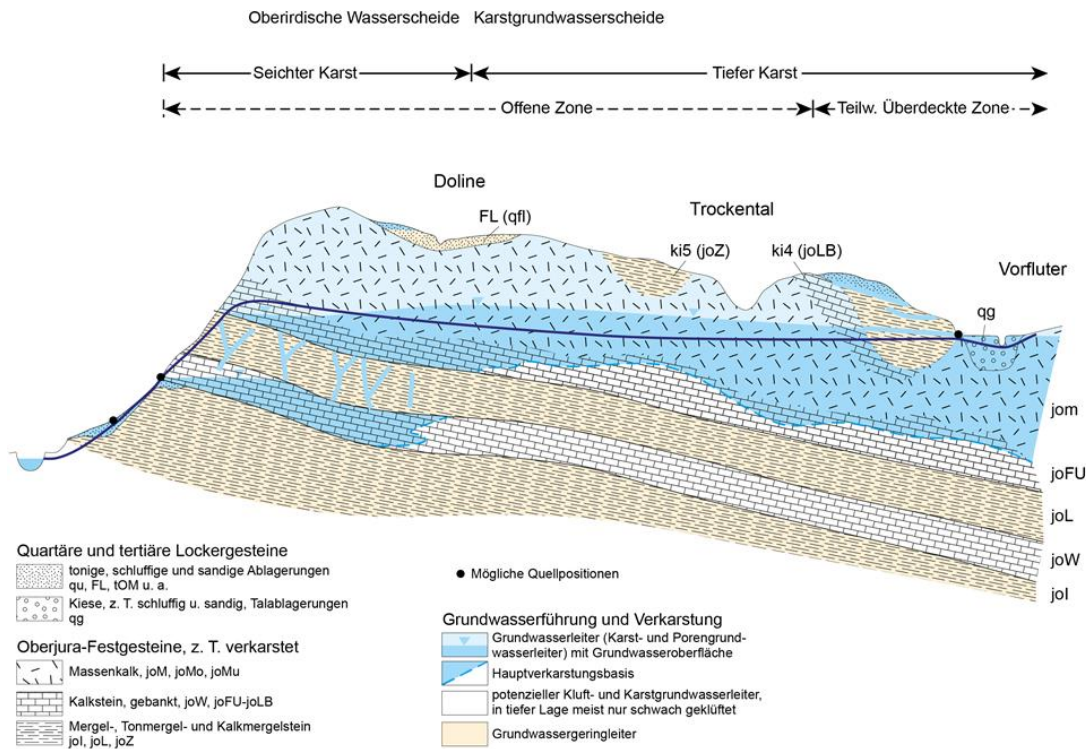


Abbildung 3-18: Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes, 3. Arbeitsschritt, weitere Erläuterungen im Text (dunkelblaue Flächenfarbe: grundwassererfüllter Bereich, ermittelt aus Grundwasserstandsmessungen in Bohrungen).

3.5.2.3 Regionale Besonderheiten

Aufgrund der hohen Unsicherheiten bezüglich der Ergebnisse der Regionalisierung des Grundwasserflurabstandes wurden für mehrere Regionen pauschalisierte Annahmen getroffen.

Oberschwaben: Glazial geprägte Sedimente

Die petrographische Zusammensetzung der glazial geprägten Sedimente im Alpenvorland (Beckensedimente, „Moränensedimente“) wechselt sowohl lateral als auch vertikal sehr stark. Aufgrund der komplexen quartärgeologischen Bildungsbedingungen ist eine räumliche Darstellung der Verbreitung einzelner Sedimentkörper, die sich auch hinsichtlich ihrer hydraulischen Eigenschaften stark voneinander unterscheiden können, nicht möglich. Die heterogenen Untergrundbedingungen können innerhalb einer hydrogeologischen Einheit zu einem kleinräumigen Wechsel grundwasserleitender und grundwassergeringleitender Bereiche führen, so dass kein durchgängiger Grundwasserkörper mit einer einheitlichen Grundwasseroberfläche ausgebildet ist.

Die Konstruktion einer Bezugsebene für die Bewertung der Schutzfunktion geht von folgenden Randbedingungen aus (vgl. Abbildung 3-19):



- Grundsätzlich wurde für Variante 1 ein Grundwasserflurabstand von maximal 5 Meter, für Variante 2 von maximal 10 Meter angenommen.
- In Bereichen, in denen die glazial geprägten Sedimente weniger als 5 bzw. 10 Meter mächtig sind, wird die Bezugsebene an die Basis der glazial geprägten Sedimente gelegt. Sie entspricht der Grenzfläche zu den unterlagernden tertiären Molassesedimenten (Abbildung 3-19, Abschnitt „C“). Allerdings liegen Mächtigkeitsangaben zu den glazial geprägten Sedimenten nur für wenige Teilbereiche vor.
- Am Übergang von den fluvioglazialen Kiesen und Sanden zu den angrenzenden glazial geprägten Sedimenten springt der Flurabstand von einem Meter in den Kiesen auf maximal 5 bzw. 10 m in den Glazialsedimenten (Abbildung 3-19, Abschnitt „B“).
- Die Grundwasserflurabstände in den fluvioglazialen Kiesen und Sanden werden nach der oben beschriebenen Vorgehensweise regionalisiert (vgl. Kapitel 3.5.2.2 und Abbildung 3-19 Abschnitt „A“).

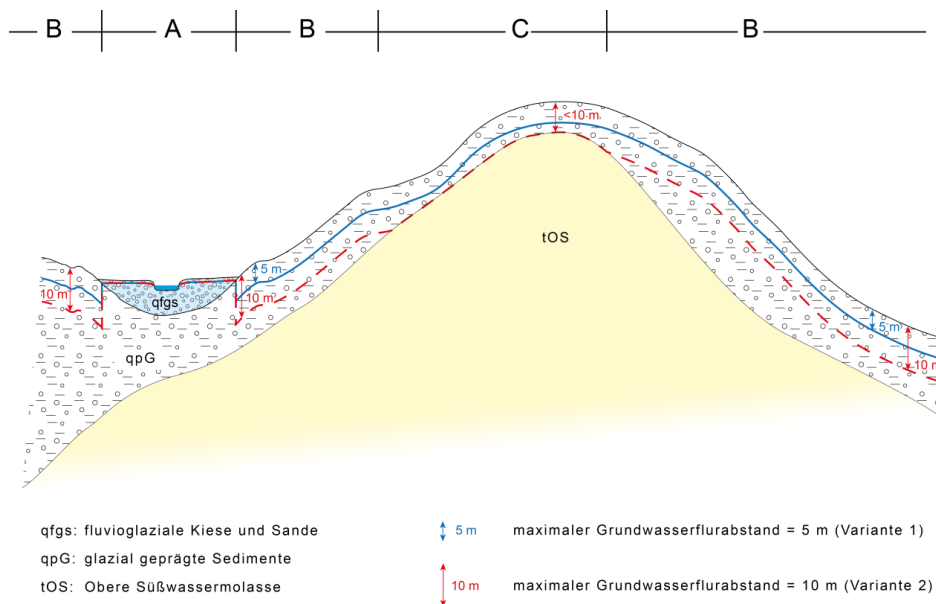


Abbildung 3-19: Pauschalisierte Berechnung des Grundwasserflurabstands in den glazial geprägten Sedimenten in Oberschwaben (Prinzipiskizze).

Schwarzwald und Odenwald: Kristallin

Im Kristallin wird in der Variante 1 nur der Boden bis zu einer Mächtigkeit von maximal einem Meter zur Schutzfunktionsbewertung herangezogen. Bei geringer mächtigen Böden verringert sich die bewertete Mächtigkeit entsprechend. In Variante 2 wird ein pauschaler Grundwasserflurabstand von 10 m angesetzt.

Vorbergzone und Regionen mit Impaktstrukturen

In diesen Bereichen werden nur der Boden und, soweit vorhanden, die Lockergesteinsdeckschichten bewertet.

3.6 Bewertung der Schutzfunktion des Bodens

Datengrundlage:

- BK-BW

Arbeitsschritte

Übernahme der vorliegenden nFK-Werte aus dem Datensatz BK-BW

Linearisierung der Zuordnung von nFK-Werten zu Bodenpunktwerten auf Grundlage der Klasseneinteilung nach Hölting. Ergebnis: Bodenpunktwert, normiert auf einen Meter für nFK-Werte bzw. Bodenarten

Landesweite Zuordnung eines Bodenpunktwertes zu den nFK-Werten (erfolgt im Rahmen der Vektor- oder Rasterdatenverarbeitung)

Leichte Glättung der Wertezahlen an den Übergängen zwischen verschiedenen Kartiereinheiten um größere Unterschiede abzumildern

Berechnung des Bodenwertes (Faktor B): Bodenpunktwert (normiert auf einen Meter) x Mächtigkeit des Bodens im ungesättigten Bereich

Zuweisung von Bodenpunktwert = 0 für Rohstoffabbauflächen und Gewässerflächen

Der Boden wird bis zu einer maximalen Mächtigkeit von einem Meter bewertet. Darüber hinaus gehende Bodenbildungen werden bei der Bewertung den Lockersedimenten in der ungesättigten Zone unterhalb des Bodens zugeschlagen.

Als wesentlicher Kennwert zur Charakterisierung der Bodeneinheiten hinsichtlich ihrer Bodenwasserspeicherfähigkeit an pflanzenverfügbarem Wasser geht die nutzbare Feldkapazität (nFK) in das Hölting-Verfahren ein. Sie kann direkt aus dem GeoLa-Datensatz der BK-BW entnommen werden. Der nFK wird eine Boden-Punktzahl B nach Hölting et al. (1995) zugeordnet (Tabelle 4).



Tabelle 4: Bewertung der Böden nach der nutzbaren Feldkapazität (nFK) und zugehörige Punktzahl B (nach Hölting et al., 1995).

Σ nFK [mm] bis 1,0 m Tiefe	Punktzahl B
>250	750
>200 – 250	500
>140 – 200	250
>90 – 140	125
>50 – 90	50
≤ 50	10

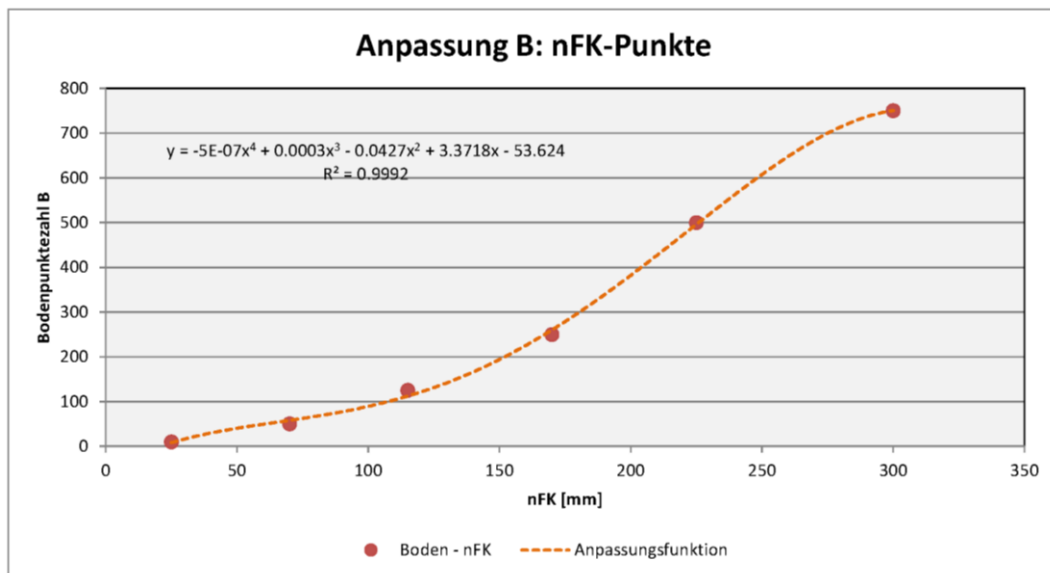


Abbildung 3-20: Anpassungsfunktion der Boden-Punktzahl B an die mittleren nFK-Werte (Boden-nFK: Punktzahl B nach Hölting et al., 1995).

Um Sprünge an den Klassengrenzen zu vermeiden, die sich eventuell nachfolgend auch in der Gesamtschutzfunktionsbewertung abzeichnen können, wurden die Werte über eine Ausgleichsfunktion angepasst. Diese ergibt sich, indem man die jeweiligen Mittelwerte der nFK-Klassen (Tabelle 4) gegen die Punktzahl Boden B aufträgt und eine Polynomfunktion anpasst (Abbildung 3-20). nFK-Werte über 300 mm werden auf den Maximalwert der Boden-Punktzahl von 750 Punkten reduziert, der Minimalwert liegt bei einer Punktzahl B von 13.

Über diese Polynomfunktion wird jeder Boden-nFK eine Boden-Punktzahl B zugewiesen.



In der Bodenkarte BK-BW wurden anthropogen veränderte Flächen und Siedlungsflächen nicht kartiert. Diese Gebiete wurden deshalb hinsichtlich der Schutzfunktion nicht bewertet.

Bereichen, in denen kein Boden vorhanden ist (wie Rohstoffabbauflächen, Gewässerflächen), wurde eine Boden-Punktzahl von 0 zugewiesen. Die Hydrogeologische Einheit „anthropogen veränderte Flächen“ (HE 2) setzt sich aus den Geologischen Kartiereinheiten GLE 1 (Abtragungen) und GLE 2 (Auflagerungen) zusammen. Da auf Abtragungsflächen der Boden ebenfalls fehlt, wurde die HE 2 nach den ursprünglichen GLE-Einheiten räumlich differenziert. Anschließend wurde den Abtragungsflächen eine Bodenpunktzahl von 0 zugewiesen

Abbildung 3-21 zeigt das Ergebnis der landesweiten Bewertung der Schutzfunktion des Bodens unter Berücksichtigung des Sickerwasserfaktors W.

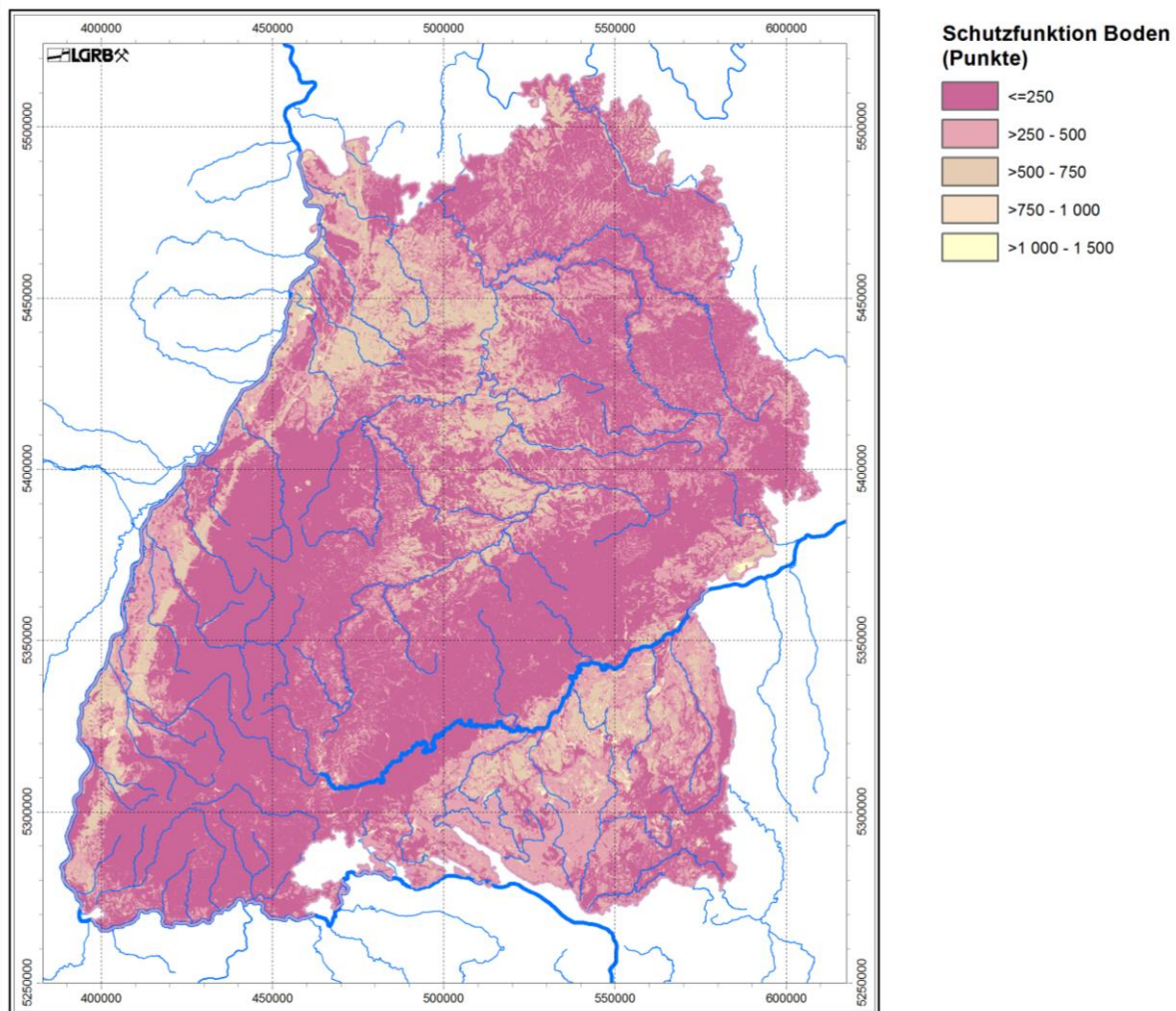


Abbildung 3-21: Schutzfunktionsbewertung des Bodens. Landesweite Übersicht unter Berücksichtigung des Sickerwasserfaktors W.



3.7 Bewertung der Schutzfunktion der ungesättigten Zone unterhalb des Bodens

Die ungesättigte Zone unterhalb des Bodens, der bis zu einer maximalen Mächtigkeit von einem Meter bewertet wird, kann aus Lockergesteinen und/oder Festgesteinen bestehen. Einige mögliche Konstellationen sind in Abbildung 3-22 skizziert.

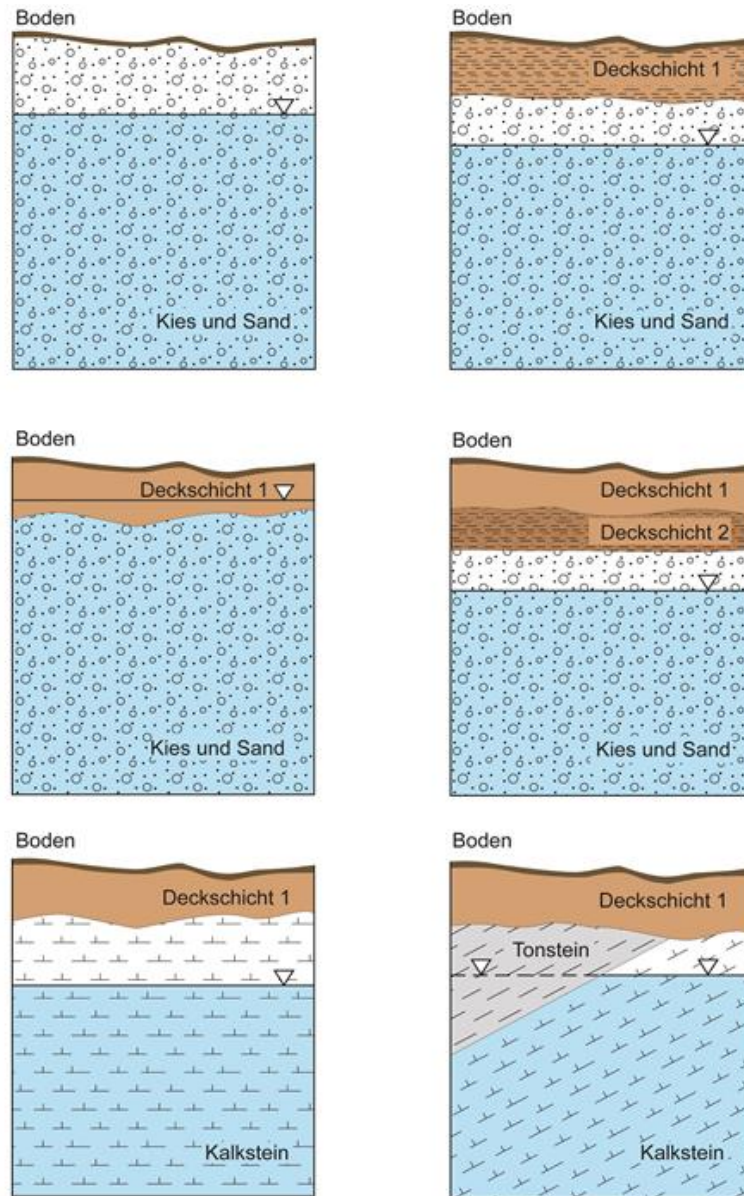


Abbildung 3-22: Beispiele für Überlagerungssituationen unterschiedlicher Hydrogeologischer Einheiten und Grundwasserleiter.

Zur Bewertung der Schutzfunktion wurde den bindigen Deckschichten und den darunter folgenden Festgesteinseinheiten in der ungesättigten Zone sowohl eine Lithologie (Punktwert G je Meter) als auch eine Mächtigkeit (M in Meter) zugewiesen.



3.7.1 Bindige Deckschichten

Datengrundlage

- HK-BW
- HKoD-BW

Arbeitsschritte

- Ermittlung der Mächtigkeit der bindigen Deckschichten aus ISONG, Bohrprofilen und BK-BW
- Ermittlung der Lithologie der bindigen Deckschichten aus ISONG, BK-BW und lithologischer Beschreibung der Hydrogeologischen Einheiten bzw. Geologischen Einheiten

Eine hydrogeologische Deckschicht ist eine oberflächennahe hydrogeologische Einheit oberhalb des ersten zusammenhängenden Grundwasserkörpers, die mit Ausnahme schwebenden Grundwassers in ihrer Gesamtheit kein nennenswertes Grundwasser enthält (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie, 1997). Bindige Deckschichten im hydrogeologischen Sinn wurden in der HKoD-BW definiert (vgl. Kapitel 3.2). Abgedeckt werden überwiegend bindige quartäre und jungtertiäre Lockergesteinseinheiten.

Der Datensatz der HKoD-BW enthält „gestapelte“ bindige Deckschichten, d. h. bei der Abdeckung auf den bewerteten Grundwasserleiter wurden bis zu drei überlagernde Deckschichteneinheiten (D1 bis D3) unterschieden, wobei D1 über D2 und D2 über D3 liegt (Abbildung 3-22, Abbildung 3-23, Abbildung 3-24).

Zusätzlich zu den bindigen Deckschichten wurden die Bereiche erfasst, in denen quartäre Lockergesteine als Porengrundwasserleiter mit einer Mächtigkeit von mindestens 5 m ausgebildet sind (PGWL). Für diese Situationen wurde angenommen, dass in den Talfüllungen grundsätzlich wasserwirtschaftlich genutzte bzw. nutzbare Grundwasserkörper vorkommen können (Abbildung 3-24).

Im Alpenvorland werden die quartären (teilweise überdeckten) Kieskörper als Porengrundwasserleiter klassifiziert.

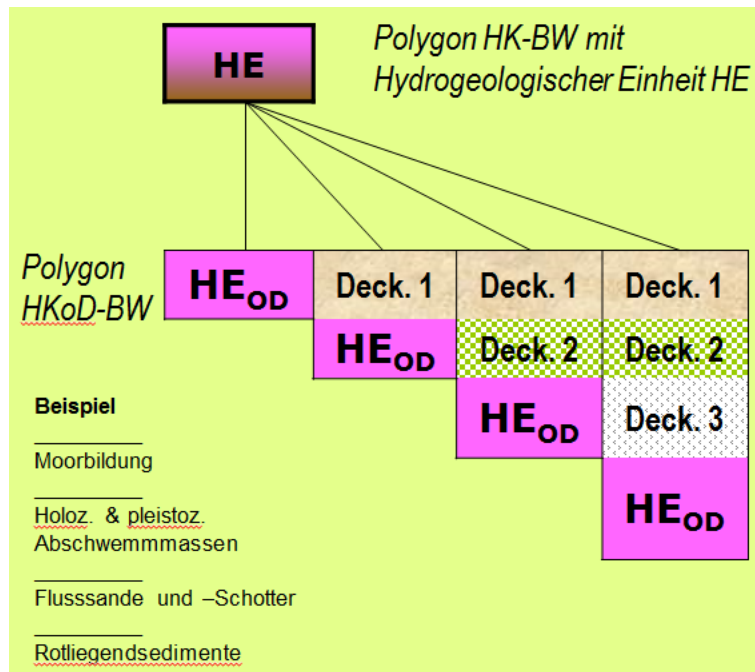


Abbildung 3-23: Schema zur Abdeckung von Deckschichten in der Hydrogeologischen Karte ohne Deckschichten von Baden-Württemberg (HKoD-BW).

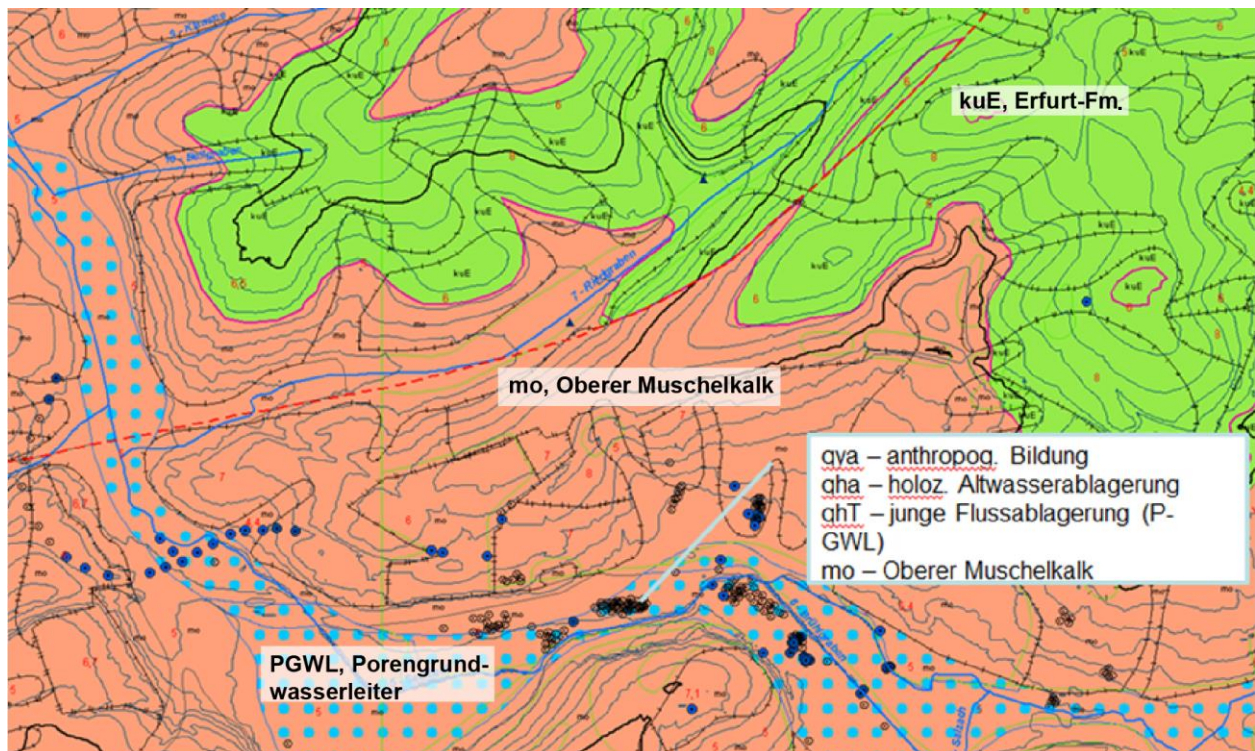


Abbildung 3-24: Beispielhafte Überlagerungssituation in einem Tal im Oberen Muschelkalk (blau gepunktet: Porengrundwasserleiter).



3.7.1.1 Mächtigkeit der Deckschichten

Den Deckschichteneinheiten der HKoD-BW wurden zur Schutzfunktionsbewertung Mächtigkeiten zugewiesen.

Datengrundlage:	
-	ISONG
-	BK-BW
-	ADB
-	DHM10

Im Informationssystem ISONG sind, mit Ausnahme des Alpenvorlands und des Oberrheingrabens, Angaben zu den summarischen „mittleren Mächtigkeiten“ der Deckschichten hinterlegt. Darauf aufbauend wurde unter Berücksichtigung der Bohrdaten der ADB sowie regionaler Mächtigkeitsverteilungen jeder Deckschichteneinheit (D1 bis D3) eine mittlere Mächtigkeit (m1 bis m3) zugewiesen.

Die Mächtigkeitsverteilung der bindigen Deckschichten wurde darüber hinaus unterschiedlich modelliert (Abbildung 3-25):

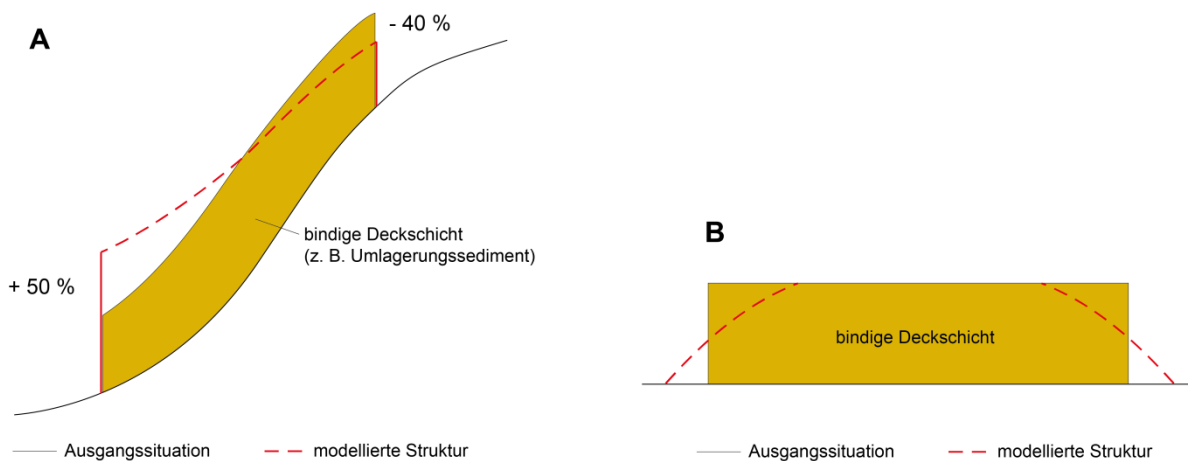


Abbildung 3-25: Vorgehensweise bei der Modellierung der Mächtigkeit von Deckschichteneinheiten (Prinzipiskizze).

Für die hydrogeologischen Einheiten in Hangposition (Verwitterungs-/Umlagerungsbildung (qum), Hangschutt (qu)) wurde die ermittelte mittlere Mächtigkeit modifiziert, indem sie am Oberhang um 40 % reduziert und am Unterhang um 50 % erhöht wurde (Fall A in Abbildung 3-25). Die Differenzierung in Ober- und Unterhang erfolgte anhand eines reklassifizierten Bodenfeuchteindex der Fa. Scilands GmbH (Köthe, 2012).

Flugsanden (qfss), die hauptsächlich im nördlichen Oberrheingraben auftreten, wurde eine mittlere Mächtigkeit zugewiesen, die im DHM10 aus der Differenz zwischen dem minimalen Höhenwert und dem flächengewichteten mittleren Höhenwert (in m NN) der jeweiligen Polygonfläche errechnet wurde. Daraus ergeben sich für die Flugsande minimale gemittelte Mächtigkeiten von 1,5 m und maximale Mächtigkeiten von 7 m.

Für ausgewählte Hydrogeologische Einheiten wurden die Mächtigkeiten am Rand ihrer Verbreitungspolygone zu den Nachbarflächen hin geglättet (Fall B in Abbildung 3-25).

Diese Vorgehensweise wurde für jede der bis zu drei Deckschichtenebenen angewandt.

Teilgebiet Oberrheingraben

Für den Oberrheingraben liegt nur eine vereinfachte Stapelung der Deckschichteneinheiten und Mächtigkeitsklassifizierung vor (Schwarz et al., 2001). Meist beträgt die Deckschichtenmächtigkeit über dem quartären Kiesgrundwasserleiter maximal zwei Meter.

Teilgebiet Alpenvorland

Im Alpenvorland sind pleistozäne Flussablagerungen und quartäre glazial geprägte Sedimente weit verbreitet (Ellwanger, 2000, 2015, Ellwanger et al., 2011). Bei den an der Geländeoberfläche anstehenden Rheingletscher-Niederterrassenschottern (qRTN), Rheingletscher-Hochterrassenschottern (qRTH) und fluvioglazialen Kiesen und Sanden (qFS, hydrogeologische Kartiereinheit, die Hasenweiler-, Illmensee-, Dietmanns- und Hofschotter zusammenfasst) handelt es sich um Porengrundwasserleiter, die lokal von holozänen Sedimenten als Deckschichten überlagert sein können.

Ältere fluvioglaziale Schotter können durch Glazialsedimente jüngerer Vereisungsperioden überdeckt sein („moränenüberdeckte Schotter“, u. a. Ellwanger, 2000) Sie werden ebenfalls als quartäre Porengrundwasserleiter klassifiziert. Die Mächtigkeit der Überdeckung dieser Schotterkörper wurde aus Bohrungen der ADB abgeleitet. Aufgrund der stark wechselnden glazialen Ablagerungsbedingungen und der dadurch bedingten heterogenen Sedimentzusammensetzung sowie der geringen Anzahl qualitativ hochwertiger Bohrungen ist die Abschätzung der Mächtigkeiten und die lithologische Ausbildung dieser Einheit mit großen Unsicherheiten behaftet.



3.7.1.2 Lithologie der Deckschichten

Datengrundlage:

- Bodendaten aus Sondierungen > 1 m für die oberste Deckschichteneinheit
- Petrographische Beschreibung der geologischen Kartiereinheiten
- Bohrdaten mit ausführlicher petrographischer Beschreibung der angetroffenen Schichten

Die Punktzahlen der Deckschichteneinheiten basieren auf der „Bewertung der Gesteinsart bei Lockergesteinen“ in Hölting et al., 1995 (Tabelle 5). Da in dieser Tabelle nicht alle vorkommenden Gesteinskombinationen enthalten sind, wurden die Punktzahlen für die übrigen Gesteine in Anlehnung an dieses Schema vergeben.

Tabelle 5: Punktezahlen zur Bewertung der Gesteinsart der Lockersedimente nach Hölting et al. (1995).

Gesteinsbezeichnung nach DIN 4022, Teil 1, ergänzt	Punktzahl G _L pro m Schichtmächtigkeit
T	500
T, \bar{I} , T, u'	400
T, s',	350
T, u L, t, u	320
L, t	300
T, \bar{u} T, s	270
U, \bar{I}	250
L, t' L, t, s	240
U, \bar{I} L, u	220
T, \bar{s} L, s, u L, s' U, l U, t	200
L, s U, l	180
U, t' U, l, s U L, \bar{s}	160
S, \bar{I} S, t S, l, u	140
U, s S, \bar{I}	120
S, l S, \bar{u}	90
S, t' S, u, G, s, t	75
S, l' G, s, u	60
S, u' S, g, u'	50
S	25
S, g G, s	10
G G, x X, g	5
Vulkanische Lockergesteine	200
Torf	400
Mudde	300

Bei deutlich sichtbarem Gehalt an organischer Substanz Zuschlag von 75 Punkten pro Meter (nicht bei Torf oder Mudde)



3.7.1.3 Bewertung der Schutzfunktion der bindigen Deckschichten

Den bindigen Deckschichten wurden nach der oben beschriebenen Vorgehensweise Deckschichtenmächtigkeiten (M_d) und eine auf einen Meter normierte Punktezahl (P_d) zugeordnet.

Für Lockergesteine ist die Punktezahl der Schutzfunktion S_d das Produkt aus der Punktezahl P_d pro Meter und der jeweiligen Mächtigkeit [m] einer oder mehrerer (bis zu drei) Deckschichten in der ungesättigten Zone.

$$S_{d1-3} = \sum(P_{d1-3} * M_{d1-3})$$

S_d : Punktezahl der Deckschichten

P_d : Punktezahl für die jeweilige Deckschicht pro Meter

M_d : Mächtigkeit der jeweiligen Deckschicht in Meter

3.7.2 Festgesteinsüberlagerung

Je nach der Ausbildung der ungesättigten Zone und zu bewertendem Grundwasserkörper können neben dem Boden und den darunter folgenden (bindigen) Lockersedimenten auch Festgesteinseinheiten zum Schutz eines Grundwasservorkommens beitragen.

3.7.2.1 Mächtigkeit der Festgesteinsüberlagerung

Datengrundlage

- Geologische 3-D Untergrundmodelle Baden-Württemberg
- Bohrdaten ADB
- Erläuterungen zu den Geologischen Karten der GK25

Arbeitsschritte

- Übernahme der Informationen zu Schichtlagerung und Primärmächtigkeiten aus bestehenden 3D-Modellen
- Erhebung von Primärmächtigkeiten aus Erläuterungen zur GK25 und aus Bohrungen der ADB
- Regionalisierung der Primärmächtigkeiten und Restmächtigkeiten im Ausstrichbereich
- Näherungsweise Konstruktion fehlender bzw. nicht flächendeckend vorliegender Mächtigkeiten für einige hydrogeologische Einheiten



Zur Berechnung der Schutzfunktion der Festgesteinsüberlagerung müssen für jede hydrogeologische Einheit bis zur Grundwasseroberfläche flächendeckend Informationen zur Schichtlagerung und Mächtigkeit vorliegen. Hierfür konnte für einige Einheiten auf die Schichtlagerungs- und Primärmächtigkeitsdaten der 3D-Modelle in Baden-Württemberg zugegriffen werden, die i. W. aus den Projekten GeORG (2013), GeoMol (2015) und ISONG (RPF-LGRB, 2012, 2016a, 2016b) stammen. Die Daten liegen als 100 m - Grids vor.

Für hydrogeologische Einheiten, für die in den bestehenden 3D-Modellen keine Schichtlagerungsdaten bzw. Primärmächtigkeitsverteilungen vorlagen, wurden Mächtigkeitsverteilungen näherungsweise konstruiert. Dabei wurde für die betreffenden Einheiten auf Angaben zu den Primärmächtigkeiten aus den Erläuterungen der geologischen Karten und aus Bohrungen zurückgegriffen. Diese wurden aus der ADB abgerufen. Als Ergebnis liegt für das Verbreitungsgebiet jeder benötigten hydrogeologischen Einheit eine flächendeckende primäre Mächtigkeitsverteilung vor.

Außerdem wurden für alle Einheiten die Restmächtigkeiten in ihrem Ausstrichbereich modelliert. Hierzu wurden im Ausstrichbereich die Schichtlagerungsdaten mit dem DGM verschnitten und die Restmächtigkeiten unter Berücksichtigung eventuell vorhandener Lockergesteinsmächtigkeiten ermittelt.

Für Regionen mit komplexen geologischen und tektonischen Verhältnissen (Vorbergzone, Steinheimer Becken) bzw. mit mächtiger flächendeckender Überlagerung durch Lösssedimente (Kraichgaumulde) konnten keine Mächtigkeitsverteilungen konstruiert werden. In diesen Gebieten beschränkt sich die Bewertung der Schutzfunktion auf die Berücksichtigung des Bodens und der Lockergesteinsdeckschichten.



3.7.2.2 Lithologie der Festgesteinsüberlagerung

Datengrundlage

- Petrographische Beschreibung der geologischen Kartiereinheiten

Arbeitsschritte

Zuweisung der Punktwerte zu hydrogeologischen Einheiten

- Zuordnung von Punktzahlen in Anlehnung an Hölting et al. (1995) für alle in B.-W. vorkommenden Festgesteinseinheiten nach pauschalisierter petrographischer Zusammensetzung.

Validierung anhand von Bohrungen

- Selektion qualitativ hochwertiger Bohrungen aus der ADB
- Digitale Erfassung der Schichtdaten
- Datenexport in Excel (Petrographie, Mächtigkeiten, stratigraphische Zuordnung)
- Zuordnung von Punktwerten zu Gesteinsarten in Anlehnung an Hölting et al. (1995)
- Zusammenfassung der Schichten in den Bohrungen zu jeweiliger hydrogeologischer Einheit
- Ermittlung von Punktwerten für die hydrogeologischen Einheiten, normiert auf einen Meter

Die Zuweisung von Punktzahlen zu den Festgesteinseinheiten erfolgte in zwei Arbeitsschritten:

- Auf der Grundlage von Hölting et al. (1995) (Tabelle 6) wurde allen in Baden-Württemberg vorkommenden Gesteinsarten eine Punktzahl zugewiesen. Da in Tabelle 6 nicht alle vorkommenden Gesteinsarten enthalten sind, wurden die Punktzahlen für die übrigen Gesteine in Anlehnung an dieses Schema vergeben.
- Für die in Baden-Württemberg vorkommenden geologischen Kartiereinheiten liegt eine pauschalisierte petrographische Beschreibung vor (Ref. 92 Landesgeologie). Besteht eine geologische Kartiereinheit aus mehreren Gesteinsarten, gehen diese in die Bewertung entsprechend ihrem Anteil an der Gesamtmächtigkeit der Einheit ein. Besteht eine hydrogeologische Einheit aus mehreren geologischen Einheiten gehen ihre Punktwerte als Mittelwert in die Bewertung der hydrogeologischen Einheit ein.

Tabelle 6: Bewertung von Festgesteinen: Punktzahl P für Gesteinsart und Faktor F für strukturelle Eigenschaft – „Strukturfaktor“ (Hölting et al., 1995).

Gesteinsart	P
Tonstein, Tonschiefer, Mergelstein, Schluffstein	20
Sandstein, Quarzit, vulkanische Festgesteine, Plutonite, Metamorphite	15
Poröser Sandstein, poröse Vulkanite (z. B. verfestigter Tuff)	10
Konglomerat, Brekzie, Kalkstein, Kalktuff, Dolomitstein, Gipsstein	5

Struktur	F
ungeklüftet	25,0
wenig geklüftet	4,0
mittel geklüftet, wenig verkarstet	1,0
mittel verkarstet	0,5
Stark geklüftet, zerrüttet oder stark verkarstet	0,3
Nicht bekannt	1

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die Punktzahlen der hydrogeologischen Einheiten differenzierter ermittelt. Hierzu wurden aus der ADB des LGRB qualitativ hochwertige Bohrprofil dokumentationen mit verlässlichen Angaben zu den Mächtigkeiten, zur petrographischen Ausbildung und zur stratigraphischen Zuordnung der Schichten selektiert. Sofern noch nicht vorhanden, wurden die Schichtdaten in der ADB digital erfasst. Anschließend wurden die Daten aus der ADB in Excel exportiert und allen vorkommenden petrographischen Kombinationen in Anlehnung an Hölting et al. (1995, vgl. Tabelle 5 und Tabelle 6) Punktwerte zugewiesen. Für jede Schicht wurden die so ermittelten Punktwerte mit ihrer Mächtigkeit multipliziert. Anschließend wurden in jeder Bohrung die Schichten entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu hydrogeologischen Einheiten zusammengefasst und für jede HE eine summarische Punktzahl ermittelt. Diese wurde durch die Mächtigkeit der HE in der Bohrung geteilt.

Als Ergebnis liegen für die hydrogeologischen Einheiten der so bearbeiteten Bohrungen auf einen Meter normierte Punktzahlen vor. Räumliche Variationen in diesen Punktzahlen können faziesbedingte lithologische Unterschiede widerspiegeln. Sie können allerdings auch auftreten, wenn die Gesteinszusammensetzung von hydrogeologischen Einheiten vertikal stark variiert und in den Bohrungen verschiedenen Niveaus angetroffen wurden (z. B. oberer, mittlerer oder unterer Abschnitt einer HE). Die Ergebnisse der pauschalisierten petrographischen Beschreibungen wurden dahingehend plausibilisiert.

3.7.2.3 Strukturfaktor für die Festgesteinseinheiten

Der Strukturfaktor F berücksichtigt die generelle Anfälligkeit der hydrogeologischen Eigenschaften gegenüber bruchhafter Verformung. Grundlage der Bewertung ist das Auftreten kompetenter bzw. inkompetenter Gesteine in den hydrogeologischen Einheiten.

Der Strukturfaktor wurde entsprechend Hölting et al. (1995) den hydrogeologischen Einheiten in Abhängigkeit von deren vorherrschender Gesteinsart zugewiesen (vgl. Tabelle 6: „Faktor F für strukturelle Eigenschaft“). Der Strukturfaktor F wird mit der Punktzahl P für die Gesteinsart multipliziert.

3.7.2.4 Verwitterungsfaktor für Festgesteine

<p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ADB

<p>Arbeitsschritte:</p>
<p>Selektion von Bohrungen mit Angaben zum Verwitterungsgrad aus der ADB</p>
<p>Übernahme der Schichtinformationen zu Mächtigkeit und Verwitterungsstufen in Excel-Tabellen</p>
<p>Zuordnung von Wertezahlen zu Verwitterungsstufen (vgl. HGN, 1998)</p>
<p>Ableitung von Verwitterungsfaktoren für einige HE (normiert auf einen Meter)</p>
<p>Übertragung der Verwitterungsfaktoren auf die übrigen HE entsprechend der lithologischen Ausbildung</p>

Die Auswirkungen der Auflockerungs- und Verwitterungsprozesse in Festgesteinen werden im sogenannten Verwitterungsfaktor zusammengefasst.

Die nach Hölting et al. (1995) angegebenen Punktzahlen für die Gesteinsart beziehen sich auf wenig angewitterte Festgesteine. Das Gebirge oder einzelne Gesteinschichten sind jedoch vielfach oberflächennah aufgelockert und verwittert (z. B. Einsele et al., 1985). Die damit verbundenen Änderungen in den geotechnischen Eigenschaften sind besonders bei ingenieurgeologischen Fragestellungen von großer Bedeutung (Heitfeld (Hrsg.), 1985) und wirken sich auch hinsichtlich der vertikalen Wasserwegsamkeiten aus (Abbildung 3-26).

Die Verwitterungsprozesse sind stark vom Klima abhängig. Der Tiefgang der Verwitterung und damit die Ausbildung bestimmter Verwitterungsprofile werden entscheidend vom Relief und der Landschaftsgeschichte (Alter der Landoberfläche) einer Region gesteuert (Einsele et al., 1985).



Weitere Faktoren sind

- die Art und Zusammensetzung des Ausgangsmaterials
- die Ablagerungsbedingungen
- die geologische Vorgeschichte (Belastungsverlauf, Entlastung)
- Störungs- und Zerrüttungszonen (erhöhte Eindringtiefe)
- Talungen (verminderte Eindringtiefe)

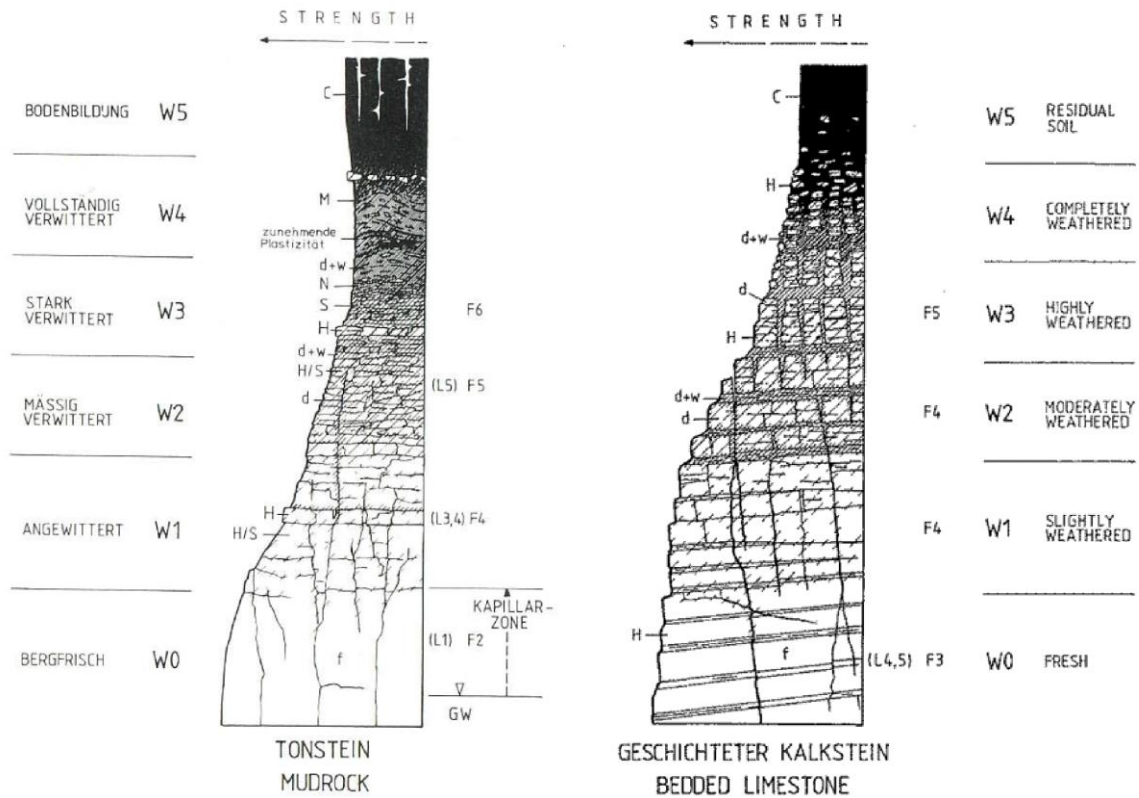


Abbildung 3-26: Verwitterungsprofile in Tonstein (links) und geschichtetem Kalkstein (rechts), Einsele et al. (1985).

Einsele et al. (1985) unterscheiden hinsichtlich ihres Auflockerungs- bzw. Verwitterungsverhalten verschiedene Gesteinsgruppen, die in der vorliegenden Arbeit anhand von Bohrbeschreibungen aus der Aufschlusssdatenbank des LGRB bewertet wurden. Anschließend wurden die Profile hinsichtlich ihrer vertikalen Wasserdurchlässigkeit eingestuft. Hierfür dienten insbesondere Schichtbeschreibungen von Bohrungen der ADB, für die die Verwitterungsprofile mit den Verwitterungsstufen W1 bis W5 dokumentiert sind. Diesen Verwitterungsstufen wurden Werte zahlen zugeordnet, die sich an den Verwitterungsfaktoren von HGN Hydrogeologie für Sachsen (HGN, 1998, Tabelle 6) orientieren. Anhand dieser Ergebnisse wurden für einige hydrogeologische Einheiten mit unterschiedlichen Gesteinsarten so genannte Verwitterungsfaktoren abgeleitet. Sie reichen von 0,7 bspw. bei Kalksteinen (z. B. Oberjuramassenkalke) bis 1,0 bspw. bei Tonsteinen (z. B. im Unter- und Mitteljura). Bei Tonsteinen entsteht nach Einsele et al.



(1985, S. 16) in Erdoberflächennähe als Bodenbildung gering durchlässiger Lehm (Verwitterungsstufe W5), darunter in der vollständig verwitterten Zone eine ebenfalls gering durchlässige „lehmige in kleinere Bröckchen zerlegbare braune Masse mit stark plastizierten Bröckchen“. Als Beispiel hierfür nennt er die Gesteine des Keupers sowie Unteren und Mittleren Juras in Süddeutschland.

Diese Faktoren wurden auf die hydrogeologischen Einheiten in Abhängigkeit von deren lithologischer Ausbildung übertragen.

Als Verwitterungstiefe wurden nach den Bohrbefunden pauschal die oberen 10 m der jeweiligen Einheit festgelegt. Dies gilt auch für Festgesteinseinheiten unter (bindiger) Überdeckung durch Lockergesteine.

Der Verwitterungsfaktor V wird im Rasterdatensatz mit dem Produkt aus Strukturfaktor F und der Punktzahl P für die Gesteinsart multipliziert und maximal auf die oberen 10 m der obersten Festgesteinseinheit angewandt (sofern diese vollständig in der ungesättigten Zone liegt).

3.7.2.5 Tektonikfaktor

<p>Datengrundlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> - GK-BW Störungsdatensatz

<p>Arbeitsschritte</p> <p>Identifikation von Zonen unterschiedlicher bruchtektonischer Belastung</p>
<p>Zuordnung eines Tektonikfaktors zu den verschiedenen Zonen</p>

In Bereichen stärkerer tektonischer Beanspruchung ist eine stärkere Gesteinszerrüttung und damit eine bessere vertikale Wegsamkeit für das infiltrierende Oberflächenwasser zu erwarten. Dies führt zu einer Verringerung der Grundwasserverweilzeit in den Festgesteinseinheiten der entsprechenden Gebiete. Dieser Prozess wird durch den Tektonikfaktor berücksichtigt. Ein vergleichbarer Ansatz wurde als „Störungskorrekturfaktor“ im methodischen Konzept des Landes Sachsen gewählt (HGN, 1998). Dort wurden allerdings wesentlich kleinere Faktoren vergeben, so dass sich dieser Faktor in Baden-Württemberg nicht so stark auf die Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung auswirkt wie in Sachsen.



In der Vorbergzone und am Dinkelberg ist in Baden-Württemberg die stärkste bruchhafte Verformung des Untergrunds zu erwarten. Diese Gebiete werden mit dem Tektonikfaktor 0,5 belegt (Abbildung 3-27). Die bedeutenden Störungszonen im Schichtstufenland sowie die östlich an die Schwarzwaldrandverwerfung angrenzenden, tektonisch stärker zerrütteten Gebiete werden mit einem Tektonikfaktor von 0,8 belegt. Für die verbleibenden Landesteile wird kein Tektonikfaktor (Wert = 1) angesetzt.

Der Tektonikfaktor wird mit dem Produkt aus Gesteinspunktzahl, Strukturfaktor und Verwitterungsfaktor multipliziert.

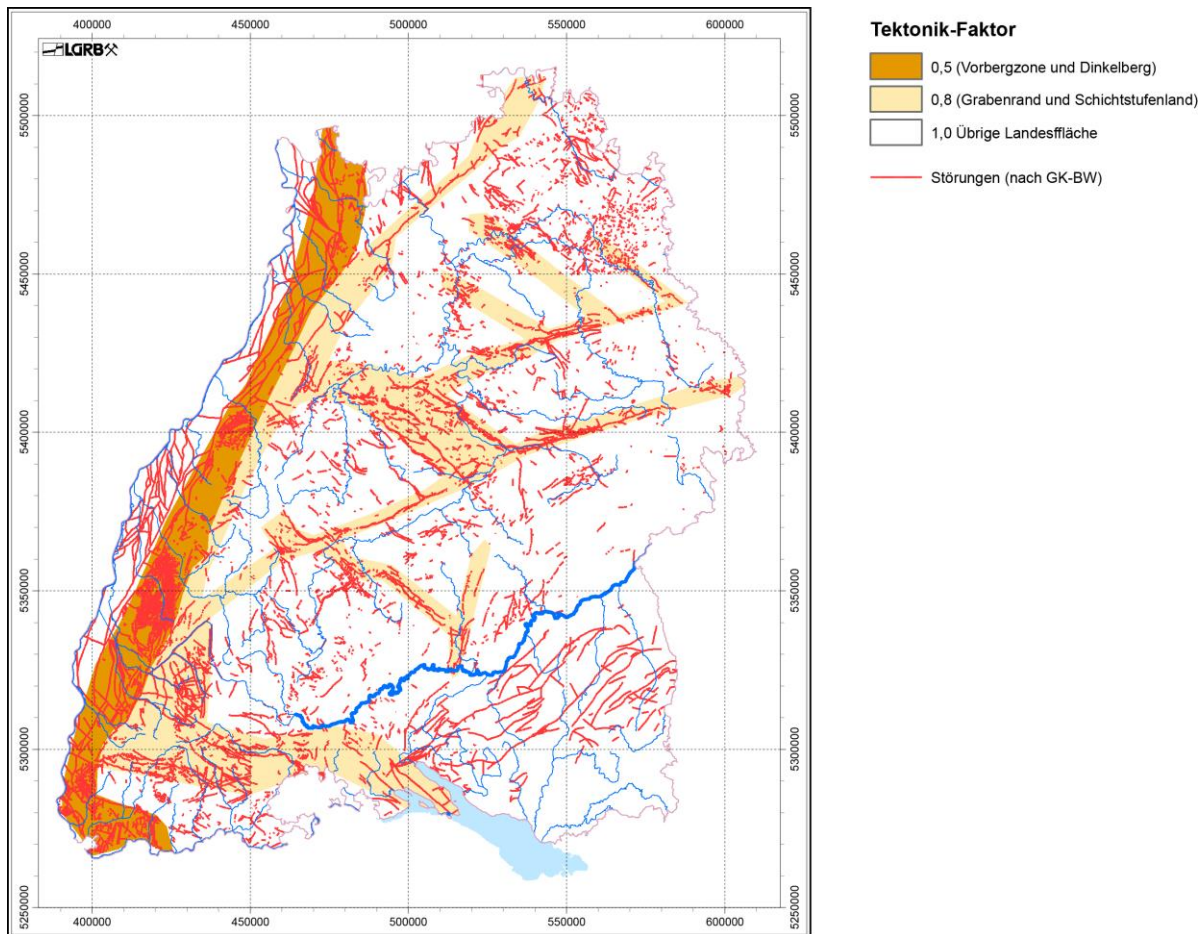


Abbildung 3-27: Tektonikfaktor für Bereiche stärkerer tektonischer Beanspruchung.

3.7.2.6 Dolinen

Dolinen sind trichter- oder schachtförmige Einbrüche der Erdoberfläche mit rundem, elliptischem oder unregelmäßigem Umriss durch Einsturz (Hochbruch) über Hohlräumen in verkarstungsfähigem Gestein. In ihnen kann versickerndes Niederschlagswasser direkt in den Untergrund bis zum Grundwasser gelangen.

Aus dem Punktdatensatz der GeoLa-Datenbank des LGRB wurden die nachgewiesenen bzw. vermuteten Dolinen übernommen. Rasterzellen, in denen eine oder mehrere Dolinen liegen, werden mit der Schutzfunktion 0 (bzw. der Kennziffer -4) in der Gesamtschutzfunktion belegt. Abflusslose Senken, die im Karst ebenfalls Schwächezonen darstellen können, wurden nicht berücksichtigt.

Es ist beabsichtigt, Dolinen sowie abflusslose Senken in einem zukünftigen Bearbeitungsschritt detaillierter in die Bewertung einzubeziehen (vgl. Kapitel 6).

3.7.2.7 Berechnung der Schutzfunktion des Festgesteins

Die Schutzfunktion für den ungesättigten Abschnitt des Festgesteins über dem zu bewertenden Grundwasservorkommen ergibt sich aus der Summe der Produkte von Mächtigkeit und Festgesteinspunktwert (normiert auf einen Meter) aller beteiligten hydrogeologischen Einheiten. Daneben werden der Strukturfaktor, der Verwitterungsfaktor sowie der Tektonikfaktor berücksichtigt. Der bewertete Grundwasserleiter kann in Variante 1 von bis zu vier, in Variante 2 von bis zu sechs hydrogeologischen Festgesteinseinheiten überlagert werden.

4 Überprüfung der Ergebnisse der Gesamtbewertung

Die Ergebnisse der flächendeckenden, rasterbasierten Bewertung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wurden anhand der Ergebnisse der Schutzfunktionsbewertung für ausgewählte Bohrungen punktuell überprüft.

4.1 Vorgehensweise

Aus der Aufschlusssdatenbank des LGRB wurde die Schichtenfolge von ca. 180 Bohrungen mit einer verlässlichen und hinreichend genauen petrographischen Beschreibung detailliert digital erfasst.

Anschließend wurden 46 Bohrungen ausgewählt, die verschiedene hydrogeologische Situationen repräsentieren. Für die Standorte dieser Bohrungen wurden die Grundwasserflurabstände aus dem neu erstellten Datensatz entnommen (vgl. Kapitel 3.5). Die einzelnen Schichten der ausgewählten Bohrungen wurden entsprechend ihrer petrographischen Ausbildung und Mächtigkeit bis zur Grundwasseroberfläche nach dem Punktesystem von Hölting et al. (1995) bewertet und nach dem oben beschriebenen Verfahren mit den übrigen standörtlichen Parametern verknüpft. Der so ermittelte Punktwert der Schutzfunktion am Standort der Bohrung wurde mit dem Wert der Rasterzelle aus dem Flächendatensatz verglichen, in der die bewertete Bohrung liegt.

5 Gesamtbewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung – Produkte

Die Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ergibt sich für die ungesättigte Zone aus der Summe der Einzelschutzfunktionen des Bodens, der bindigen Deckschichten und der Festgesteinsüberlagerung (Kapitel 1). Diese Daten werden rasterzellenbasiert mit einer Zellweite von 40 m bis zur Grundwasseroberfläche aggregiert und mit dem örtlichen Sickerwasserfaktor gewichtet. Bei den Festgesteinen gehen außerdem noch der Strukturfaktor (Kapitel 3.7.2.3), Verwitterungsfaktor (Kapitel 3.7.2.4) und der Tektonikfaktor (Kapitel 3.7.2.5) ein.

Als letzter Schritt der Schutzfunktionbewertung wurden Sonderflächen im Datensatz attribuiert (Tabelle 7). Rohstoff- und Abbauflächen (Kennung „-1“), Altlastenflächen (Kennung „-2“), Gewässerflächen (Kennung „-3“), Dolinen (Kennung „-4“) und Siedlungsflächen (Kennung „-5“) wurden hinsichtlich ihres Schutzpotenzials nicht bewertet.

Als Ergebnis liegen für alle Rasterzellen Punktwerte vor, die entsprechend Hölting et al. (1995) in fünf Schutzfunktionsklassen eingeteilt wurden (Tabelle 7). Für die jeweilige Schutzfunktionsklasse wurde von Hölting et al. (1995) eine Größenordnung für die Verweildauer des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung abgeschätzt.

Tabelle 7: Klasseneinteilung der Gesamtpunktzahl der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung nach Hölting et al. (1995) sowie Sonderflächen, Prozentualer Flächenanteil in Baden-Württemberg (Variante 1)

Punktwert, Klasseneinteilung nach Hölting et al. (1995)		Schutzfunktionsklasse (1 bis 5) bzw. Kennung für Sonderflächen (-x)	Schutzfunktion bzw. Sonderflächen	Größenordnung der Verweildauer des Sickerwassers in der GW-Überdeckung	Prozentualer Flächenanteil in Baden-Württemberg (Variante 1)
0	<500	1	sehr gering	wenige Tage bis etwa 1 Jahr, im Karst häufig noch weniger	35.4
500	<1000	2	gering	mehrere Monate bis ca. 3 Jahre	20.3
1000	<2000	3	mittel	3 bis 10 Jahre	17.5
2000	<4000	4	hoch	10 bis 25 Jahre	8.3
>=4000		5	sehr hoch	über 25 Jahre	7.5
-	-	-1	Rohstoffabbauflächen	-	0.5
-	-	-2	Altlastenflächen	-	0.1
-	-	-3	Gewässerflächen	-	1.7
-	-	-4	Dolinen	-	0.3
-	-	-5	Siedlungsflächen	-	8.4

Tabelle 7 gibt für die Variante 1 den prozentualen Flächenanteil in Baden-Württemberg für die fünf Schutzfunktionsklassen sowie für die Sonderflächen wieder.

Die Ergebnisse werden sowohl flächenhaft als Rasterdatensätze mit zugehöriger Indexkarte zum bewerteten Grundwasser, als auch für ausgewählte hydrogeologische Situationen in Form von Profildarstellungen visualisiert (Kapitel 5.2).

5.1 Landesweite digitale Datensätze

Im Rahmen des Projektes wurden landesweite digitale Rasterdatensätze zu folgenden Themem erstellt:

- Schutzfunktion des Bodens
- Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (oberster GWL, Variante 1)
- Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung unterhalb des Bodens (oberster Grundwasserleiter, Variante 1)
- Oberster Grundwasserleiter (Schutzfunktionsbewertung: Variante 1)
- Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (wasserwirtschaftlich genutzter Grundwasserleiter, Variante 2)
- Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung unterhalb des Bodens (wasserwirtschaftlich genutzter Grundwasserleiter, Variante 2)
- Wasserwirtschaftlich genutzter Grundwasserleiter (Schutzfunktionsbewertung: Variante 2)

Im Folgenden wird die Schutzfunktion des Bodens (Kap. 5.1.1) und für die beiden Varianten die Gesamtschutzfunktion dargestellt (Kap. 5.1.2 und Kap. 5.1.3) und an einigen lokalen Beispielen erläutert (Kap. 5.1.4).

5.1.1 Schutzfunktion des Bodens

Das Ergebnis der landesweiten Bewertung der Schutzfunktion des Bodens ist in Abbildung 5-1 dargestellt.

Die Punktwerte für den Boden liegen zwischen 13 Punkten und 1316 Punkten. Sonderflächen wurde der Wert 0 zugewiesen.

Mit einem Flächenanteil von knapp 80 % an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg liegt die Schutzfunktion des Bodens in der Schutzfunktionsklasse „sehr gering“ (Punktwerte zwischen 0 und <500, nach Hölting et al. (1995)) (Abbildung 5-2). In die Schutzfunktionsklasse „gering“ (Punktwerte zwischen 500 und <1000) fallen etwas über 10 % der Landesfläche. Lediglich 0,2 % der Landesfläche weisen für den Boden eine mittlere Schutzfunktion (Punktwerte zwischen 1000 und <2000) auf. Der Anteil der Sonderflächen liegt knapp über 11 % (Tabelle 7).



Die höheren Punktwerte (geringe bis mittlere Schutzfunktion) finden sich überwiegend

- in der Vorbergzone am Schwarzwaldrand und im Kaiserstuhl (Parabraunerden aus Löss und Sandlöss)
- in den rheinnahen Auen der nördlichen Oberrheinniederung (Auengley, Auenböden- Auengley und Auenbraunerden)
- im Kraichgau (Pararendzinen, Parabraunerden aus Löss und Sandlöss)
- im Neckarbecken (Parabraunerden aus Löss und Sandlöss)
- bereichsweise im Norden des Alpenvorlands (Pseudogley, Parabraunerden, Auengley, Moorböden)

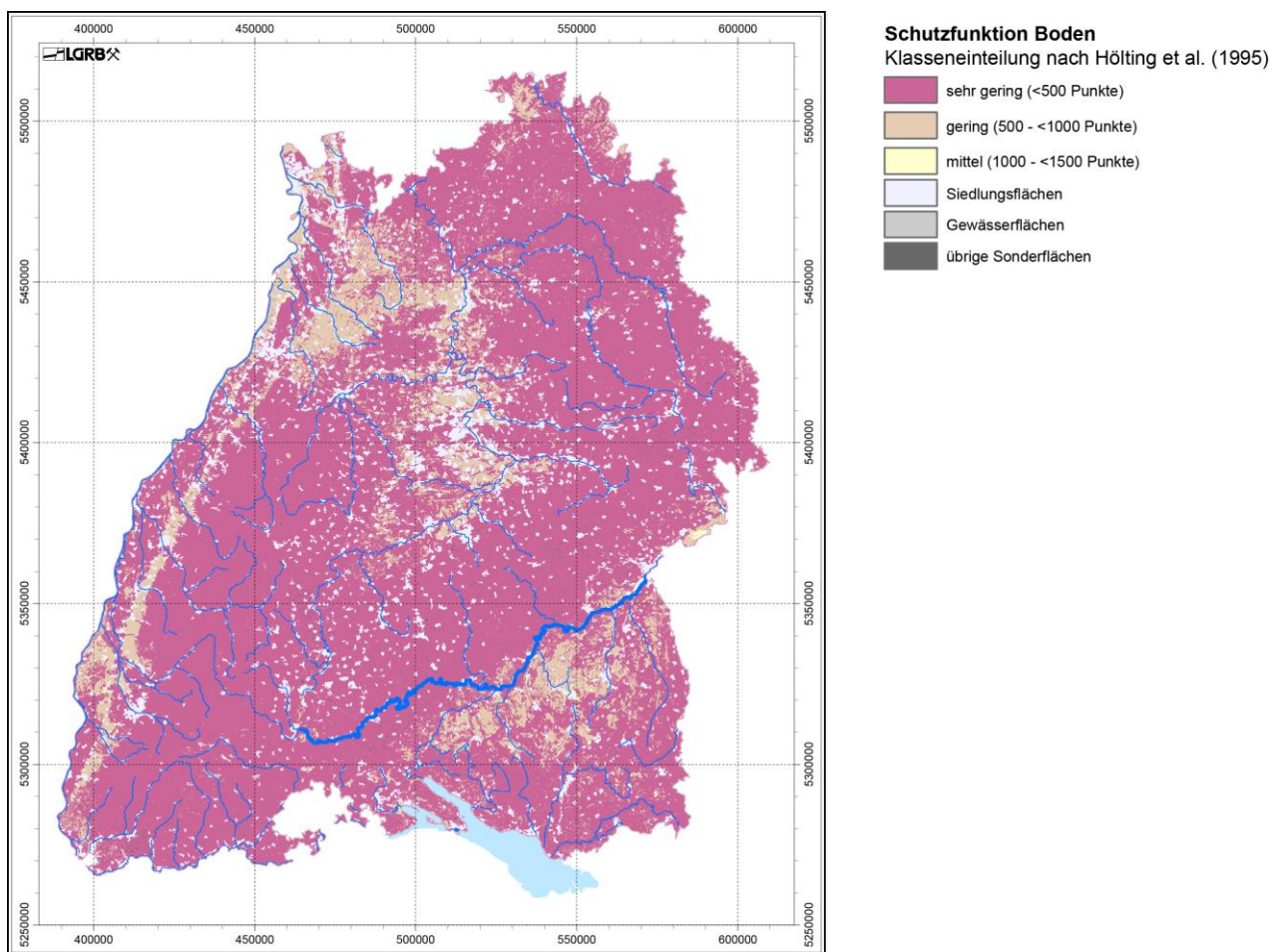


Abbildung 5-1: Landesweiter digitaler Datensatz: Schutzfunktion des Bodens nach dem Verfahren von Hölting et al. (1995).

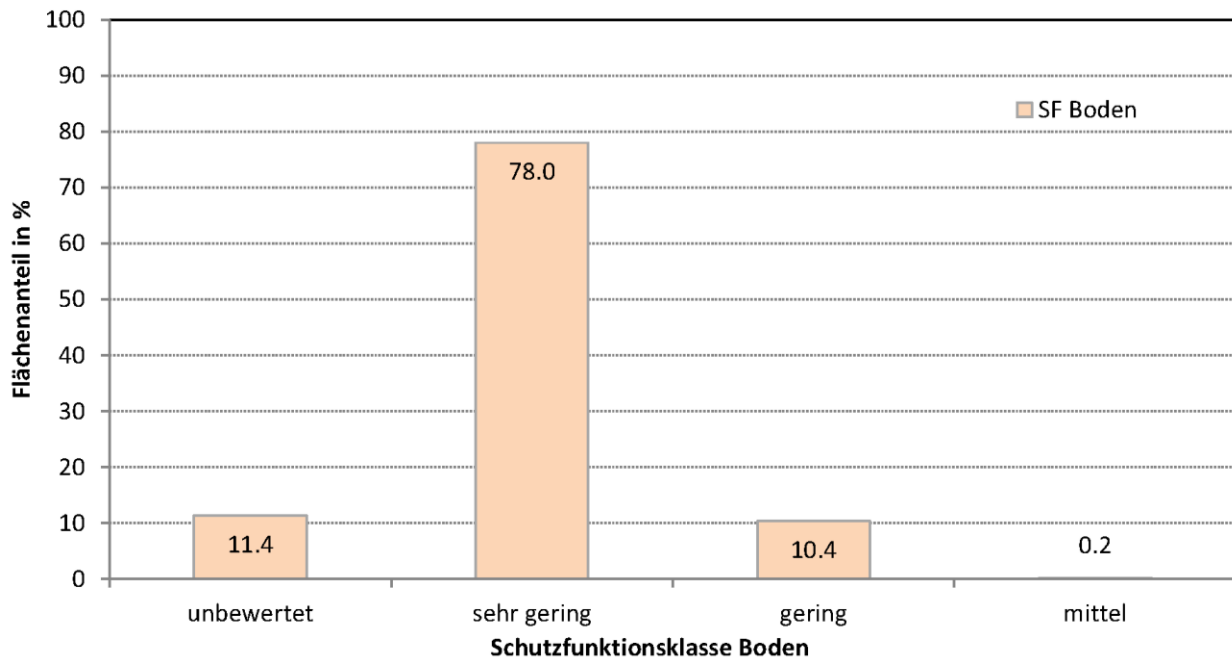


Abbildung 5-2: Schutzfunktion des Bodens: Prozentualer Flächenanteil der Schutzfunktionsklassen 1 bis 5 nach Hölting et al. (1995) an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg. Sonderflächen (z. B. Siedlungsflächen, Rohstoffabbauf Flächen) wurden nicht bewertet.

5.1.2 Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für den obersten Grundwasserleiter (Variante 1)

Das Ergebnis der landesweiten Bewertung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung über dem obersten Grundwasserleiter nach Punktwerten ist in Abbildung 5-3 dargestellt. Abbildung 5-5 zeigt das nach Hölting reklassifizierte Ergebnis. Abbildung 3-5 zeigt die Grundwasserleiter, auf die sich die Bewertung bezieht. Diese Bezugsebene bildet die Grundlage für eine konservative, sicherheitsorientierte Betrachtungsweise im Hinblick auf den Grundwasserschutz, da hierbei auch die Schutzwirkung für kleinräumige, lokale Grundwasservorkommen berücksichtigt wird.

Die Punktwerte für die Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung über dem obersten Grundwasser liegen zwischen 0 Punkten für Grundwasserblänken wie z. B. Baggerseen und 197 565 Punkten im Bereich der mitteljurasischen Grundwassergeringleiter.

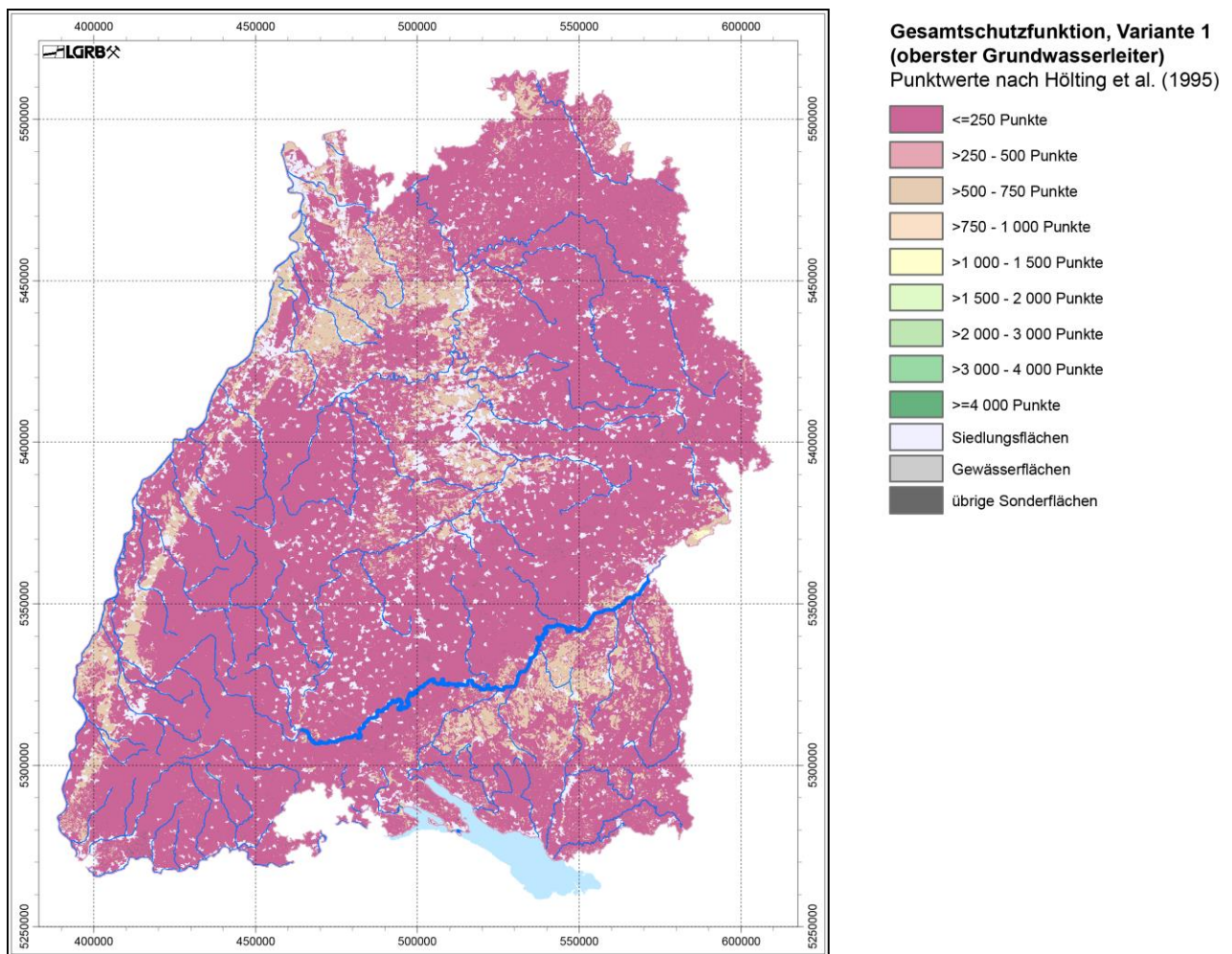


Abbildung 5-3: Landesweiter digitaler Datensatz: Punktwerte der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung nach dem Verfahren von Hölting et al. (1995), Variante 1.

In der Variante 1 nimmt die Schutzfunktionsklasse (SFK) 1 (sehr geringe Schutzfunktion) mit einem Anteil von ca. 35 % an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg den höchsten Flächenanteil ein (Abbildung 5-4, hellblaue Säulen). Der Anteil der SFK 2 (gering) und 3 (mittel) liegt bei ca. 20 %, der der SFK 4 (hoch) und 5 (sehr hoch) bei jeweils ca. 8 %.

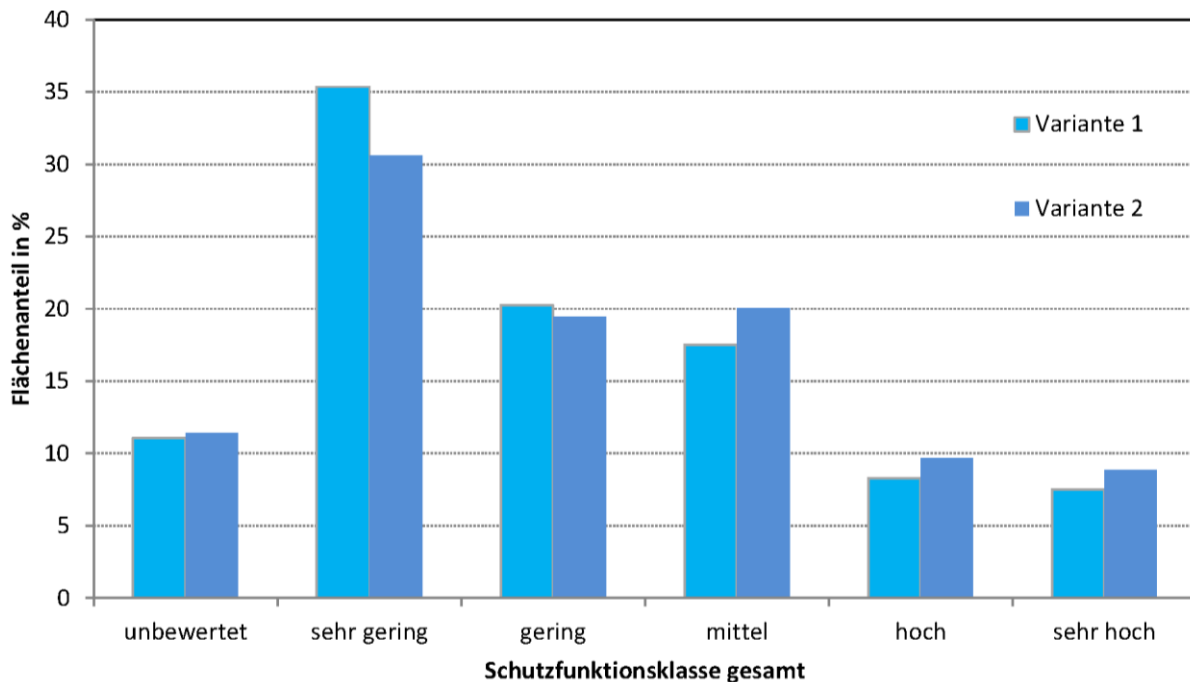


Abbildung 5-4: Gesamtschutzfunktion: Prozentualer Flächenanteil der Schutzfunktionsklassen 1 bis 5 nach Hölting et al. (1995) an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg. Sonderflächen (z. B. Siedlungsflächen, Rohstoffabbauflächen) wurden nicht bewertet.

Die höchsten Punktwerte finden sich im Albvorland im Verbreitungsgebiet der unterjurassischen hydrogeologischen Einheiten Obtususton-Fm. bis Jurensismergel-Fm. (juOT-juJ) und der mitteljurassischen Opalinuston-Fm. (jmOPT), die als Grundwassergeringleiter das Grundwasser in der darunterliegenden Arietenkalk-Fm. vor Verunreinigungen schützen. Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist ebenfalls hoch im Verbreitungsgebiet der Trossingen-Fm. (kmTr, früher Knollenmergel), in dem das Grundwasservorkommen in der Löwenstein-Fm. bewertet wird, in der Steigerwald-Fm. (früher Obere Bunte Mergel), in dem das Grundwasservorkommen in der Hassberge-Fm. bewertet wird und im Verbreitungsgebiet der Mainhardt-Formation (kmMh, früher: Untere Bunte Mergel), in dem das Grundwasservorkommen in der Stuttgart-Fm. bewertet wird. In diesen Gebieten treffen hohe Festgesteinspunktwerte mit hohen Grundwasserflurabständen zusammen, so dass Schutzfunktionswerte von weit über 40 000 Punkten erreicht werden.

Höhere Werte finden sich ebenfalls in Gebieten mit mächtigen bindigen Deckschichten. Dies können z. B. mächtigere Lössbedeckungen sein (z. B. in der Vorbergzone am östlichen Rand des Oberrheingrabens, in der bei der Schutzfunktionsbewertung nur Boden und bindige Deckschichten ohne die Festgesteinsüberlagerung zum Ansatz kommen).

Die geringste Schutzfunktion weisen die Porengrundwasserleiter bei geringen Grundwasserflurabständen und fehlenden bis gering mächtigen Deckschichten auf. Dies kann beispielsweise in den Hardtebenen des nördlichen Oberrheingrabens oder in größeren



Flusstälern der Fall sein. Im kristallinen Schwarzwald wurde in der Variante 1 lediglich die Schutzfunktion des Bodens bewertet. Sie ist überwiegend sehr gering. Eine geringe Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung liegt auch im Verbreitungsgebiet der oberjurassischen Karbonatgesteine auf der Schwäbischen Alb sowie der Muschelkalkgebiete auf der Ostabdachung des Schwarzwaldes (Obere Gäue) und im Nordosten des Landes ((Bauland, Tauberland, Kocher-Jagst-Ebenen, Hohenloher-Haller-Ebene) vor.

Ebenso zeichnet sich die flächige geringe Schutzfunktion im Kristallin-Schwarzwald ab, da für diese Region in der Variante1 als Randbedingung nur der Boden berücksichtigt wurde.

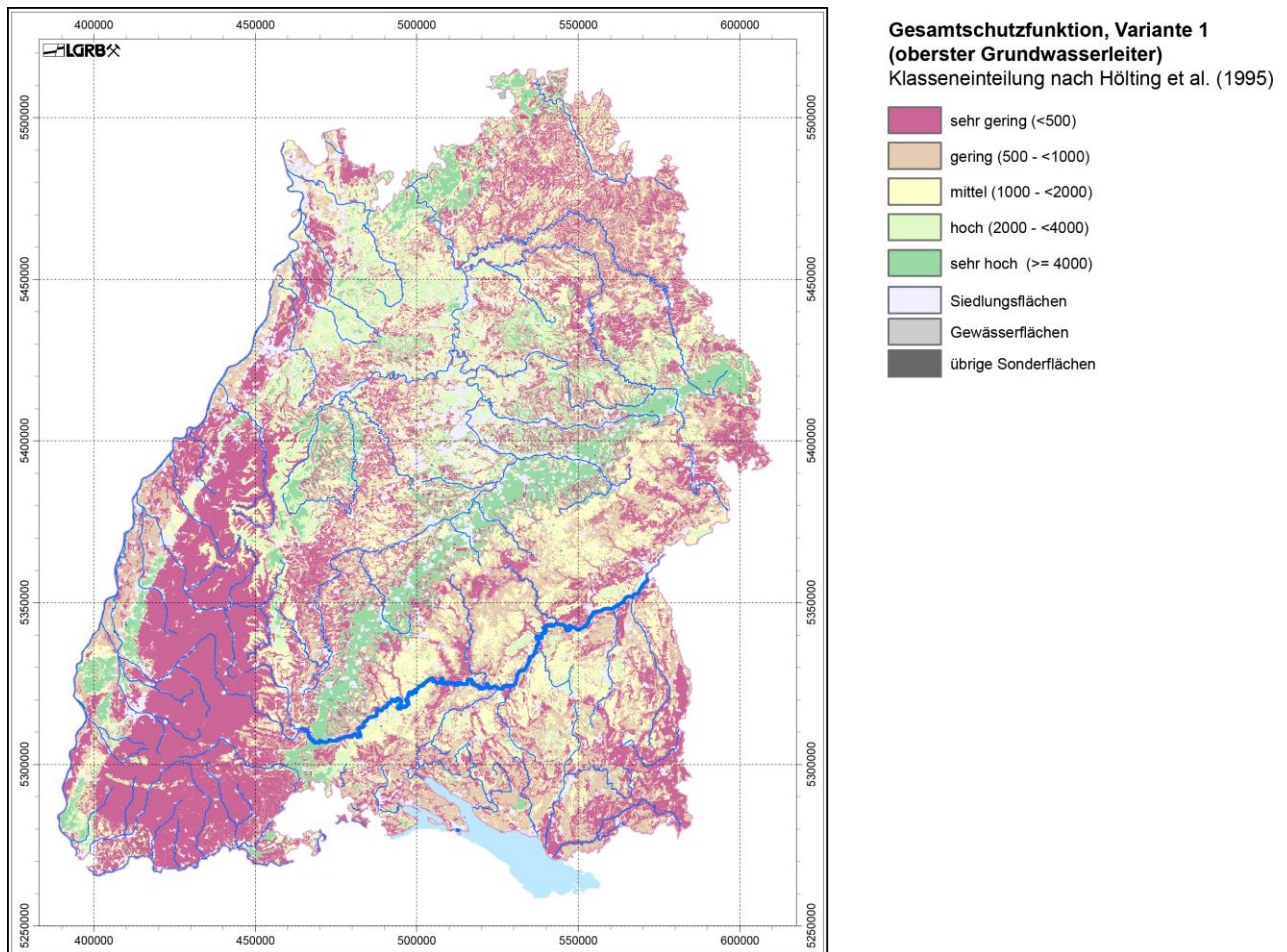


Abbildung 5-5: Landesweiter digitaler Datensatz: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (oberstes Grundwasser, Variante 1): Klasseneinteilung nach Hölting et al. (1995) (in Klammern: Punktzahl).



5.1.3 Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für den wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiter (Variante 2)

Das Ergebnis der landesweiten Bewertung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung für den wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiter ist in Abbildung 5-6 dargestellt. Abbildung 3-7 zeigt den Grundwasserleiter, auf den sich die Bewertung bezieht.

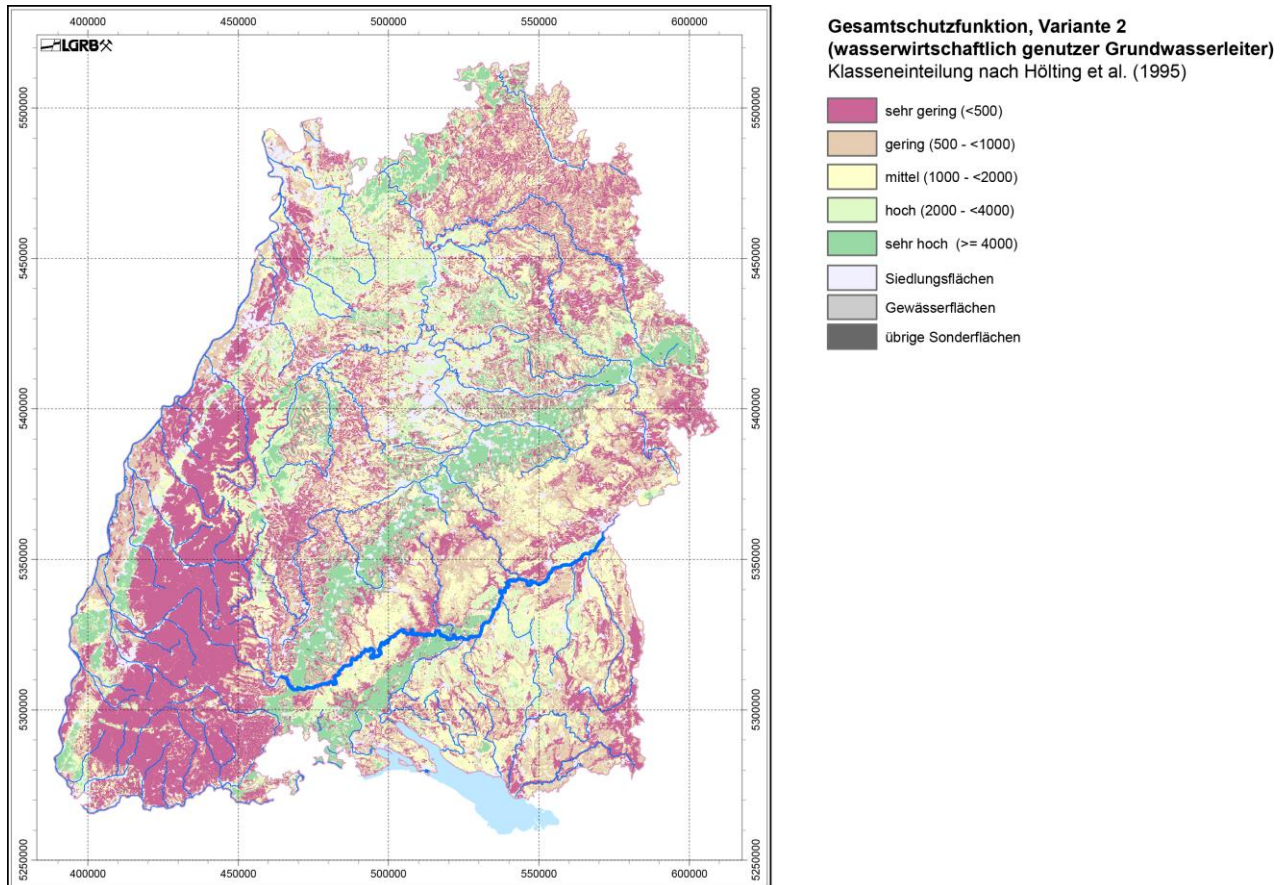


Abbildung 5-6: Landesweiter digitaler Datensatz: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (wasserwirtschaftlich genutzter bzw. nutzbarer Grundwasserleiter, Variante 2): Klasseneinteilung nach Hölting et al. (1995) (in Klammern: Punktzahl).

Diese Bezugsebene bildet die Grundlage für eine Betrachtungsweise, die die aus wasserwirtschaftlicher Sicht bedeutendsten Grundwasservorkommen berücksichtigt.

Die Vorgehensweise bei der Festlegung des wasserwirtschaftlich genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiters ist in Kapitel 3.3.3 beschrieben.

Im Vergleich zu Variante 1 ist der Anteil an der Gesamtfläche von Baden-Württemberg mit der Schutzfunktionsklasse 1 etwas geringer (Abbildung 5-4, dunkelblaue Säulen). Grund dafür ist, dass in Variante 1 die Schutzfunktion für das Grundwasser in den Porengrundwasserleitern der jungquartären Talfüllungen bewertet wird, die grundsätzlich nur gering geschützt sind. In Variante 2 wird der darunter folgende Festgesteinsgrund-



wasserleiter bewertet. Der größere Flächenanteil in Variante 2 mit der Schutzfunktionsklasse 5 liegt darin begründet, dass die Schutzfunktion der Überdeckung für tiefer liegende Grundwasservorkommen bewertet wird. In diesen Fällen nimmt die Festgesteinsüberdeckung u. a. auch durch Grundwassergeringleiter teils deutlich zu, d. h. es resultieren für die tieferen Grundwasserleiter deutlich höhere Schutzfunktionswerte.

Daneben werden regional abweichende Kriterien berücksichtigt, insbesondere:

- Im Bereich unterhalb des Buntsandsteins bildet das Kristalline Grundgebirge den bewerteten GWL.
- Im Bereich mit anstehendem Mittlerem Muschelkalk bis Unterem Buntsandstein bildet der Mittlere bis Untere Buntsandstein den Grundwasserleiter.
- Im Alpenvorland werden maximale Grundwasserflurabstände von 10 m in Bereichen von Glazial- oder Beckensedimenten angesetzt (Variante 1 maximal 5 m).
- Im Schwarzwald werden maximal 10 m des kristallinen Untergrunds bewertet (Variante 1 nur Boden).
- Im Bereich anstehender Brackwassermolasse wird die unterliegende Obere Meeresmolasse bewertet.



5.1.4 Regionale Betrachtung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

In der Detailbetrachtung fallen einige Gebiete mit kleinräumig wechselnder Schutzfunktion auf. Einige davon werden im Folgenden beispielhaft beschrieben.

Im Mittleren und Westlichen Keuperbergland führt der Wechsel von relativ gering mächtigen Grundwasserleitern und Grundwassergeringleitern im Bereich von Mittelkeuper und Unterjura zu einer starken Strukturierung des Gebiets (Abbildung 5-7 bis Abbildung 5-9).

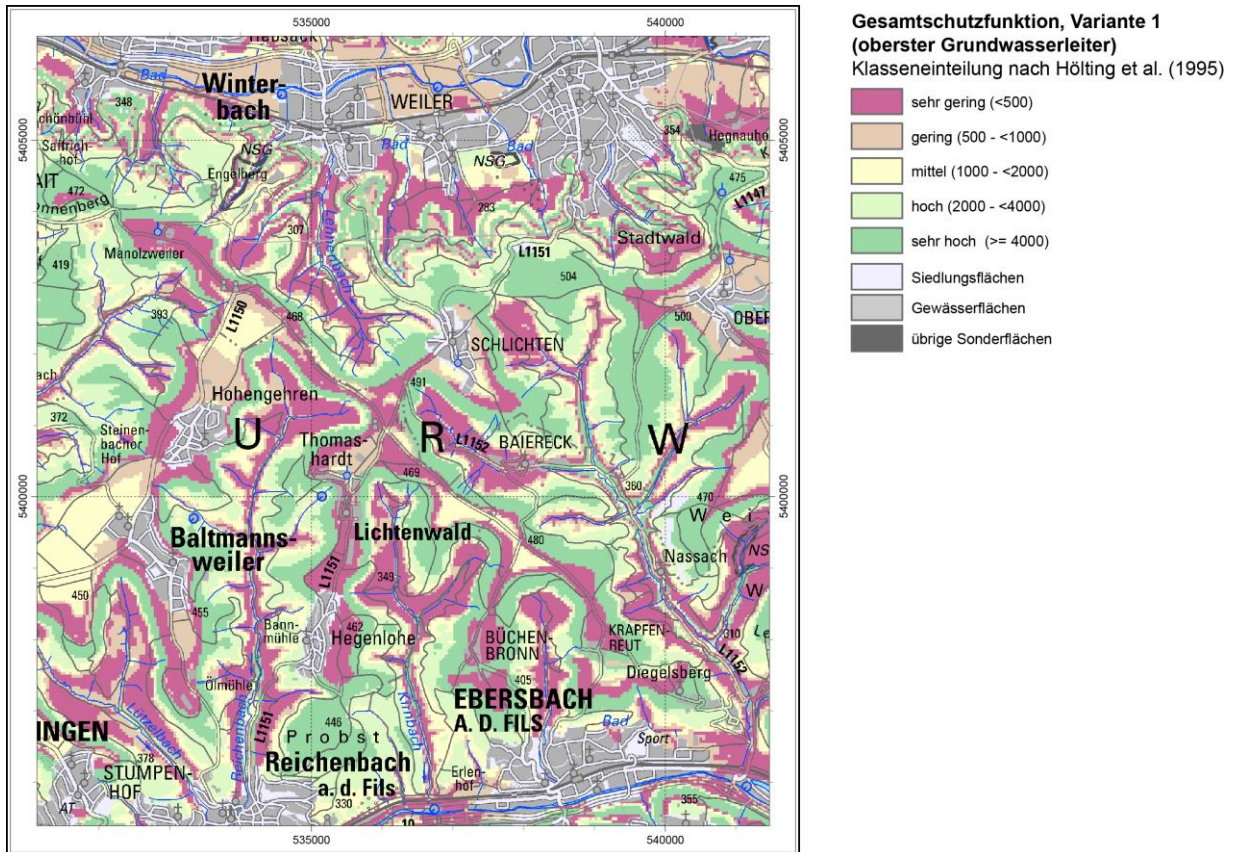


Abbildung 5-7: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Raum Schorndorf–Ebersbach (Mittleres und Westliches Keuperbergland, in Klammern: Punktzahl).

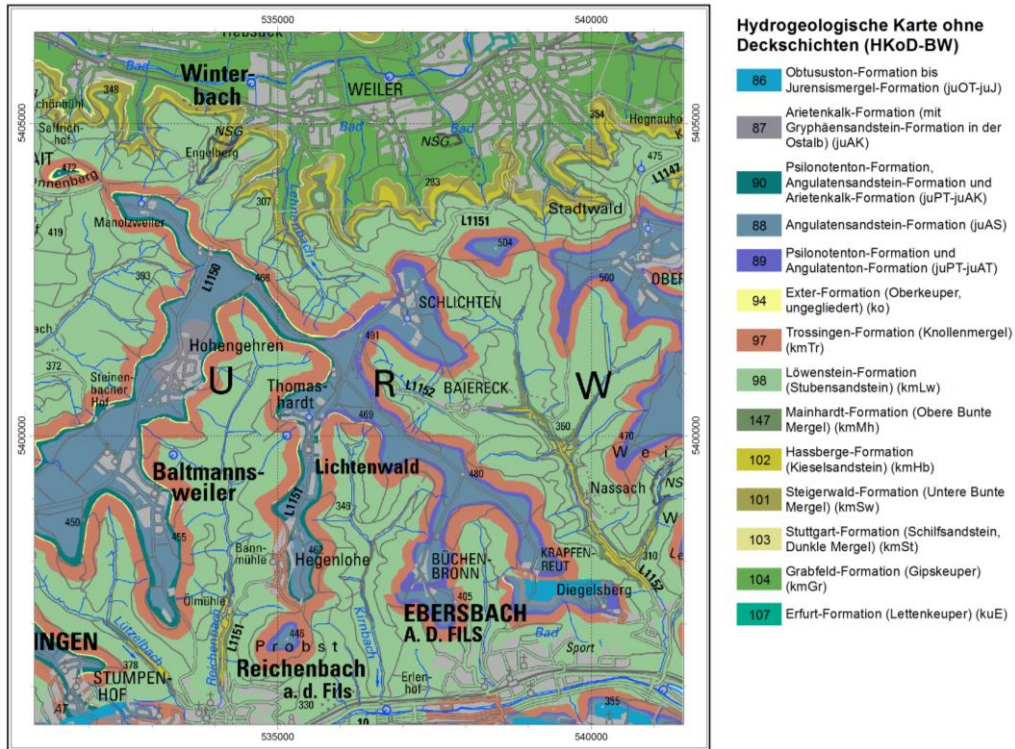


Abbildung 5-8: Hydrogeologische Karte ohne Deckschichten (HKoD-BW) im Raum Schorndorf-Ebersbach (Mittleres und Westliches Keuperbergland).

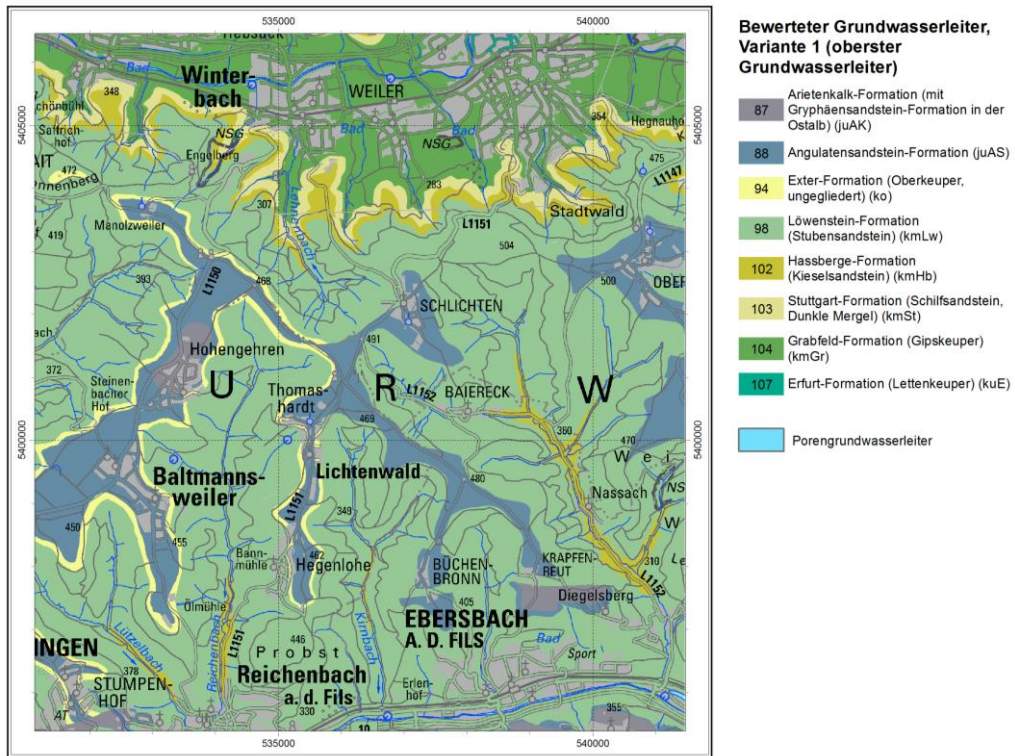


Abbildung 5-9: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) im Raum Schorndorf-Ebersbach (Mittleres und Westliches Keuperbergland).



Deutlich geringere Schutzfunktionen weist die Grundwasserüberdeckung im Verbreitungsgebiet des Muschelkalks mit kleinräumiger Überdeckung von Unterkeuper auf (Abbildung 5-10 bis Abbildung 5-12). Diese Situation findet sich im gesamten nordöstlichen Landesteil (Bauland, Tauberland und Kocher-Jagst-Ebenen).

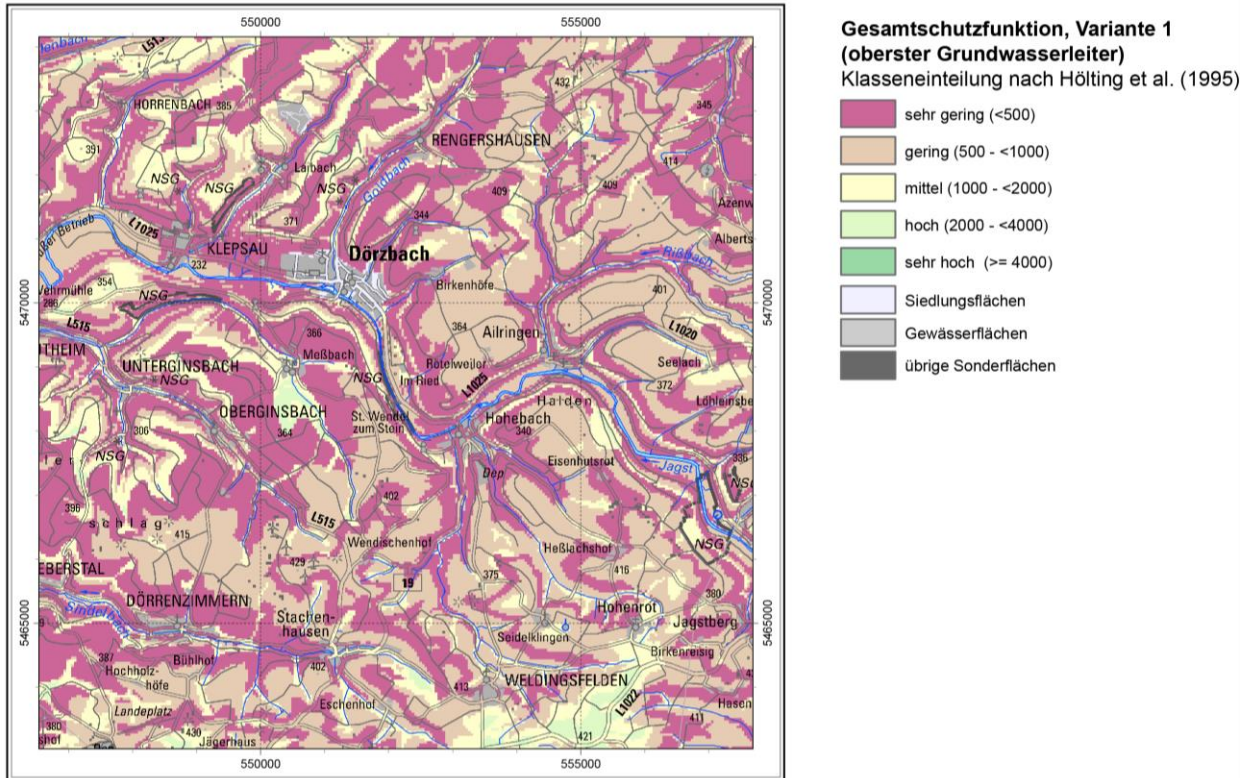


Abbildung 5-10: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Raum Krautheim (Muschelkalk der Kocher-Jagst-Ebenen) mit geringer Schutzfunktion im Muschelkalk-Verbreitungsgebiet (in Klammern: Punktzahl).

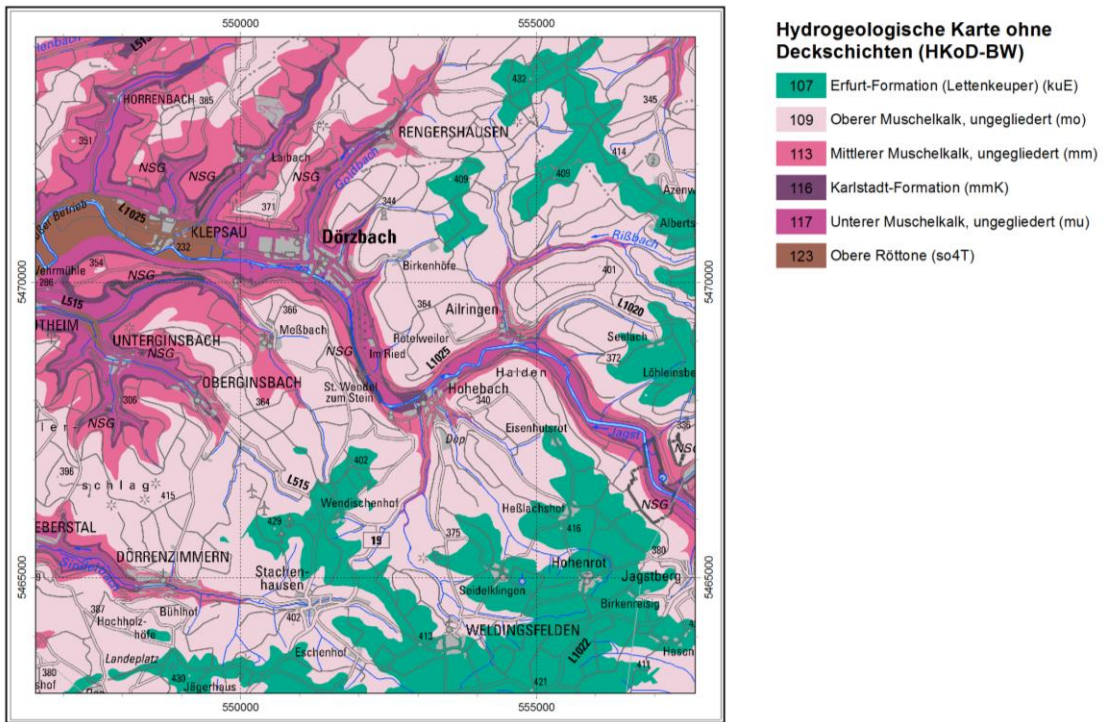


Abbildung 5-11: Hydrogeologische Karte ohne Deckschichten (HKoD-BW) im Raum Krautheim (Muschelkalk der Kocher-Jagst-Ebenen).

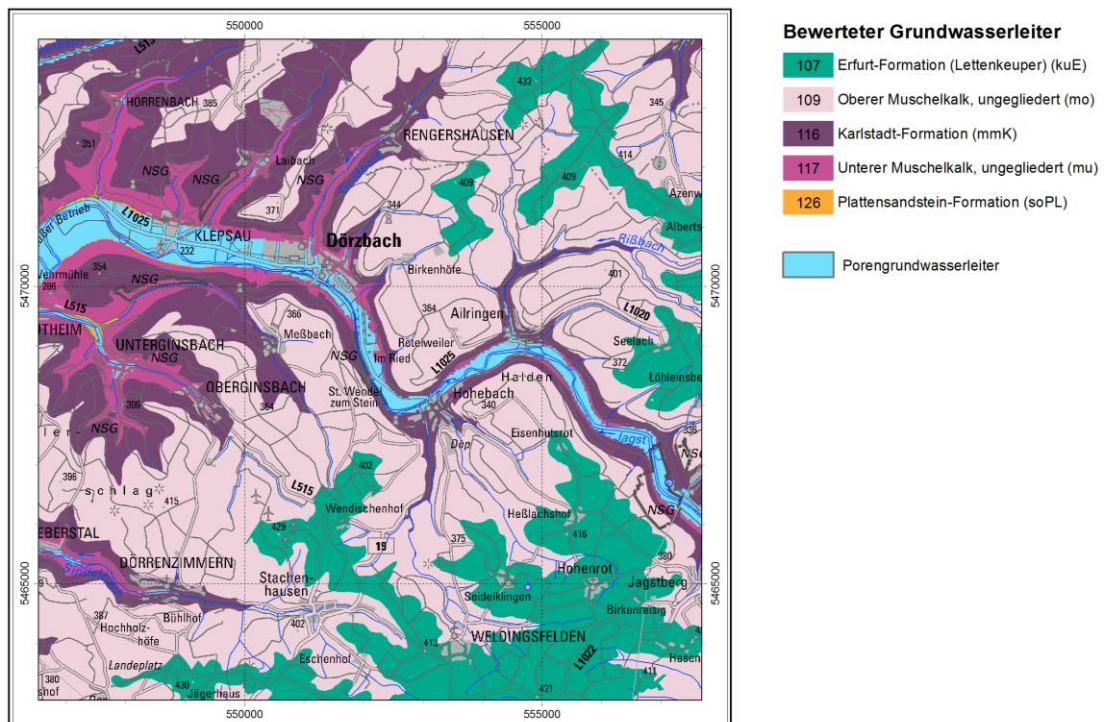


Abbildung 5-12: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) im Raum Krautheim (Muschelkalk der Kocher-Jagst-Ebenen).



Im Verbreitungsgebiet des Buntsandsteins führen die hohen Grundwasserflurabstände zu einer höheren Geschützhcit des Grundwassers (Abbildung 5-13 bis Abbildung 5-15). Nach Osten in Richtung Muschelkalkverbreitung nimmt die Schutzfunktion stark ab.

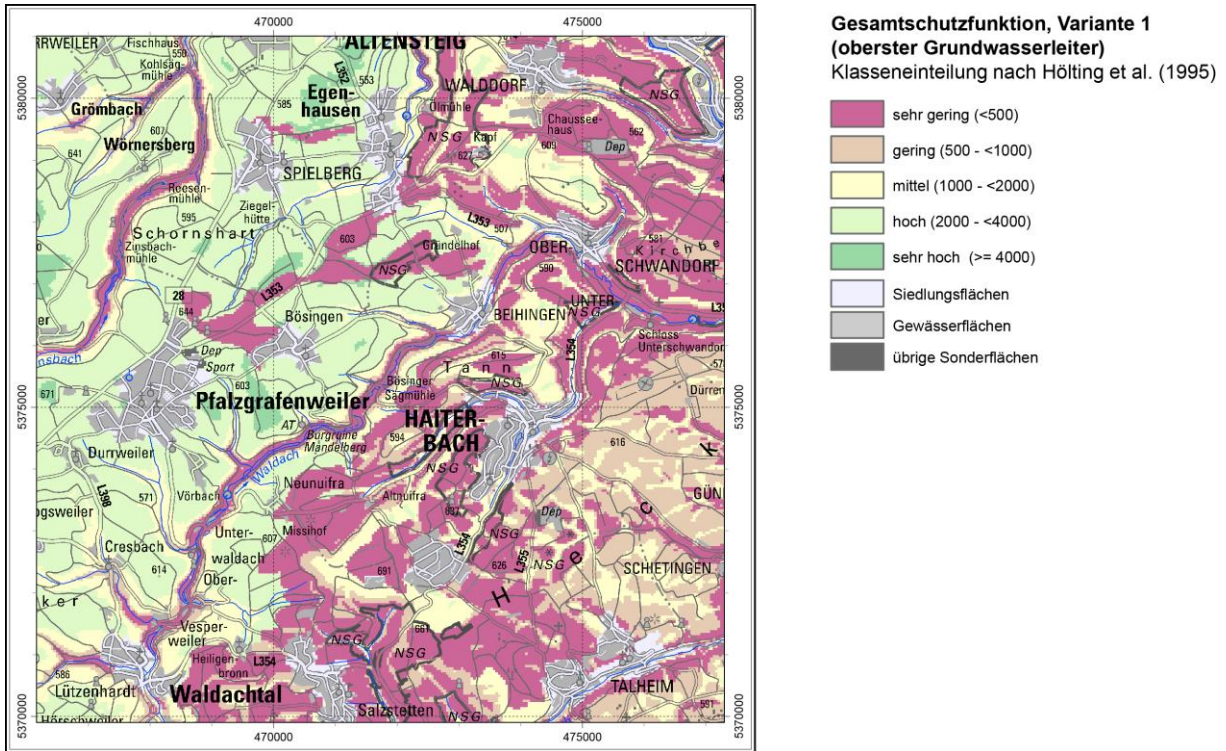


Abbildung 5-13: Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Raum Pfalzgrafenweiler, Variante 1 (Buntsandstein der Schwarzwald-Randplatten sowie Muschelkalk der Oberen Gäue). Höhere Schutzfunktion im Verbreitungsgebiet des Buntsandsteins (Nordwesten), geringere Schutzfunktion im Muschelkalk (Südosten) (in Klammern: Punktzahl).

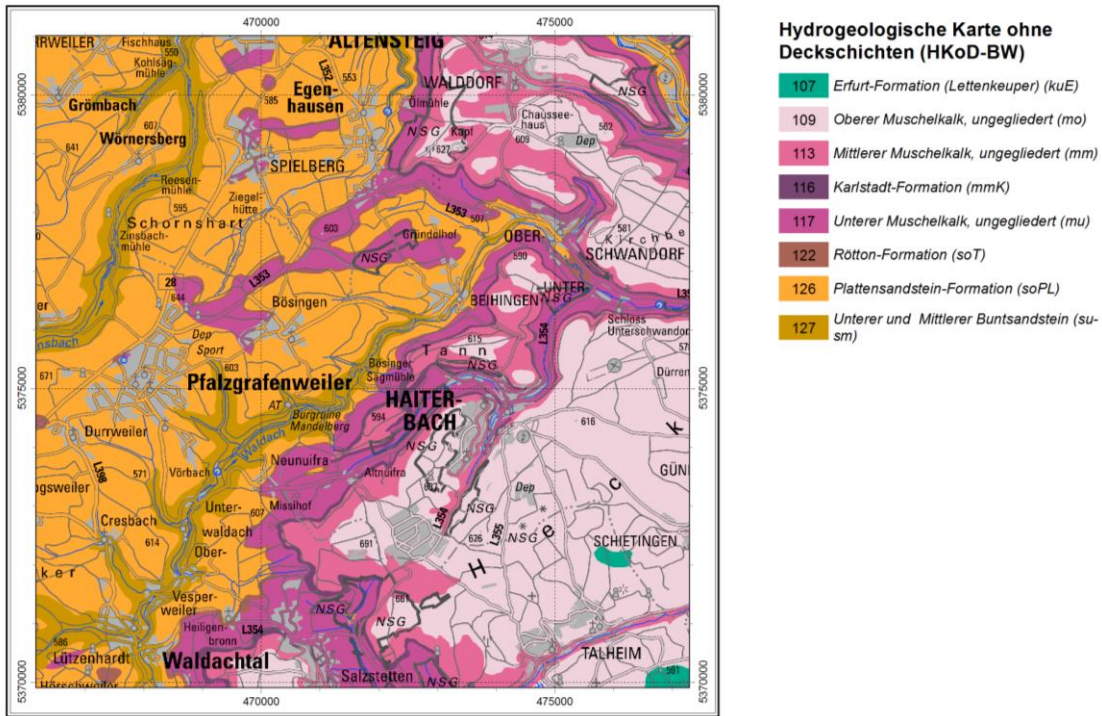


Abbildung 5-14: Hydrogeologische Karte ohne Deckschichten (HKoD-BW) im Raum Pfalzgrafenweiler (Buntsandstein der Schwarzwald-Randplatten sowie Muschelkalk der Oberen Gäue).

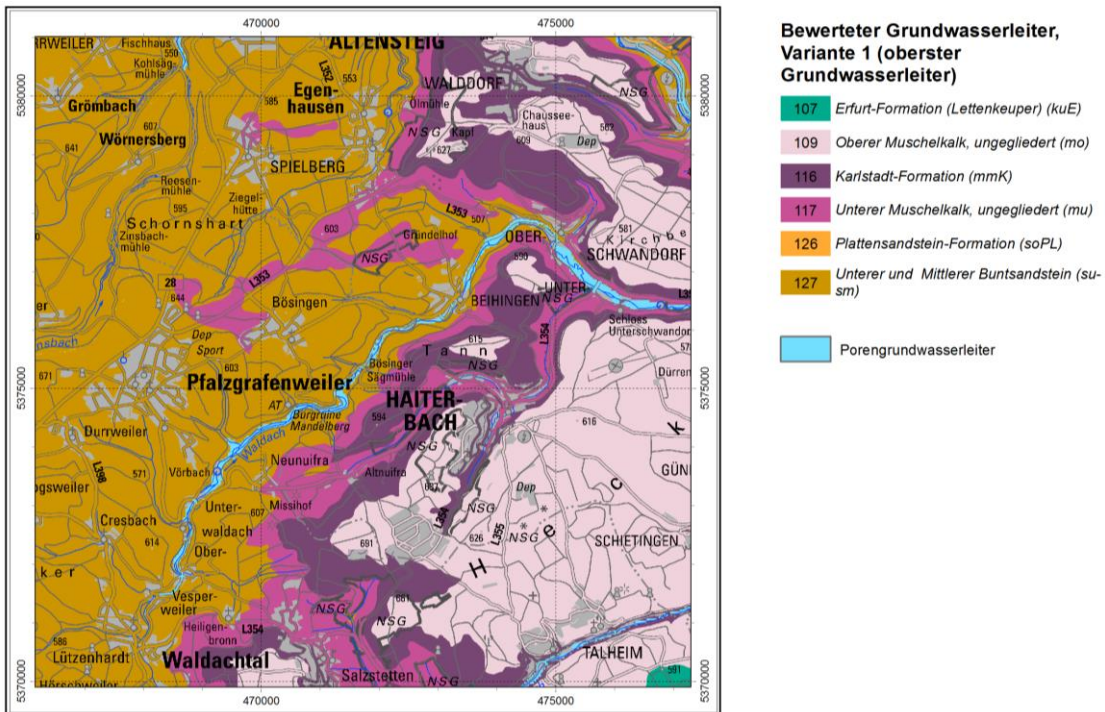


Abbildung 5-15: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) im Raum Pfalzgrafenweiler (Buntsandstein der Schwarzwald-Randplatten sowie Muschelkalk der Oberen Gäue).

5.2 Profildarstellungen

In den Profildarstellungen werden die Schichtlagerung der Hydrogeologischen Einheiten sowie ihre Lagebeziehungen und Mächtigkeiten stark schematisiert verdeutlicht. Daneben werden die bewerteten Grundwasserleiter, die Grundwassergeringleiter (mit Signatur gekennzeichnet) sowie die Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung visualisiert. Diese Darstellungen dienen der Veranschaulichung sowie der Prüfung und Validierung der Ergebnisse.

Im Folgenden werden exemplarisch drei Profilschnitte beschrieben.

5.2.1 Mittleres Albvorland (Raum Mössingen)

In den Abbildungen 5-16 bis 5-18 ist die Situation für den Raum Mössingen im Mittleren Albvorland dargestellt. Dort steht an der Geländeoberfläche die Schichtenfolge vom Unterkeuper (Erfurt-Formation) bis zum Oberjura an. Sie wird bereichsweise von Lösssediment bzw. Hangschutt als quartäre Deckschichten überlagert.

Als Grundwasserleiter wurden von Nordwesten nach Südosten bewertet: Löwenstein-Formation (km), Angulatensandstein-Formation, Arietenkalk-Formation, Wedelsandstein-Formation (jm), Ostreenkalk-Formation (jm), Wohlgeschichtete Kalke-Formation (jo) sowie Untere und Obere Felsenkalk-Formation (jo) (Abbildung 5-16).

Abbildung 5-17 zeigt das klassifizierte Ergebnis der Bewertung der Gesamtschutzfunktion. Gering geschützt (Schutzfunktionsklasse 1) sind die Grundwasservorkommen in der jungen Talfüllung der Wiesatz und der Steinlach. Ebenso gering geschützt ist das Grundwasser in der Arietenkalk-Formation, der Wedelsandstein-Formation und im Oberjura, sofern diese an der Geländeoberfläche anstehen oder nur von gering mächtigen Deckschichten überlagert werden. In Bereichen, in denen die Arietenkalk-Formation von der gering durchlässigen Abfolge der Pylonotenton-Formation (ju) bis zur Achdorf-Formation überlagert wird, nimmt die Schutzfunktion mit zunehmender Mächtigkeit der Einheiten stark zu (Abbildung 5-17, Abbildung 5-18). In den Bereichen, in denen über der Opalinuston-Formation ein Porengrundwasserleiter liegt, wird dieser als Grundwasserleiter bewertet. Dies ist in Abbildung 5-18 z. B. bei Profilmeter 4500 bis 5000 der Fall. Dort quert der Profilschnitt das Tal der Wiesatz. Ebenso ist das Grundwasser in der Ostreenkalk-Formation bei Überlagerung durch die gering durchlässige Impressamergel-Formation gut geschützt.



- Bewerteter Grundwasserleiter, Variante 1 (oberster Grundwasserleiter)**
- 57 Jüngere Magmatite und Begleitsedimente (tJM)
 - 60 Oberjura, ungliedert (jo)
 - 76 Ostreenkalk-Formation (Ostalb: Oolithkalk-Formation) (jmOK)
 - 77 W Edelsandstein-Formation (jmWS)
 - 87 Arietenkalk-Formation (mit Gryphaensandstein-Formation in der Ostalb) (juAK)
 - 88 Angulatusandstein-Formation (juAS)
 - 98 Löwenstein-Formation (Stubensandstein) (kmLw)
 - 103 Stuttgart-Formation (Schiffsandstein, Dunkle Mergel) (kmSt)
- Poregrundwasserleiter

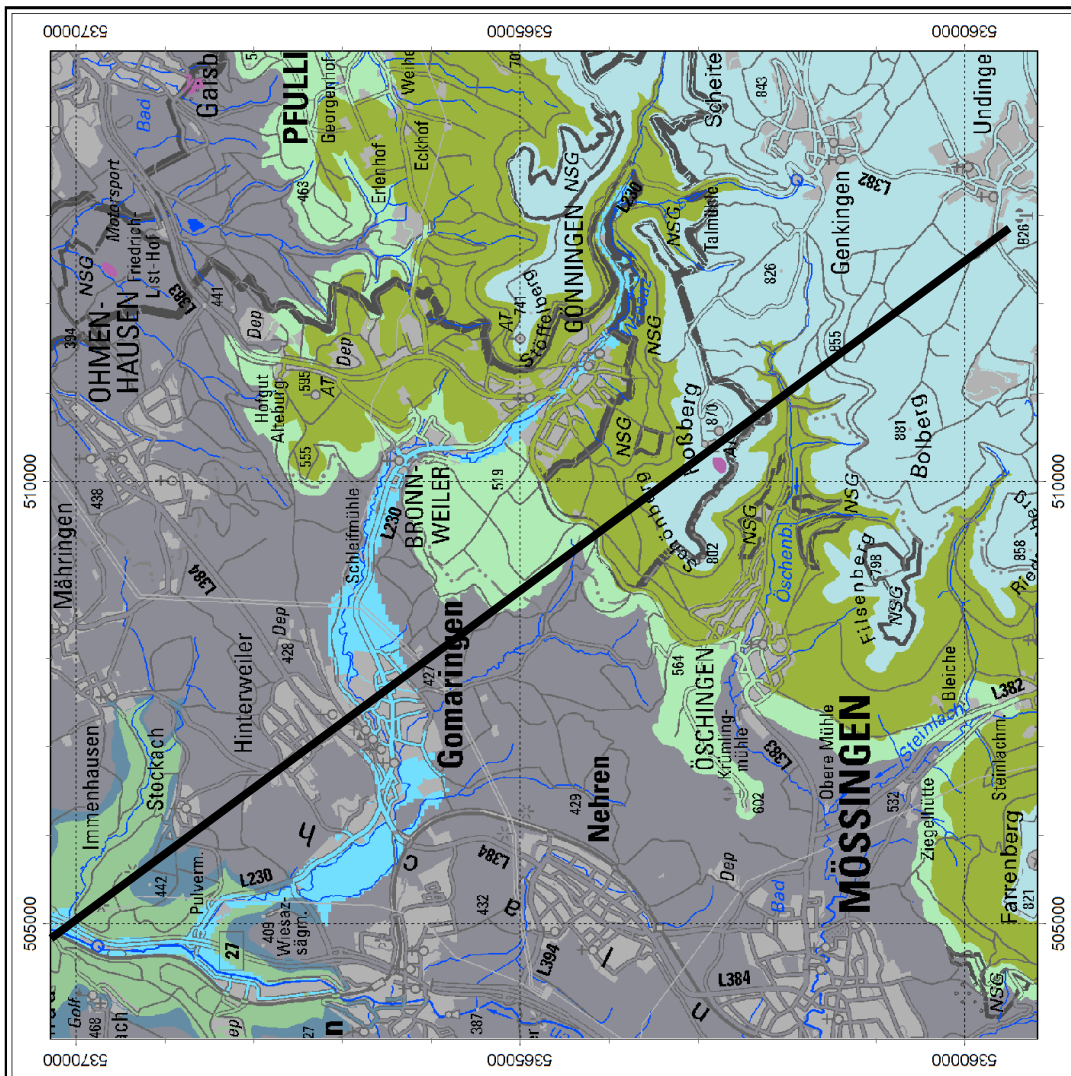


Abbildung 5-16: Mittleres Albvorland, Raum Mössingen: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts (vgl. hierzu Abbildung 5-17 und Abbildung 5-18).



**Gesamtschutzfunktion, Variante 1
(oberster Grundwasserleiter)
Klasseneinteilung nach Höiting et al. (1995)**

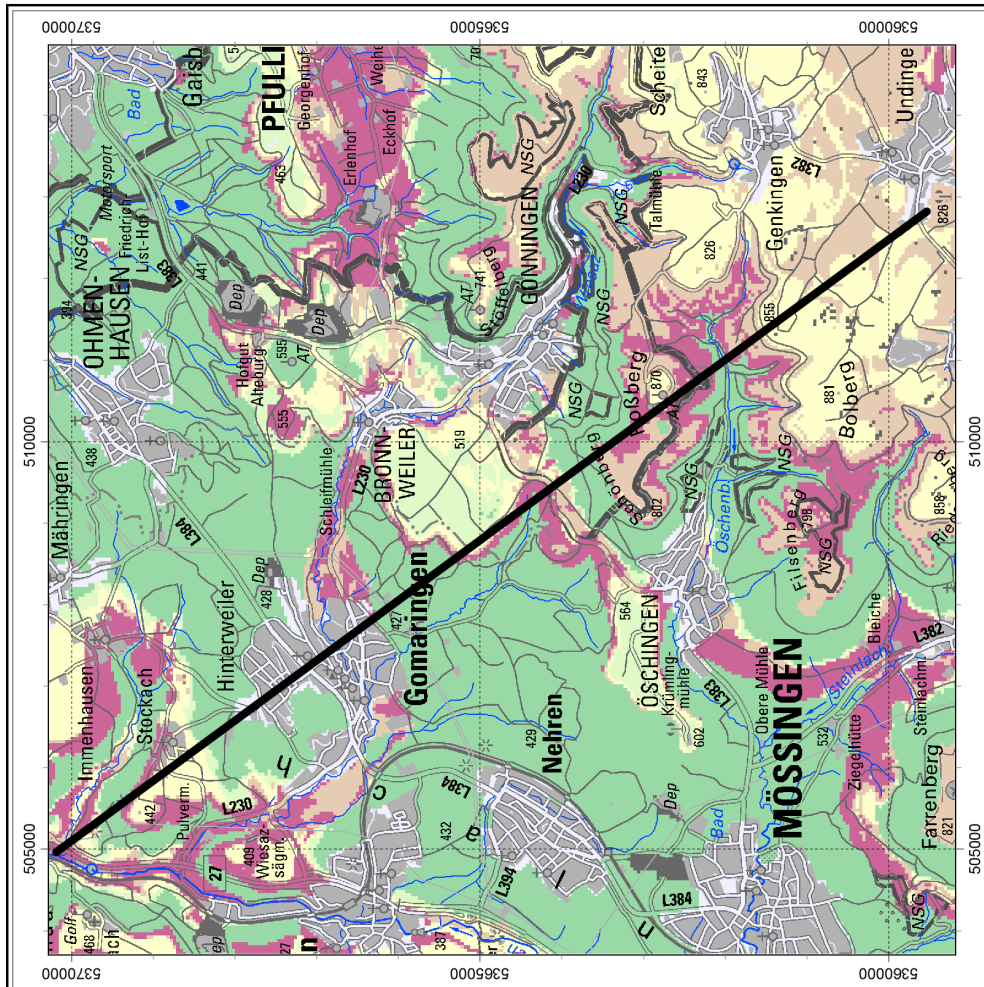
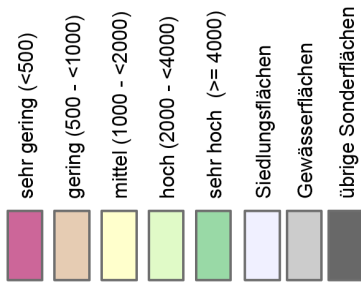


Abbildung 5-17: Mittleres Albvorland, Raum Mössingen: Schutzfunktionsbewertung (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts (siehe Abbildung 5-18).

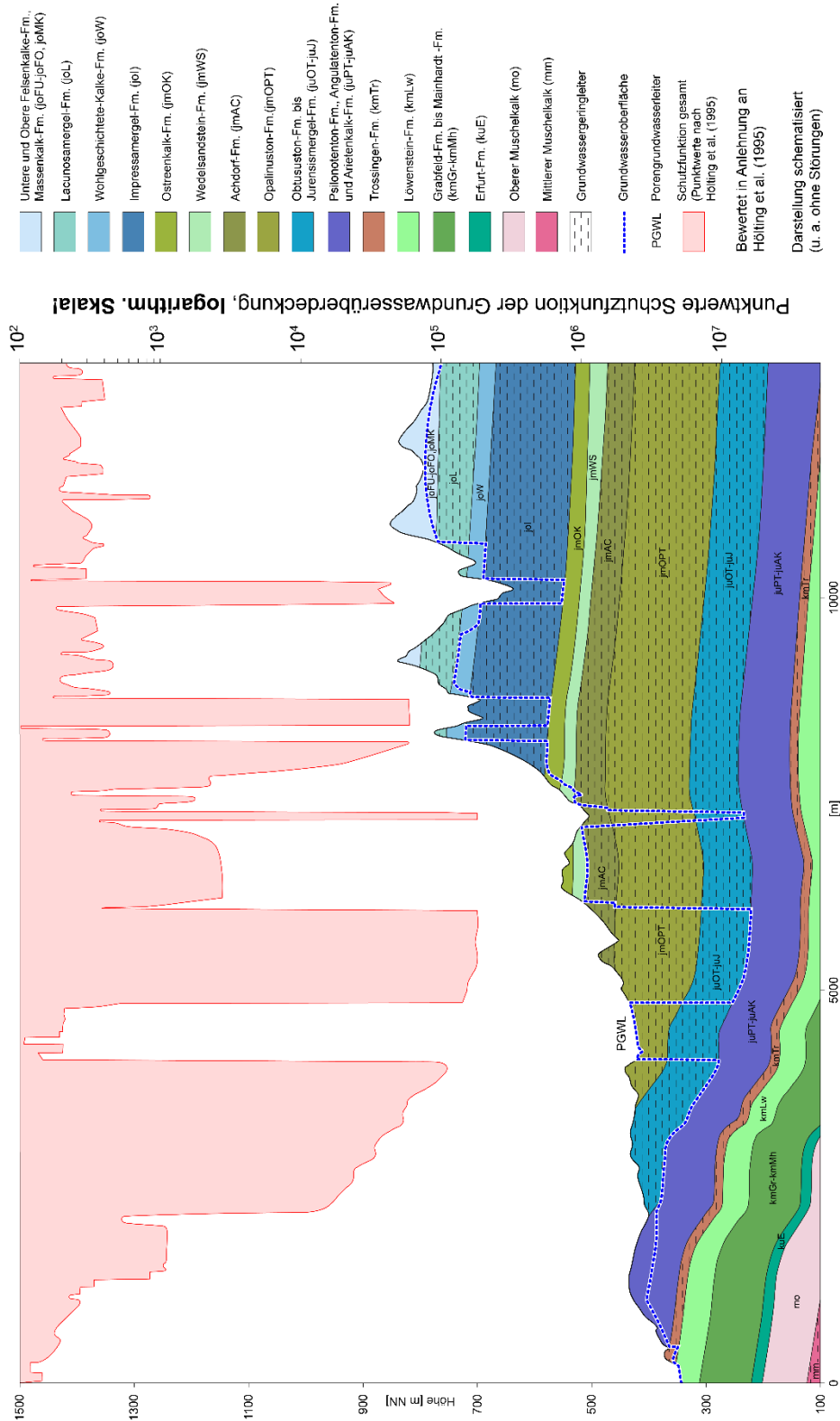


Abbildung 5-18: Mittleres Albvorland, Raum Mössingen: Stark vereinfachtes hydrogeologisches Profil (rechts) sowie räumlich zugeordnete Punktwerte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (links, logarithm. Skala; Variante 1, strichliert: Grundwasseroberfläche).



5.2.2 Bauland/Tauberland (Raum Königsheim–Boxberg–Assamstadt)

In den Abbildungen 5-19 bis 5-21 ist die Situation für die Grenzregion Bauland/Tauberland dargestellt. Dort steht an der Geländeoberfläche die Schichtenfolge vom Unteren/Mittleren Buntsandstein bis zum Oberen Muschelkalk an. Sie werden inselartig von der hydrogeologischen Einheit Unterkeuper sowie bereichsweise von Lösssediment als quartärer Deckschicht überlagert. Im Verbreitungsgebiet des Muschelkalks können sich die Tauber und ihre Nebenflüsse (wie z. B. die Umpfer im Profilschnitt) bis in die Schichten des Buntsandsteins eingetieft haben.

Als Grundwasserleiter wurden von Nordwesten nach Südosten bewertet: der Untere und Mittlere Buntsandstein (su-sm), die Plattensandstein-Formation (soPL) des Oberen Buntsandsteins (so), der Untere Muschelkalk (mu), die Karlstadt-Formation (mmK) des Mittleren Muschelkalks (mm) und der Obere Muschelkalk (mo) (Abbildung 5-19).

Abbildung 5-20 zeigt das klassifizierte Ergebnis der Bewertung der Gesamtschutzfunktion, Abbildung 5-21 den zugehörigen Profilschnitt (Verlauf: siehe Abbildung 5-19). Im Norden des Gebiets steht südlich des Taubertals der Obere Buntsandstein (Plattensandstein) als oberster Grundwasserleiter an. Bei Grundwasserflurabständen von bis ca. 100 m ist das Grundwasser in dieser hydrogeologischen Einheit gut vor Verunreinigungen von der Erdoberfläche aus geschützt (Schutzfunktionsklasse 5). Dem Profilverlauf weiter nach Süden folgend bildet der Muschelkalk den bewerteten Grundwasserleiter. Je nach anstehender hydrogeologischer Einheit ist in diesem Gebiet die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung mittel (SKF 3, Mittlerer Muschelkalk) bis gering (SKF 1, Oberer Muschelkalk bzw. Unterer Muschelkalk).

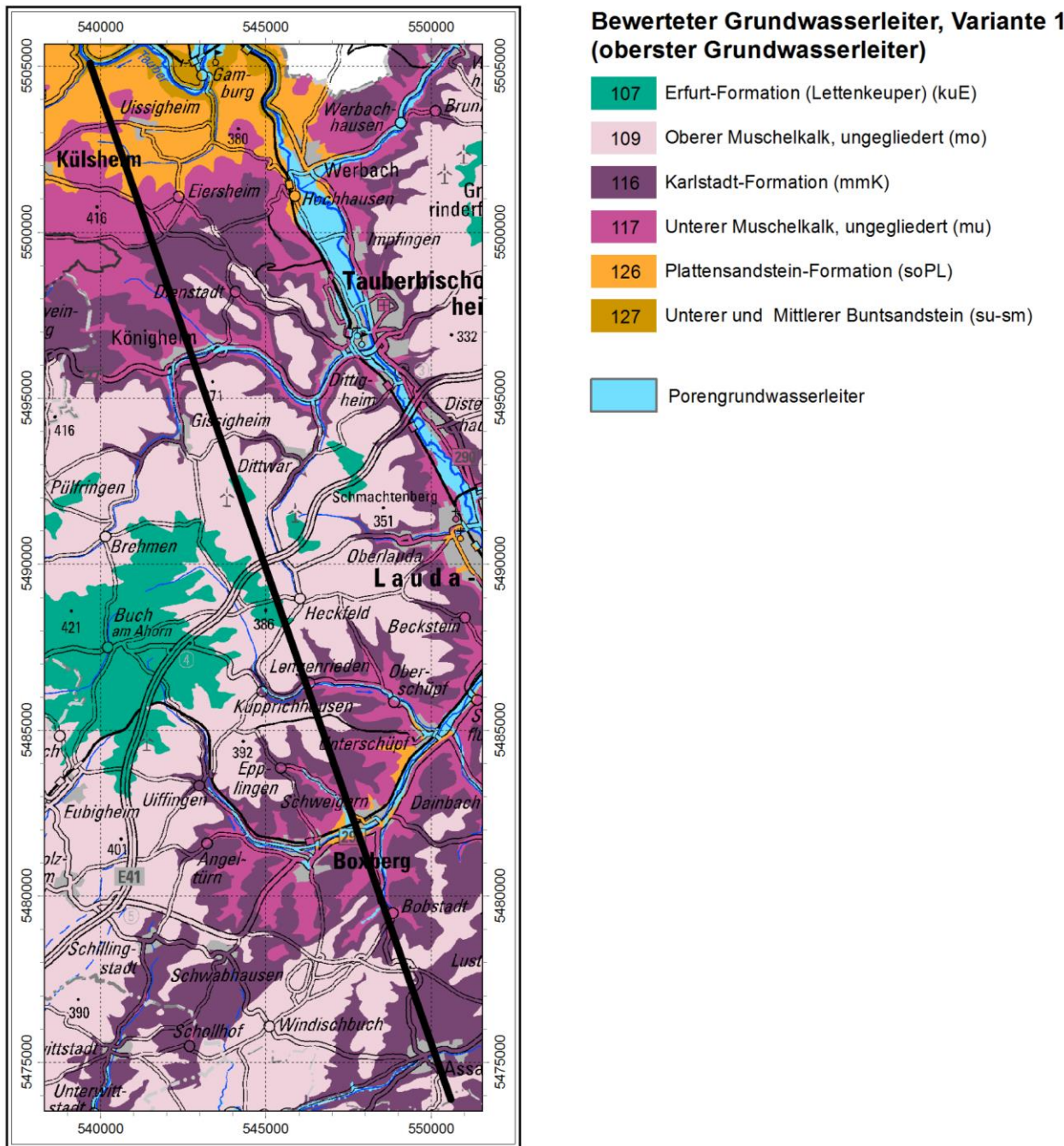


Abbildung 5-19: Bauland/Tauberland: Bewerteter Grundwasserkörper (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts (vgl. hierzu Abbildung 5-20 und Abbildung 5-21).

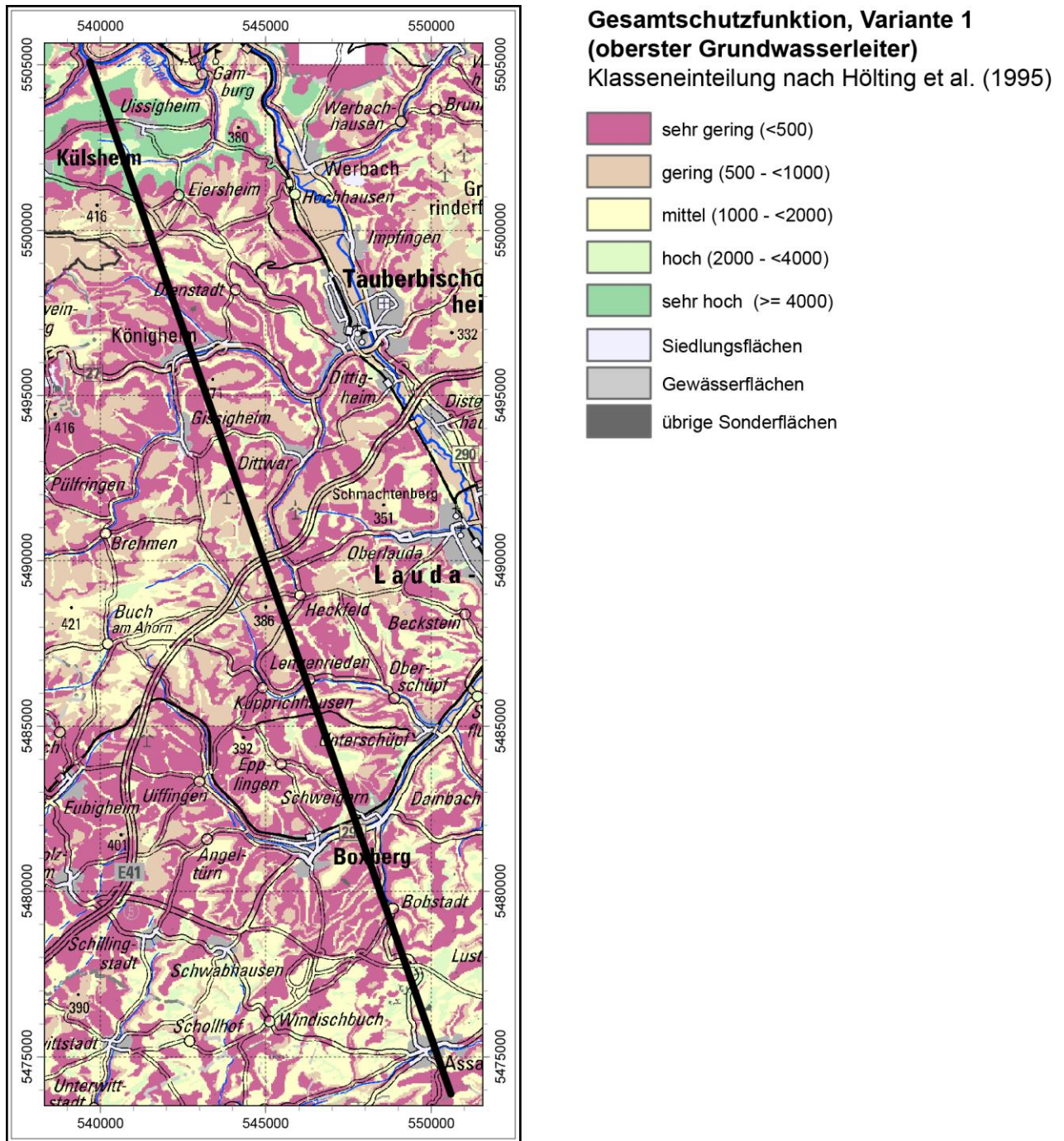


Abbildung 5-20: Bauland/Tauberland: Schutzfunktionsbewertung (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts (siehe Abbildung 5-21, in Klammern: Punktzahl).

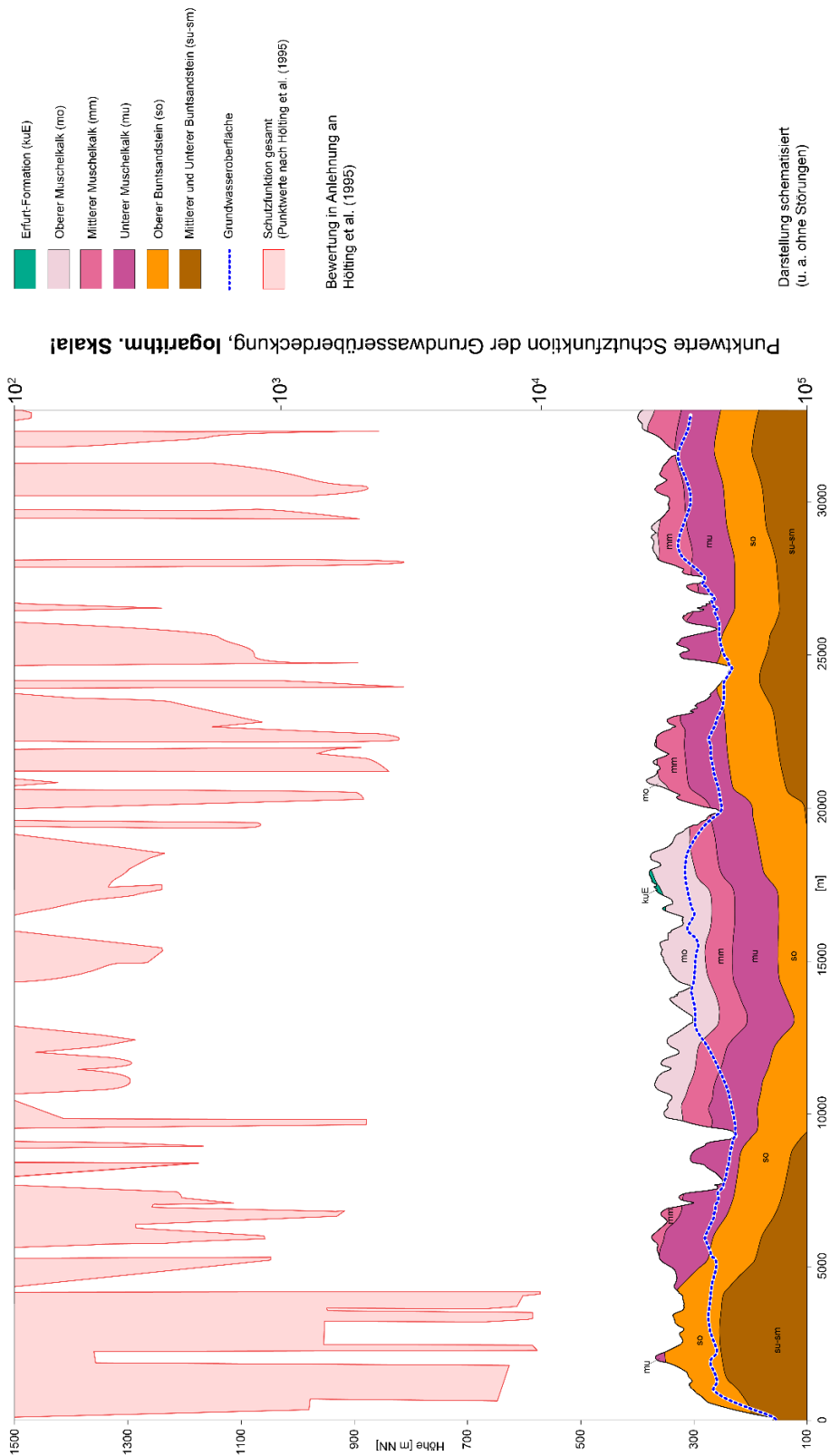


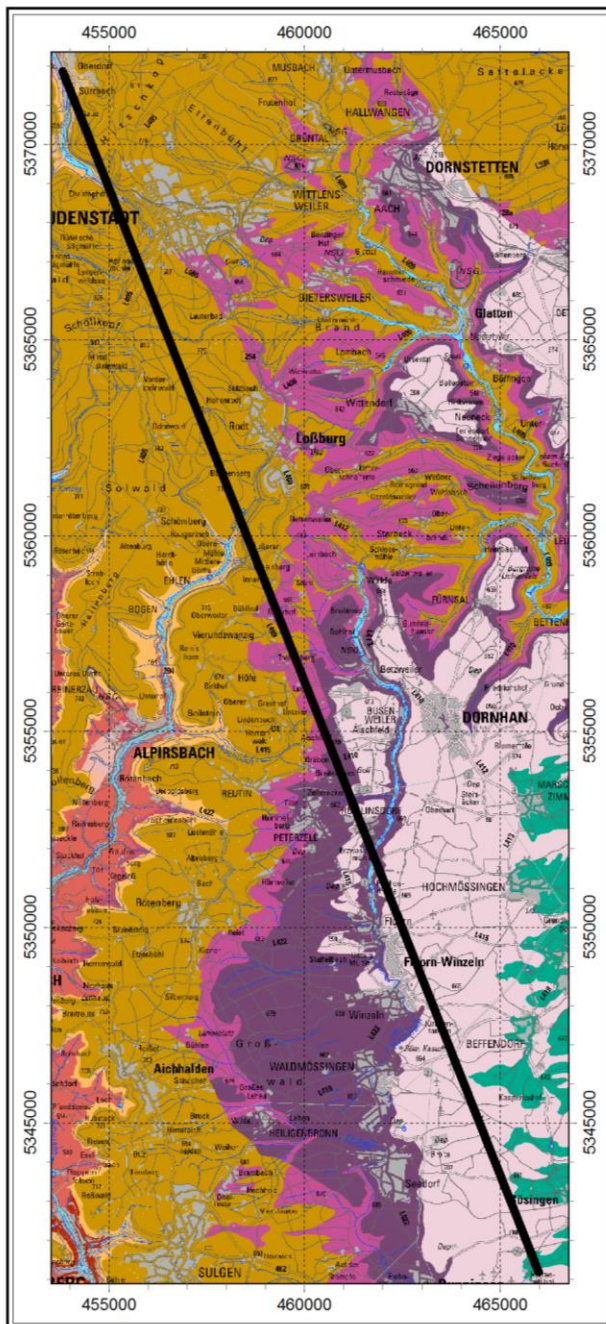
Abbildung 5-21: Bauland/Tauberland: Stark vereinfachtes hydrogeologisches Profil (rechts) sowie räumlich zugeordnete Punkt看te der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (links, logarithm. Skala; Variante 1, strichliert: Grundwasseroberfläche).

5.2.3 Nordschwarzwald

In den Abbildungen 5-22 bis 5-24 ist die Situation beispielhaft für den Nordschwarzwald dargestellt. Dort steht an der Geländeoberfläche die Schichtenfolge vom Kristallinen Grundgebirge bis zur Erfurt-Formation an (Abbildung 5-22). Sie wird bereichsweise von Lösssediment als quartärer Deckschicht überlagert.

Als Grundwasserleiter wurden von Nordwesten nach Südosten bewertet: Unterer und Mittlerer Buntsandstein (su-sm), Unterer Muschelkalk (mu), Karlstadt-Formation (mmK) des Mittleren Muschelkalks (mm) und Oberer Muschelkalk (mo). Im Südosten wird der Obere Muschelkalk bereichsweise von der Erfurt-Formation überlagert (Abbildung 5-22).

Abbildung 5-23 zeigt das klassifizierte Ergebnis der Bewertung der Gesamtschutzfunktion, Abbildung 5-24 den zugehörigen Profilschnitt (Verlauf: siehe Abbildung 5-22). Im Verbreitungsgebiet des Buntsandsteins ist das Grundwasser aufgrund des häufig hohen Flurabstandes gut vor Verunreinigungen von der Erdoberfläche aus geschützt (Schutzfunktionsklasse 5 bzw. 4, sehr hoher bis hoher Schutz). Im Verbreitungsgebiet des Unteren und Oberen Muschelkalks ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung meist sehr gering (SFK 1), im Mittleren Muschelkalk meist mittel (SFK 3). Wird der Obere Muschelkalk von der Erfurt-Formation überlagert, ist das Grundwasser im Oberen Muschelkalk besser geschützt (SKF 2, geringe Schutzfunktion).



**Bewerteter Grundwasserleiter, Variante 1
(oberster Grundwasserleiter)**

- 107 Erfurt-Formation (Lettenkeuper) (kuE)
- 109 Oberer Muschelkalk, ungegliedert (mo)
- 116 Karlstadt-Formation (mmK)
- 117 Unterer Muschelkalk, ungegliedert (mu)
- 127 Unterer und Mittlerer Buntsandstein (su-sm)
- 129 Zechstein (z)
- 130 Rotliegend-Sedimente (rS)
- 131 Rotliegend-Magmatite (rM)
- 133 Karbon (Vulkanit-Komplex) (cVK)
- 136 Variszische Plutone (GP)
- 137 Granitoid- und Diorit-Gabbro-Komplex (Go-DGG)
- 139 Gneis-Migmatit-Komplex (gn)
- Porengrundwasserleiter

Abbildung 5-22: Nordschwarzwald: Bewerteter Grundwasserleiter (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts (vgl. hierzu Abbildung 5-23 und Abbildung 5-24).

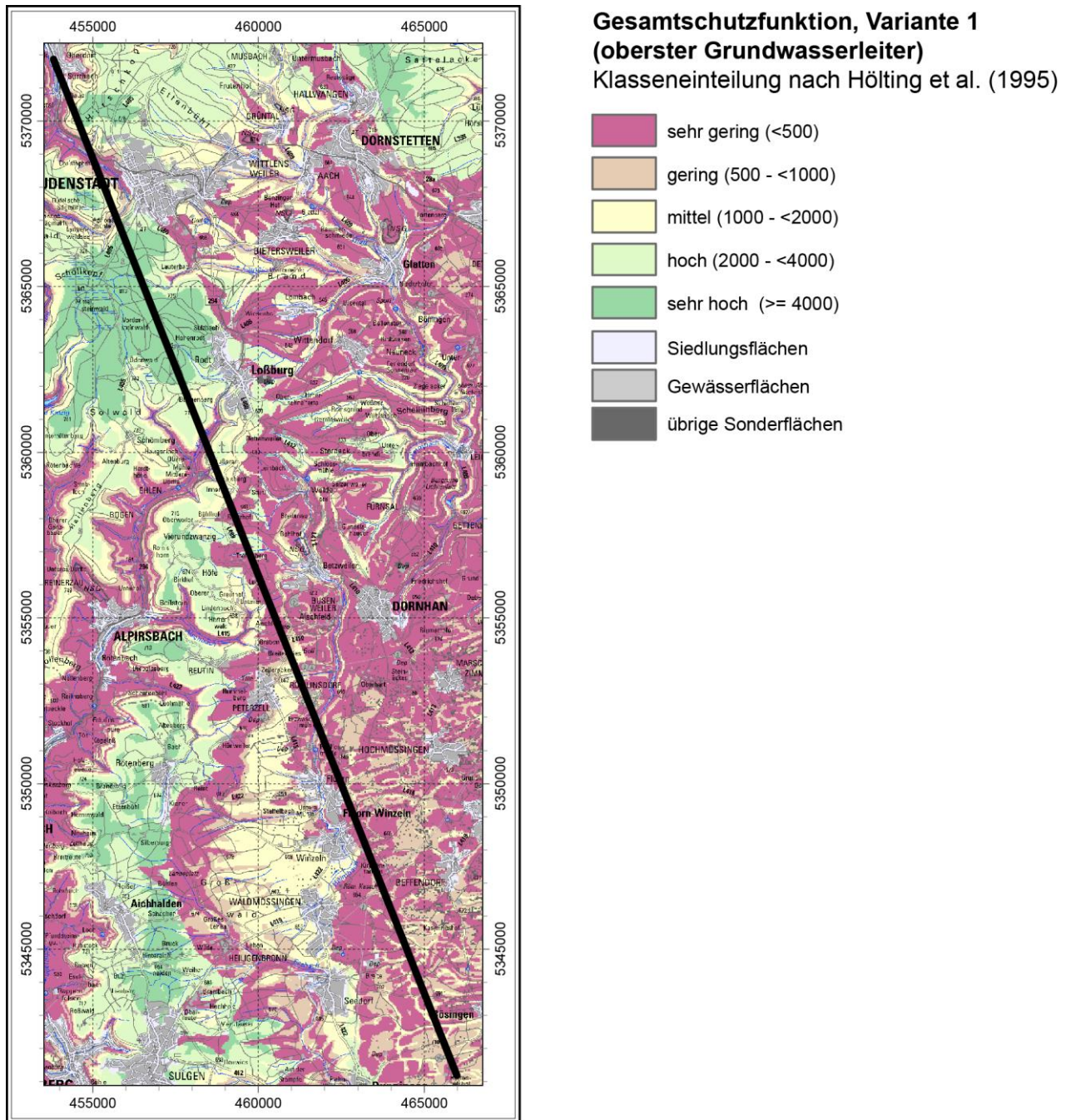


Abbildung 5-23: Nordschwarzwald: Schutzfunktionsbewertung (Variante 1) mit Verlauf des Profilschnitts (siehe Abbildung 5-24) (in Klammern: Punktzahl).

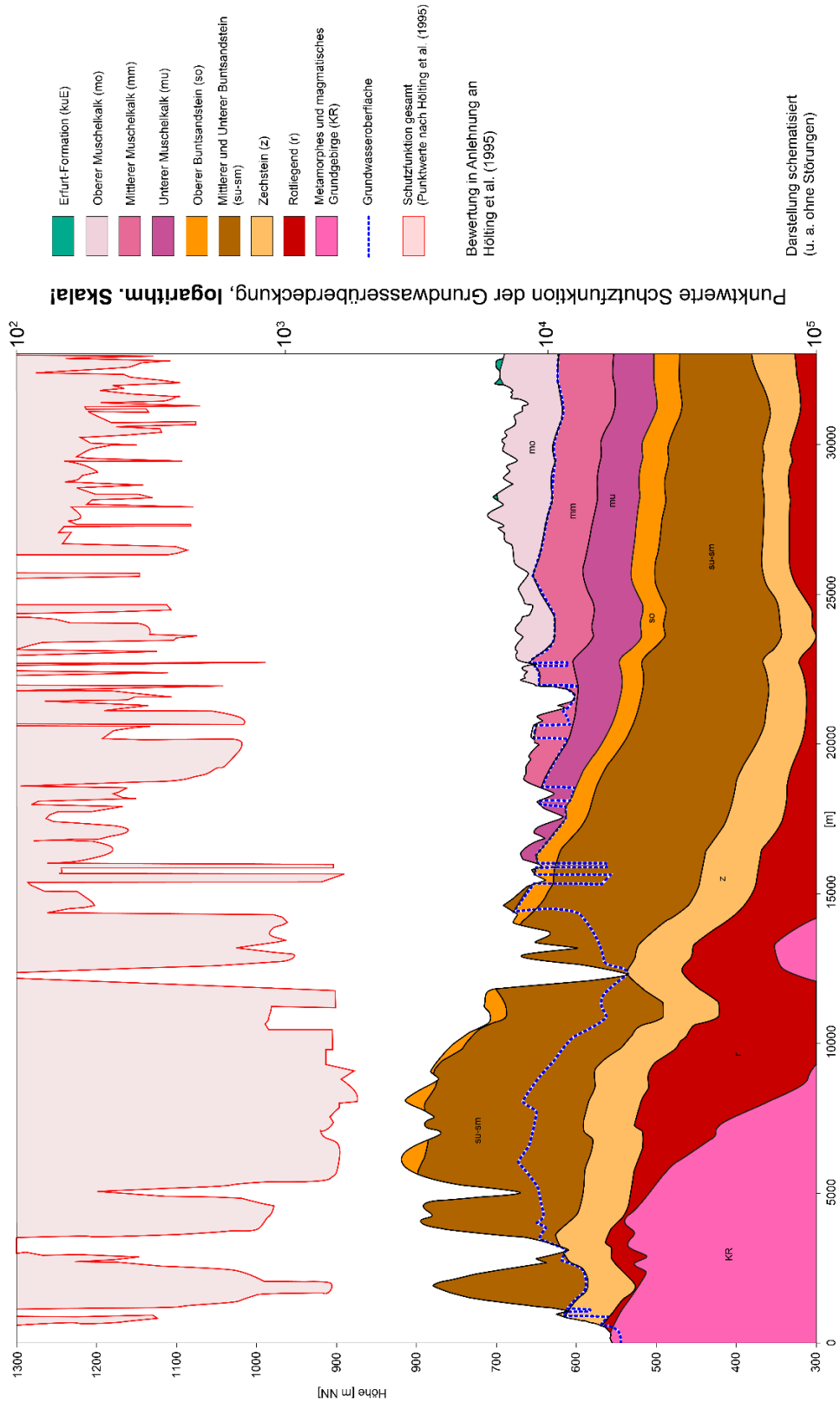


Abbildung 5-24: Stark vereinfachtes hydrogeologisches Profil (rechts) sowie räumlich zugeordnete Punktwerte der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (links, logarithm. Skala; Variante 1, strichliert: Grundwasseroberfläche).

6 Ausblick

Durch den modularen Aufbau des Bewertungsverfahrens können inhaltliche oder geometrische Modifikationen bzw. Erweiterungen in den zugrundeliegenden Datensätzen in der Regel mit vertretbarem Zeit- und Arbeitsaufwand umgesetzt werden. Ebenso können bei Bedarf zusätzliche Bewertungskriterien effizient ergänzt werden.

6.1 Berücksichtigung lateraler Abflusskomponenten

Im Rahmen des Projektes WaBoA (2012) wurde das Modell RoGeR (Runoff Generation Research) entwickelt (Steinbrich et al., 2015, 2016). Das unter ArcView/ARCGIS in hoher räumlicher Auflösung (Rasterzellenweite maximal 5 Meter), weitgehend prozessorientiert rechnende Abflussbildungsmodell wird anhand flächenhaft verfügbarer Daten und Expertenwissen parametrisiert.

Für eine rund 10-jährige Zeitreihe (2006–2017) wurde die langjährige Abflussbildung mit dem erweiterten Modell RoGeR WBM 1D berechnet. Dabei wurden die lateralen Abflusskomponenten, die Grundwasserneubildung (Tiefenperkolatation) und der Grundwasserneubildungs-Index (GWN-I) ermittelt (Steinbrich & Weiler, 2018, 2020). Mittels der Grundwasserneubildungskomponente „Tiefenperkolatation“ können die lokalen bis regionalen Randbedingungen der Grundwasserneubildung räumlich höher aufgelöst charakterisiert werden, als dies durch den Kennwert „Langjähriges mittleres Verhältnis Basisabfluss/Gesamtabfluss“ aus GWN_BW bisher möglich ist, der auf mittelgroße Einzugsgebiete bezogen ist. Hieraus ergeben sich somit auch direkt mittlere Grundwasserneubildungshöhen in hoher räumlicher Auflösung. Der Grundwasserneubildungsindex stellt im Vergleich zum mittleren Verhältnis Basisabfluss/Gesamtabfluss einen moderneren, vergleichsweise stark prozessorientierten Ansatz zur Beschreibung der Abflussbildungsprozesse dar.

Dabei werden vergleichbar der PI-Methode (Goldscheider et al., 2000) sowohl die besonderen Verhältnisse im Karst als auch im reliefierten Gelände berücksichtigt, indem die Sickerwasserrate bereichsweise durch laterale Abflusskomponenten verringert wird (Oberflächen- und Zwischenabflussbildung, vgl. Abbildung 6-1). Dies kann in diesen Bereichen zu einer Verringerung der Grundwasserneubildung und damit zu einer Erhöhung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung führen.

In anderen, morphologisch tiefer liegenden Bereichen, in denen sich Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss konzentrieren und in den Untergrund versickern können, wird die Grundwasserneubildung erhöht (Zuschusswasser). Dies kann in diesen Bereichen zu einer Verringerung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung führen.

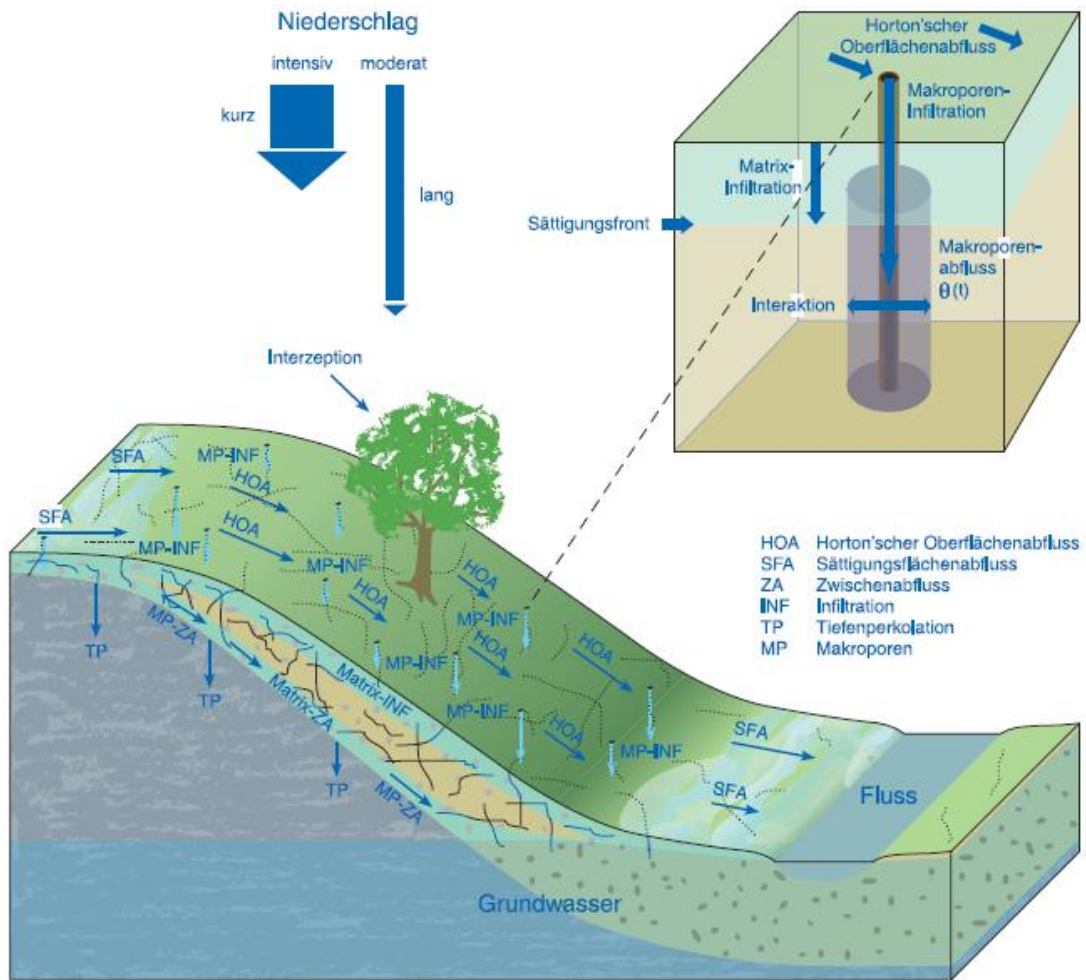


Abbildung 6-1: Prozesse und Komponenten der Abflussbildung: Schemazeichnung (WaBoA, 2012)

Sobald die Ergebnisse dieser Auswertung validiert sind, können sie aufgrund des modularen Aufbaus zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung später an Stelle des originären GWN-BW-Datensatzes in die Berechnungen implementiert werden.

6.2 Aktualisierung des Datensatzes nach Vorliegen der geologischen Karte ohne Deckschichten

Die vorliegende Schutzfunktionsbewertung basiert auf der hydrogeologischen Karte ohne Deckschichten, Bearbeitungsstand Dezember 2016 (HKOd-BW). Derzeit laufen im Referat 92 des LGRB die Arbeiten zur abgedeckten Geologischen Karte. Sobald sie abgeschlossen sind, wird daraus eine aktualisierte HKoD-BW abgeleitet, um die inhaltliche und geometrische Konsistenz dieser beiden Datensätze zu gewährleisten. Darauf aufbauend kann grundsätzlich auch die Schutzfunktionskarte aktualisiert werden.



7 Hinweise zur Nutzung des Datensatzes

Bei der Nutzung des Datensatzes sind folgende Hinweise zu beachten:

- Die Bewertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung bezieht sich auf die Grundwasserleiter, die in den zugehörigen Indexkarten angegeben sind. Beide Informationsebenen sind für eine sachgerechte Bewertung der jeweiligen Schutzfunktionsbewertung untrennbar miteinander verknüpft.
- Güte und Menge der Grundwasservorkommen wurden nicht berücksichtigt.
- Die Schichtmächtigkeiten und Grundwasserflurabstände, die der Schutzfunktionsbewertung zugrunde liegen, beruhen auf regionalisierten Datengrundlagen und sind dementsprechend von unterschiedlicher Genauigkeit.
- Bei den Grundwasserflurabständen ist im Bereich mit einer höheren Dichte der Eingangsdaten (u. a. Grundwassermessstellen, Brunnen, Quellen) von einer höheren Genauigkeit auszugehen (z. B. Oberrheingraben, Oberjura). In Bereichen geringerer Ausgangsdatendichte sowie im Verbreitungsgebiet von hydrogeologischen Einheiten mit heterogener Gesteinszusammensetzung sind die Unsicherheiten größer. Daraus können sich in der Bewertung der lokalen Situation des Schutzpotenzials Unsicherheiten ergeben.
- Der Datensatz wurde für den mittleren Maßstabsbereich erstellt. Für eine kleinräumige bzw. lokale Bewertung der Schutzfunktion sind standortbezogene Betrachtungen erforderlich.
- Die Bewertung bezieht sich nur auf Einträge von der Erdoberfläche. Wird die Grundwasserüberdeckung z. B. im Zuge von Bau- oder Rohstoffabbauvorhaben verringert, ändert sich auch die Einstufung. Dabei ist der Beitrag des Bodens, der bindigen Deckschichten und der übrigen ungesättigten Zone an der Gesamtschutzfunktion zu beachten.
- Die dargestellte Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung berücksichtigt in erster Linie die Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Zone. Dabei können Schadstoffe abgebaut oder langfristig adsorbiert werden. Es gibt jedoch mobile, persistente Stoffe (z. B. CKW, PFC), deren Eintrag in das Grundwasser durch eine geringdurchlässige Grundwasserüberdeckung nicht verhindert, sondern allenfalls verzögert wird.

Das LGRB hat die Daten mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Der Herausgeber übernimmt aber keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Daten und haftet nicht für Schäden des Erwerbers oder Dritter.



8 Verfügbarkeit der Daten

Die Geofachdaten werden kostenfrei als Geodatendienst bereitgestellt und können über den LGRB-Kartenviewer oder den eigenen GIS-Client je nach Bedarf in freier Kombination mit anderen Kartenthemen visualisiert werden. Eine Bestellung der kostenpflichtigen Geodaten ist über den LGRB-Shop möglich. Der LGRB-Fachbericht kann im Downloadbereich kostenfrei heruntergeladen werden.

Internet-Links

LGRB-Kartenviewer: https://maps.lgrb-bw.de/?apps=lgrb&view=lgrb_hyd_sf

LGRB-Dienst: https://produkte.lgrb-bw.de/catalog/list/?wm_group_id=18341

LGRB-Fachbericht: <https://produkte.lgrb-bw.de/schriftensuche/sonstige-produkte/?aid=9>

Literatur

- Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung, Geol. Jb., G2, 3 – 157, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Armbruster V. (2002): Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg. - Freiburger Schriften zur Hydrologie, 17.
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), 3. Lieferung.
- Diepolder G. W. (1995): Schutzfunktion der Grundwasser-Überdeckung. Grundlagen-Bewertung – Darstellung in Karten. GLA Fachberichte 13, S. 5-79. Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (1994): DIN 4049-3. Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. – Berlin (Beuth).
- Einsele G., Heitfeld K.-H., Lempp C. & Schetelig K. (1985): Auflockerung und Verwitterung in der Ingenieurgeologie: Übersicht, Feldansprache, Klassifikation – Einleitender Beitrag. - In: Heitfeld, K.-H. (Hrsg.) (1985): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein, 2–23, Berlin (Springer).
- Ellwanger D. (2000): Verbreitung der quartären grundwasserführenden Lockergesteine. Karte 1 : 200 000. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau [unveröff.]
- Ellwanger D., Wielandt-Schuster U., Franz M. & Simon T. (2011): The Quaternary of the Southwest German Alpine Foreland (Bodensee-Oberschwaben, Baden-Württemberg, Southwest Germany). E&G Quaternary Science Journal Vol. 60, vol. 2-3, 306 – 328.
- Ellwanger D. (2015): Lithostratigraphische Entwicklung des Baden-Württembergischen Rheingletschergebiets: Übertiefe Becken- und Moränenlandschaft. – LGRB-Fachbericht 2015/5, 86 S., 16 Abb., 4 Tab., Freiburg.
- ESRI (2017): Dokumentation ARCGIS. <http://desktop.arcgis.com/de/documentation/>
- EU-GWD (2006): Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. L327/19, 31 S. Off. J. Eur. Communities.
- EU-WFD (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. L327, 73 S. Off. J. Eur. Communities.
- GeORG, Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben. http://www.geopotenziale.org/home/index_html (2013).
- GeoMol, Assessing subsurface potentials of the Alpine Foreland Basins for sustainable planning and use of natural resources. <http://www.geomol.eu/geomol/report?lang=2> (2015).
- Goldscheider N., Klute M., Sturm S. & Hötzl H. (2000): The PI method – a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers. Zeitschrift für angewandte Geologie, 46 (2000) 3: 157–166.
- Heitfeld K.-H. (Hrsg, 1985): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein. 695 S., 397 Abb., Springer Verlag, Heidelberg.
- HGE (2004): Enztal-Pforzheim – Mapped 3. Grundwasserdynamik, Grundwasserhaushalt, Grundwasserschutz. – Hydrogeologische Erkundung Baden-Württemberg, 40 S., 7 Karten, 1 CD-ROM, Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; Stadtkreis Pforzheim; Landratsamt Enzkreis; Gewässerdirektion Nördlicher Oberrhein Bereich Freudenstadt).
- HGK (2010): Argen-Ach-Rinne und Isnyer Becken. – Hydrogeologische Karte Baden-Württemberg, 142 S., 17 Karten, 1 CD-ROM (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr, Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau).

HGN Hydrogeologie GmbH (1998): Forschungsvorhaben Grundwassergeschüttheit im Festgestein Sachsens. Methodisches Konzept zur Ermittlung des Gesteinspunktwerthes für Festgesteine innerhalb des Konzeptes zur Grundwassergeschüttheitsbewertung.

Hölting B. (1992): Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 4. Auflage. Springer Verlag, Heidelberg.

Hölting B., Haertlé T., Hohrberger K.-H., Nachtigall K.-H., Villinger E., Weinzierl W. & Wrobel J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Geol. Jahrb. Reihe C Hydrogeol. Ingenieurgeol. 63, 5–24.

Hötzl H. & Liesch T. (2006): Ermittlung der Grundwassergefährdung mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze. Endbericht Forschungsbericht FZKA-BWPLUS. Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Univ. Karlsruhe.

Interreg II (2001): Erkundung der Grundwasserleiter und Böden im Hochrheintal, Abschlussbericht, 101 S., Waldshut.

Kern F.-J., Wirsing G. & Ross J.-H. (2017): Hydrogeologische Karte ohne Deckschichten von Baden-Württemberg HKoD-BW (Abgedeckte Hydrogeologische Karte). Unveröffentlichter Bericht RPF-LGRB Freiburg.

Köthe R. (2012): Kurz-Dokumentation DGM10 aus Laserhöhenmessungen und Reliefanalyse Baden-Württemberg. Scilands GmbH, Göttingen [unveröff.].

Li R. & Merchant J.W. (2013): Modeling vulnerability of groundwater to pollution under future scenarios of climate change and biofuels-related land use change: A case study in North Dakota, USA. Papers in Natural Resources, DigitalCommons@University of Nebraska.

Magiera P. (2000): Methoden zur Abschätzung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers. Grundwasser, Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 3/2000, 103–114.

Morhard A. (2011): Kurzbeschreibung des Modells GWN-BW. Erweiterungen in Version 2.0. www.hydrosconsult.de/Hydrologie/Bodenwasserhaushalt.

Morhard A. (2012): Kurzbeschreibung des Modells GWN-BW. Bedienung und Erweiterungen in Version 3.x. www.hydrosconsult.de/Hydrologie/Bodenwasserhaushalt.

Prechtel M., Plum H. & Wirsing G (2002): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg [unveröff.].

RPF-LGRB, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2007): Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg), LGRB-Informationen 19, 130 S., 118 Abb., 12 Tab., Freiburg i. Br.

RPF-LGRB, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2008): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. LGRB-Informationen 20.

RPF-LGRB, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2012): Informationssystem Oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg (ISONG). www.geothermie-bw.de.

RPF-LGRB, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2016a): Erläuterungen zum Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG). www.geothermie-bw.de, https://lgrb-bw.de/download_pool/is_geothermie-erlaeuterungen.pdf.

RPF-LGRB, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2016b): Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (ISONG) - Erweiterung um die Gliederung des Untergrundes in Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter. LGRB-Nachrichten 05/2016. https://www.lgrb-bw.de/download_pool/lgrbn_2016-05.pdf.

Schwarz M., Waldmann F. & Wirsing G. (2001): Deckschichtenauswertung Oberrheingraben. Abschlussbericht LGRB im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

Selg M., Armbruster V., Franz M., Plum H., Schloz W., Schwarz M. & Sieber A. (2003): Hydrogeologisches Modell Schwäbische Alb. Untersuchung im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.

Sinnreich M. (2009): Konzept der Vulnerabilität im Grundwasserschutz, Anwendung auf die Verhältnisse der Schweiz. gwa 2/2009.

Steinbrich A., Leistert H. & Weiler M. (2015): Alles RoGeR? Modellierung von Sturzfluten aufgrund von Starkniederschlägen. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, DO 10.14617/for.hydrol.wasbew.35.15, 115–125.

Steinbrich A., Leistert H. & Weiler M. (2016): Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution. *Environmental Earth Sciences*, 2016; 75 (1423), 1–16.

Steinbrich A. & Weiler M. (2018): Forschungsprojekt zur Erarbeitung von Grundlagen für die landesweite Abschätzung der Vulnerabilität von Grundwasser gegenüber Stoffeinträgen durch Sickerwasser und eines flächendetaillierten Grundwasserneubildungs-Index (GwN-I). Abschlussbericht der ersten Projektphase, Professur für Hydrologie der Univ. Freiburg i. Br., Auftraggeber Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg [unveröffentl.].

Steinbrich A. & Weiler M. (2020): Forschungsprojekt zur Erarbeitung von Grundlagen für die landesweite Abschätzung der Vulnerabilität von Grundwasser gegenüber Stoffeinträgen durch Sickerwasser und eines flächendetaillierten Grundwasserneubildungs-Index (GwN-I). Abschlussbericht der zweiten Projektphase. Professur für Hydrologie der Univ. Freiburg i. Br., Auftraggeber Landesanstalt für Umwelt, Baden-Württemberg [unveröffentl.].

UBA, Umweltbundesamt (2002): Charakterisierung der Empfindlichkeit von Grundwasserkörpern. Forschungsbericht 299 22 278, UBA-FB 000251. Umweltbundesamt, Berlin.

WaBoA (2012): Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg.

Waldmann F. (2017): Bodenhydrologische Karte Baden-Württemberg. Fachbericht 2017/02, RPF-LGRB, Freiburg. https://produkte.lgrb-bw.de/docPool/c565_data.pdf.

Wendland F., Berthold G., Fritsche J.-G., Herrmann F., Kunkel R., Voigt H.-J. & Verecken H. (2011): Konzeptionelles hydrogeologisches Modell zur Analyse und Bewertung der Verweilzeiten in Hessen. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*. Springer Verlag, Heidelberg.

Wirsing T., Neukum Ch., Goldscheider N. & Maier M. (2015): Integration der bodenkundlichen Filter- und Pufferfunktion in die hydrogeologische Vulnerabilitätsbewertung. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, 20(2):97–106, DOI 10.1007/s00767-014-0273-5.

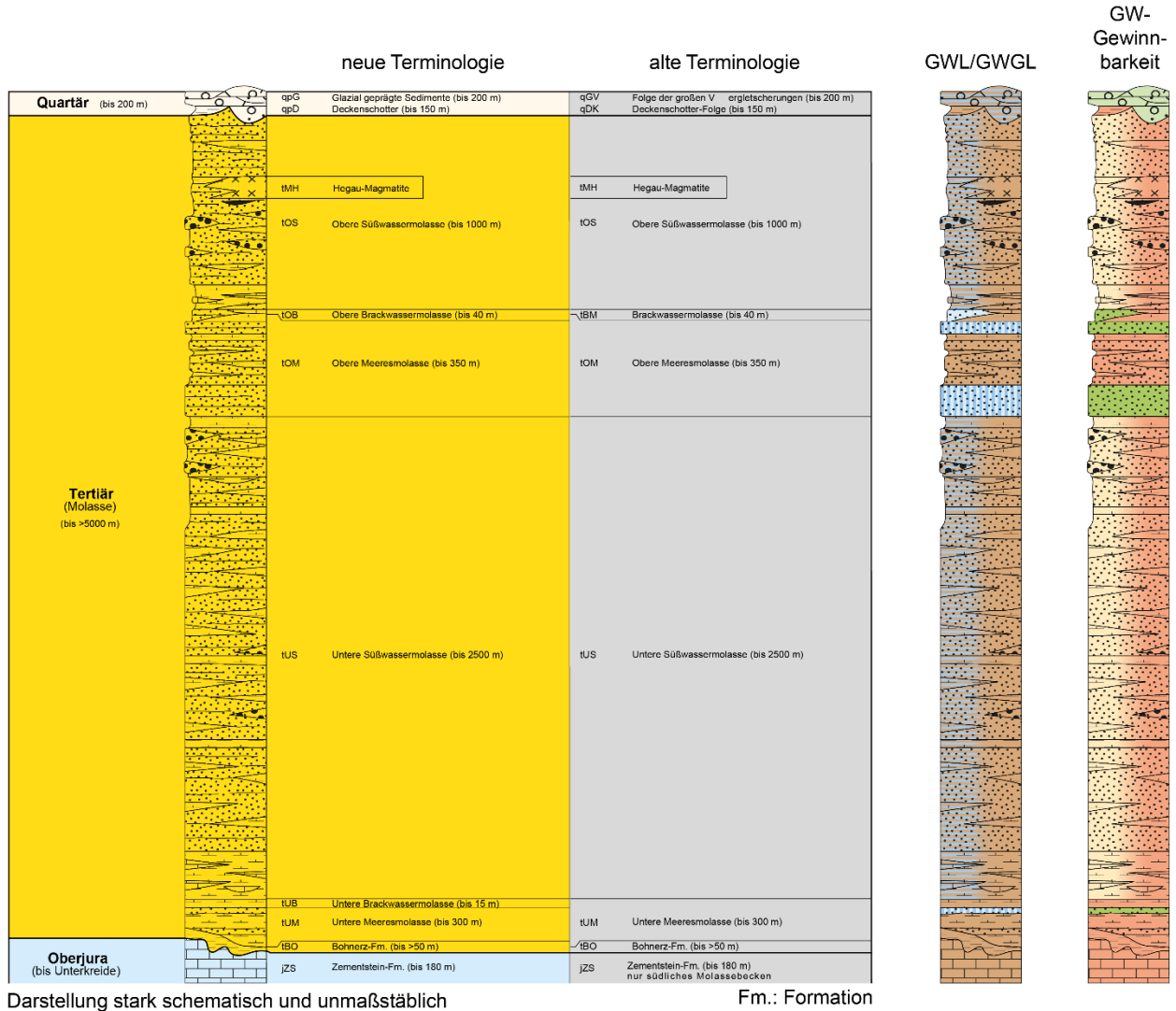


Anhang

Anhang 1: Schematisierte Schichtenfolge in Baden-Württemberg: Säulenprofil mit Zuordnung des Grundwasserleitertyps und der Grundwassergewinnbarkeit.....	100
Anhang 2: Als Grundwasserleiter bewertete quartäre Hydrogeologische Einheiten (HE)	104
Anhang 3: Hydrogeologische Einheiten (HE) mit Deckschichtencharakter.....	105
Anhang 4: Grundwasserleiter (Hydrogeologische Einheiten, HE) in Variante 1 bzw. Variante 2	106
Anhang 5: Übersicht Verbreitungen ISONG (Schichtlagerung/Mächtigkeit)	107
Anhang 6: Lithostratigraphische und chronostratigraphische Gliederung der glazialen und Schmelzwasser-Ablagerungen im südwestdeutschen Alpenvorland (B.-W.).....	108

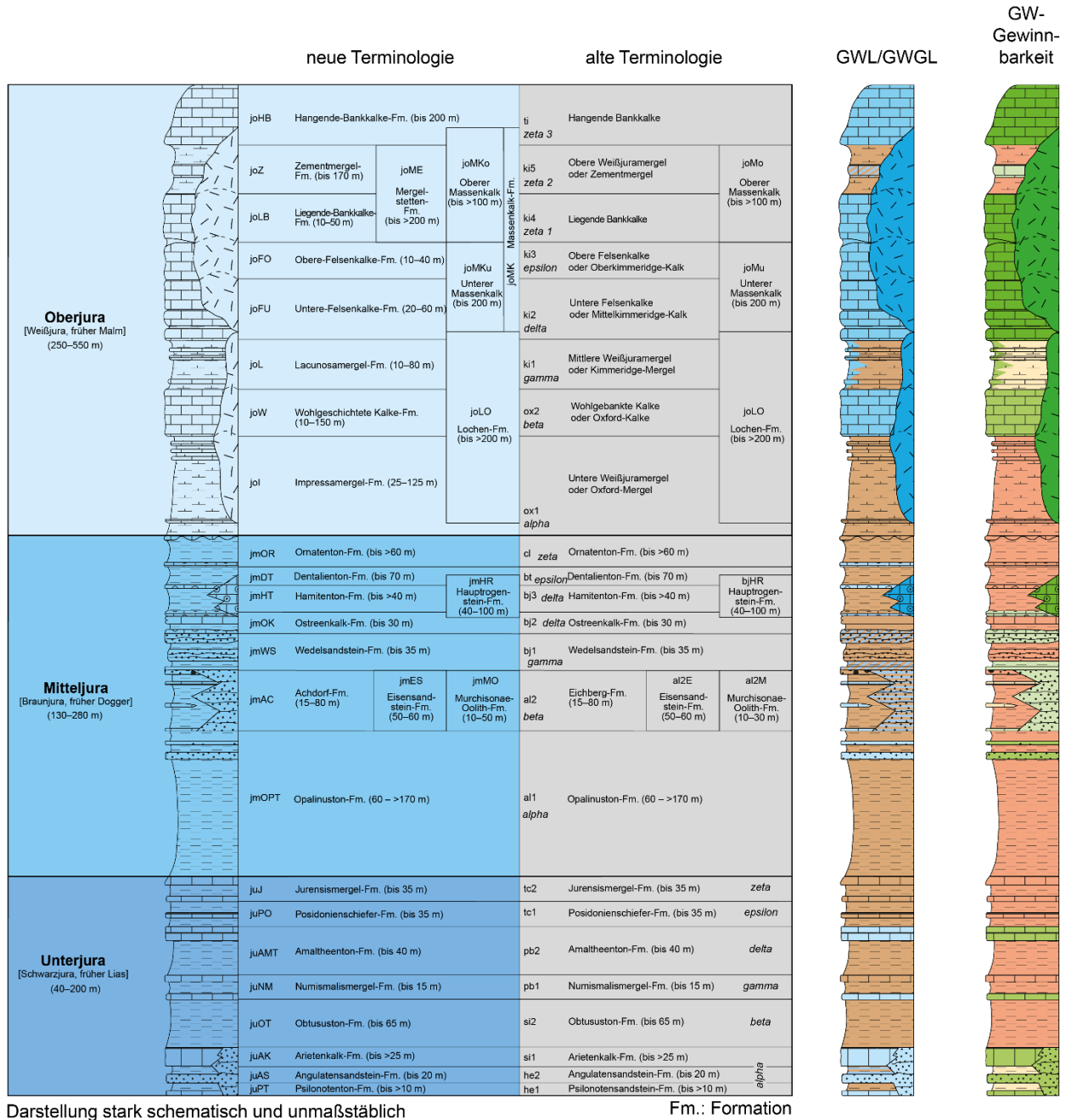
Anhang 1: Schematisierte Schichtenfolge in Baden-Württemberg: Säulenprofil mit Zuordnung des Grundwasserleitertyps und der Grundwassergewinnbarkeit

Anhang 1.1 (Legende: siehe Anhang 1.4)





Anhang 1.2 (Legende: siehe Anhang 1.4)

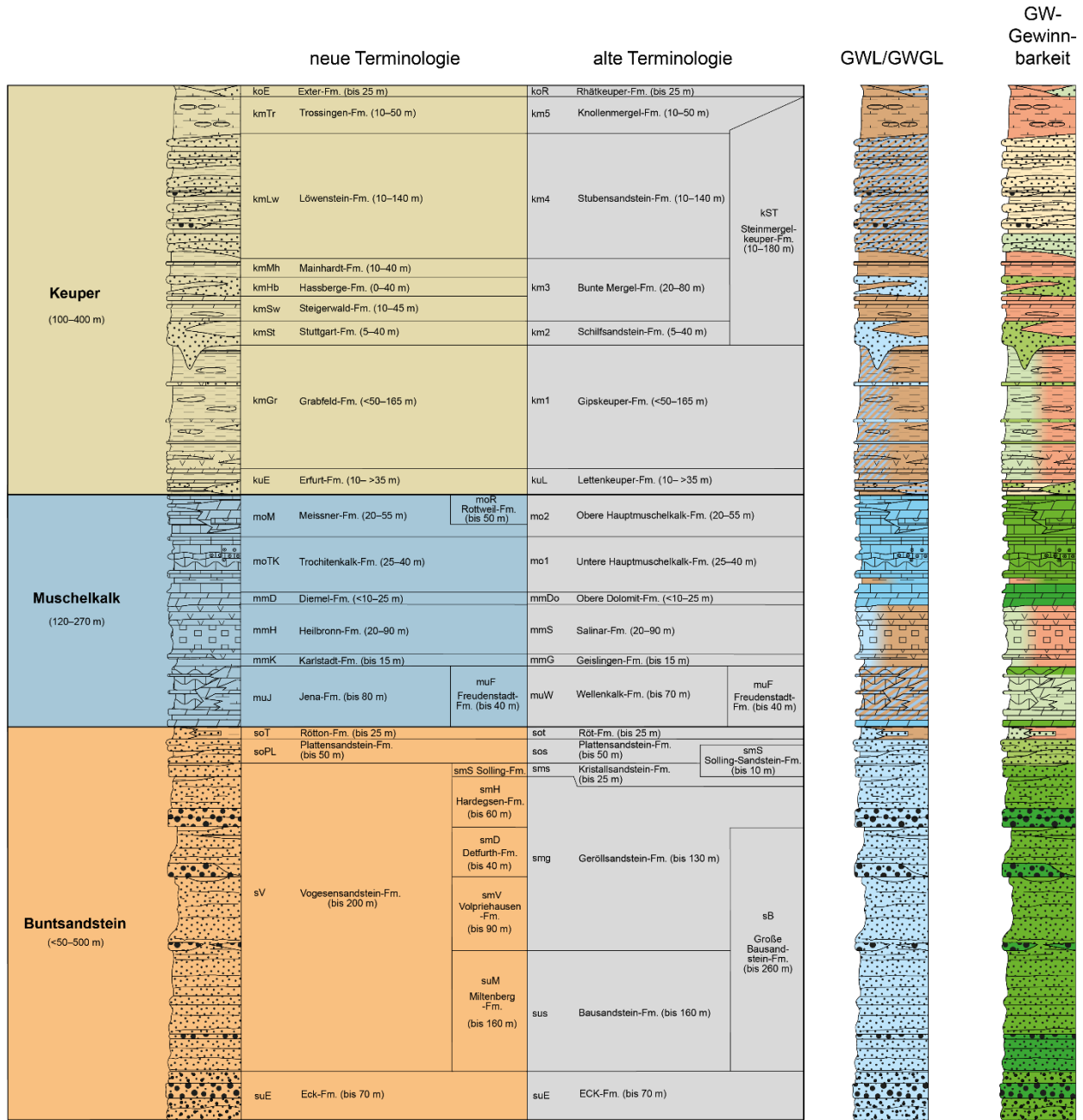


Darstellung stark schematisch und unmaßstäblich

Fm.: Formation



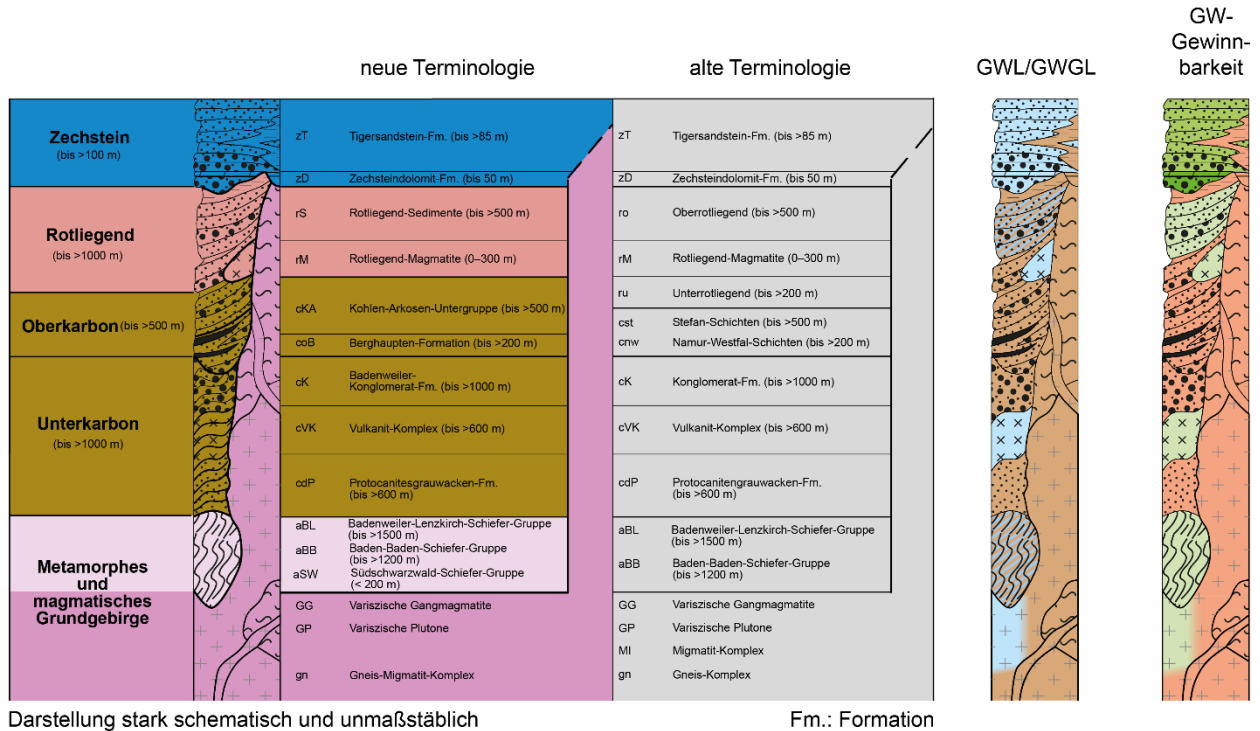
Anhang 1.3 (Legende: siehe Anhang 1.4)



Darstellung stark schematisch und unmaßstäblich

Fm.: Formation

Anhang 1.4



Petrographie

- Kies und Sand
- Kalkstein
- Dolomitstein
- Massenkalk, z. T. dolomitisch
- Mergelstein, Mergel
- Sulfatgestein
- Steinsalz
- Schlufftonstein, Tonstein, Ton
- Sandstein, Sand
- Konglomerat
- Kalkoolith, Eisenoolith
- Kohle
- Vulkanit
- Schiefer, gefaltet
- Gneis, Migmatit
- Plutonit (Granit u. a.)

Grundwasserleiter (GWL)
Grundwassergeringleiter (GWGL)

- Kluft- / Karstgrundwasserleiter
- Kluftgrundwasserleiter
- Karstgrundwasserleiter
- überwiegend schichtig gegliederter Kluft- und / oder Karstgrundwasserleiter
- schichtig gegliederter Grundwasserleiter
- Grundwassergeringleiter

Grundwasser-Gewinnbarkeit

- groß
- mittel
- gering
- mittel bis fehlend
- gering bis fehlend
- fehlend



Anhang 2: Als Grundwasserleiter bewertete quartäre Hydrogeologische Einheiten (HE)

HE_Id	GE/HE	HE_Id
8	qbf	Bach- und Flussablagerung
9	qpTN	Rheingletscher-Terrassenschotter
10	qT	Flusssand und -schotter
11	qRTH	Terrassensedimente (Mittelgebirge)
17	qfbs	Flussbettsand
19	qpHD	Hochrhein-Deckenschotter
20	qpOD	Oberschwaben-Deckenschotter
21	qTV	Talverschüttungssedimente
22	qMA	Mannheim-Formation
26	qORT	Ortenau-Formation
27	qNE	Neuenburg-Formation
31	qIF	Iffezheim-Formation
37	qES	Eiszeitliche Schotter im Alpenvorland
165	qRTN	Rheingletscher-Niederterrassenschotter



Anhang 3: Hydrogeologische Einheiten (HE) mit Deckschichtencharakter (*bereichsweise bei folgenden Randbedingungen: Mächtigkeit kleiner als 5 m, kleiner als Mindestflächengröße nach Grundwasserneubildungsspende; ** in Variante 2

HE_Id	GE/HE	HE_Id
2	qyA	Anthropogene Bildung
3	qum	Verwitterungs-/Umlagerungsbildung
4	qu	Hangschutt
5	qmv	Massenverlagerung
6	qlos	Lößsediment
7	qfss	Flugsandsediment
8	qbf	Bach- und Flussablagerung *, **
10	qT	Flusssand und -schotter *, **
11	qRTH	Terrassensedimente (Mittelgebirge) *, **
12	qse	Junges Seesediment
13	Hm	Moorbildung
14	qsk, tsk	Quartärer und tertiärer Sinterkalk
15	qz	Verschwemmungssediment
16	qAa	Altwasserablagerung
17	qfbs	Flussbettsand *, **
18	qfsh	Hochflutsediment
19	qpHD	Hochrhein-Deckenschotter **
20	qpOD	Oberschwaben-Deckenschotter **
21	qTV	Talverschüttungssedimente **
32	qpS	Sedimente der Schwarzwaldvergletscherung (einschl. Karbildung)
35	qGS	Glazialsedimente
36	qBRG	Beckensedimente des Rheingletschers
37	qES	Eiszeitliche Schotter im Alpenvorland **
42	tOS	Obere Süßwassermolasse, ungegliedert
43	tOB	Obere Brackwassermolasse, ungegliedert
44	tOM	Obere Meeresmolasse, ungegliedert
46	tUS	Untere Süßwassermolasse
48	tBO	Bohnerz-Formation
49	tH	Höhenschotter
56	tX	Impakt-Bildungen
148	tFL	Feuersteinlehm



Anhang 4: Grundwasserleiter (Hydrogeologische Einheiten, HE) in Variante 1 bzw. Variante 2

HE50_Nr	HE50_KUE	LEG_POS	GWL_Var1	GWL_Id	ww_GWL_Var2	ww_GWLId	HE50_NAME
17	qbs	14	qbs	17			Bach- und Flussablagerung
10	qT	15	qT	10			Fluss sand und -schotter
9	qRT	17	qRT	9			Rheingletscher-Terrassenschotter
11	qPTS	18	qPTS	11			Terrassensedimente (Mittelgebirge)
165	qRTN	20	qRTN	165			Rheingletscher-Niederterrassenschotter
19	qHD	21	qHD	19			Hochrhein-Deckenschotter
20	qPOD	22	qPOD	20			Oberschwaben-Deckenschotter
21	qTV	23	qTV	21			Talverschüttungssedimente
22	qMA	24	qMA	22			Mannheim-Formation
26	qORT	27	qORT	26			Ortenau-Formation
27	qNE	28	qNE	27			Neuenburg-Formation
37	qES	36	qES	37			Eiszeitliche Schotter im Alpenvorland
35	qGS	37	qGS	35			Glazialsedimente
41	tMO	41	tMO	41	tMO	41	Molasse, ungegliedert
42	tOS	42	tOS	42	tOS	42	Obere Süßwassermolasse, ungegliedert
43	tOB	44	tOB	43	tOB	44	Obere Brackwassermolasse, ungegliedert
44	tOM	45	tOM	44	tOM	44	Obere Meeremolasse, ungegliedert
46	tUS	47	tUS	46	tUS	46	Untere Süßwassermolasse
50	tOR	56	tOR	50	tOR	50	Oberheringraben-Tertiär, ungegliedert
57	tJM	58	tJM	57	tJM	57	Jüngere Magmatite und Begleitsedimente
59	j	59	j	59	j	59	Jura, ungegliedert
60	jo	60	jo	60	jo	60	Oberjura, ungegliedert
61	joMK	61	joMK	61	jo	60	Massenkalk-Formation
63	joHB	62	joHB	63	jo	60	Hangende-Bankkalk-Formation
64	joME	63	joME	64	jo	60	Mergelstetten-Formation
65	joZ	64	joLB	65	jo	60	Zementmergel-Formation
66	joLB	65	joLB	66	jo	60	Liegende-Bankkalk-Formation
67	joFU-joFO	66	joFU-joFO	67	jo	60	Untere und Obere Felsenkalk-Formation
68	joL	68	joL	68	jo	60	Lacunosamergerl-Formation
62	joLO	69	joLO	62	jo	60	Lochen-Formation
69	jou	70	jou	69	jo	60	Unterer Oberjura
70	joW	71	joW	70	jo	60	Wohlgeschichtete Kalk-Formation
71	jol	72	jmOK	71	jmOK	76	Impressamergerl-Formation
74	jm	75	jm	74	jm	74	Mitteljura, ungegliedert
75	jmHT-jmOR	77	jmOK	75	jmOK	76	Hamitenton-Formation bis Ornatenton-Formation
84	jmHR	78	jmHR	84	jmHR	84	Hauptrogenstein-Formation
76	jmOK	79	jmOK	76	jmOK	76	Ostreenkalk-Formation (Ostalb: Oolithkalk-Formation)
81	jmWS-jmOK	80	jmWS-jmOK	81	jmWS-jmOK	81	Wedelsandstein-Formation und Ostreenkalk-Formation
77	jmWS	81	jmWS	77	jmWS	77	Wedelsandstein-Formation
82	jmMO	82	jmMO	82	jmMO	82	Murchinsonae-Oolith-Formation
78	jmAC	83	juAK	78	juAK	87	Achdorf-Formation
79	jmES	84	jmES	79	jmES	79	Eisensandstein-Formation
80	jmOPT	85	juAK	80	juAK	87	Opalinuston-Formation
86	juOT-juJ	87	juAK	86	juAK	87	Obtususton-Formation bis Jurensismergel-Formation
87	juAK	88	juAK	87	juAK	87	Arietenkalk-Formation (mit Gryphaensandstein-Formation in der Ostalb)
90	juPT-juAK	89	juPT-juAK	90	juPT-juAK	90	Psilonotenton-Formation Angulaten sandstein und Arietenkalk-Formation
88	juAS	90	juAS	88	kmLw	98	Angulaten sandstein-Formation
89	juPT-juAT	91	ko	89	kmLw	98	Psilonotenton- und Angulaten-Formation
58	mes	94	mes	58	mes	58	Mesozoikum, ungegliedert
93	k	96	k	93	k	93	Keuper, ungegliedert
94	ko	97	ko	94	kmLw	98	Exter-Formation (Oberkeuper, ungegliedert)
95	km	98	km	95	k	93	Mittelkeuper, ungegliedert
97	kmTr	99	kmLw	97	kmLw	98	Trossingen-Formation (Knollenmergel)
98	kmLw	100	kmLw	98	kmLw	98	Löwenstein-Formation (Stubensandstein)
99	kmLw	101	kmHb	99	kmHb	102	Löwenstein-Formation (Stubensandstein) in Hochrheinfläzes
147	kmMh	102	kmHb	147	kmHb	102	Mainhardt-Formation (Obere Bunte Mergel)
100	kmSw-kmMh	103	kmHb	100	kmHb	102	Steigerwald- bis Mainhardt-Formation, ungegliedert
102	kmHb	104	kmHb	102	kmHb	102	Hassberge-Formation (Kieselsandstein)
101	kmSt	105	kmSt	101	kmSt	103	Steigerwald-Formation (Untere Bunte Mergel)
103	kmSt	106	kmSt	103	kmSt	103	Stuttgart-Formation (Schillsandsteine, Dunkle Mergel)
104	kmGr	107	kmGr	104	kmGr	104	Grabfeld-Formation (Gipskeuper)
107	kuE	110	kuE	107	me	109	Erfurt-Formation (Lettenkeuper)
108	m	111	m	108	m	108	Muschelkalk, ungegliedert
109	mo	112	mo	109	mo	109	Oberer Muschelkalk, ungegliedert
113	mm	116	mmK	113	su-sm	127	Mittlerer Muschelkalk, ungegliedert
114	mmD	117	mmK	114	su-sm	127	Diemel-Formation
115	mmH	118	mmK	115	su-sm	127	Heilbronn-Formation
116	mmK	119	mmK	116	su-sm	127	Karlstadt-Formation
117	mu	120	mu	117	su-sm	127	Unterer Muschelkalk, ungegliedert
118	muS	121	so	118	su-sm	127	Horizont der Schaumkalkbänke
120	s	123	s	120	su-sm	127	Buntsandstein, ungegliedert
121	so	124	so	121	su-sm	127	Oberer Buntsandstein, ungegliedert
122	soT	125	so4Q	122	su-sm	127	Rötton-Formation
123	so4T	126	so4Q	123	su-sm	127	Obere Rötone
124	so4Q	127	so4Q	124	su-sm	127	Rötquarzit
125	so3T	128	soPL	125	su-sm	127	Untere Rötone
126	soPL	129	soPL	126	su-sm	127	Plattensandstein-Formation
127	su-sm	130	su-sm	127	su-sm	127	Unterer und Mittlerer Buntsandstein
128	p	131	z	128	gn	139	Perm., ungegliedert
129	z	132	z	129	gn	139	Zechstein
131	rM	133	rM	131	gn	139	Rotliegend-Magmatite
130	rS	134	rS	130	gn	139	Rotliegend-Sedimente
132	cS	135	cVK	132	gn	139	Karbon-Sedimente
133	cVK	136	cVK	133	gn	139	Karbon (Vulkanit-Komplex)
138	aSF	137	GG	138	gn	139	Alte Schiefer
135	GG	138	GG	135	gn	139	Variszische Gangmagmatite
136	GP	139	GP	136	gn	139	Variszische Plutone
137	Go-DGG	140	Go-DGG	137	gn	139	Granitoid- und Diorit Gabbro Komplex
139	gn	141	gn	139	gn	139	Gneis-Migmatit-Komplex
140	HYTH, ktu	142	HYTH, ktu	140			Hydrothermalgang, Ultrakataklit

Anhang 5: Übersicht Verbreitungen ISONG (Schichtlagerung/Mächtigkeit)

Übersicht über hydrogeologische Grenzen im 3D-Modell									
Nr	Schichtlagerung		ISONG 2	ISONG 3	ISONG 4	ISONG 5	HE 500	HK50 GWL	Bemerkung
s21	ungesättigte Zone		x	x	x	-			GW-Stand teilw. vorhanden
s22	Basis Quartär	bq	x / -	x	x	-	ja	ja	überdeckte Kieskörper in Isong 2
s30	Basis Tertiär	bt	x	n.v.	x	n.v.			
s31	Basis tOS	btOS	x	n.v.	n.erfor.	n.v.			
s32	Top Baltringen-F.	ttBA	x	n.v.	n.erfor.	n.v.			
s33	Basis Baltringen-F.	btBA	x	n.v.	n.erfor.	n.v.			
s34	Top Heidenlöchersch.	ttHE	x	n.v.	n.erfor.	n.v.			
s35	Basis Heidenlöchersch.	btHE	x	n.v.	n.erfor.	n.v.			
s36	Basis tUS	btUS	x	n.v.	n.erfor.	n.v.			
s37	Top Zementmergel-F.	tjoZ	-	n.v.	-	n.v.		ja	Fläche in Isong4 klein
s38	Basis Zementmergel-F.	bjoZ	-	n.v.	-	n.v.		ja	Fläche in Isong4 klein
s39	Top Lacunosamergel-F.	tjoL	-	n.v.	-	n.v.		ja	Fläche in Isong4 klein
s39,3	Basis Lacunosamergel-F.	bjoL	-	n.v.	-	n.v.		ja	Fläche in Isong4 klein
s40	B. Wohlgesch. Kalke-F.	bjoW	x	n.v.	x	n.v.		ja	
s40,3	Basis Oberjura	bjo	-	n.v.	-	n.v.		ja	Fläche in Isong4 klein
s41	Top Ostreenkalk-F.	tjmOK	tief	-	-	-		ja	
s42	Basis Wedelsandstein-F.	bjmWS	tief	-	-	n.erfor.		reg.	* (1)
s43	Top Opalinuston-F.	tjmOPT	tief	-	x	-		reg.	
s44	Basis Opalinuston-F. (Basis Mitteljura)	bjm	tief	-	x	-			* (2) mit Wasserfallschichten
s44,3	Top Arietenkalk-F.	tjuAK	tief	-	-	-		ja	* (2b)
s44,6	Top Angulatensands./t.	tjuAS/tjuAT	tief	-	-	-		reg.	* (3) nur Verbreitung juAK
s44,9	Basis Angulatensands./t.	bjuAS/bjuAT	tief	-	n.erfor.	-		reg.	* (3) nur Verbreitung juAS
s46	Basis Unterjura	bju	tief	x	x	-	ja	reg.	
s47	Basis Exter-Formation (Rhäts.)	bkoE		-	n.v.	-		reg.	* (3) nur Verbreitung bkoE
s48	Top Löwenstein-F.	tkmLw	tief	-	-	-		ja	
s49	Basis Löwenstein-F.	bkmLw	tief	-	-	-		ja	
s51	Top Hassberge-F. (Kiesels.)	tkmHb	tief	-	n.v.	-		reg.	
s52	Basis Hassberge-F.	bkmHb	tief	-	n.v.	-		reg.	nur Verbreitung kmHb
s56	Top Stuttgart-F.	tkmSt	tief	-	x	-		reg.	
(s50/s53)/s55	Basis Stuttgart-F.	bkmSt	tief	x	-	-	ja	reg.	(3b) nicht zuverl. modellierbar
s65	Basis Grabfeld-F.	bkmGr	tief	x	x	-		ja	
s70	Basis Unterkeuper	bku	tief	x	x	-	ja	ja	
s75	Top Haßmersheim-Sch.	tmoH	tief	x	n.erfor.	-		reg.	
s75,5	Basis Oberer Muschelkalk	bmo	tief	x	x	-			
s80	Basis Diemel-Formation	bmmD	tief	x	x	-		ja	
s90	Basis Heilbronn-Formation	bmmH	tief	x	-	-		ja	*(4)
s95	Basis Karlstadt-Formation (Basis Mittlerer Muschelkalk)	bmm	tief	x	x	-	ja	ja	
s105	Basis Unterer Muschelkalk	bmu	tief	x	x	-	ja	ja	*(5) mit Schaumkalk- und Grenzgelbbank
s106	Basis Rötquarzit	bs04Q	tief	n.v.	n.v.	-		reg.	*(6) nur Verbreitung bso4Q
s107	Basis Oberer Buntsandstein	bso	tief	-	-	-	ja	ja	
s110	Basis Buntsandstein	bsu	tief	x	x	-	ja	reg.	
s115	Basis Zechstein	bz	tief	x	x	-		ja	Tigersandstein/Langenthal-F. mit s zus.
s125	Basis Rotliegend-/Oberkarb.	brco	tief	x	x	-			
	zu modellieren								
	2014 freischalten								
<p>* (1) Ostreenkalk und Wedelsandstein bilden schichtig gegliederte GWL, in Ostwürttemberg (ISONG5) bildet der liegende Eisensandstein (al2) ebenfalls einen schichtig gegliederten GWL, in ISONG3+4 ist hingegen die Achdorf-Formation (al2) ein Grundwasserleiter, dort wäre also die Basis Wedelsandstein zu modellieren</p> <p>ISONG 5: jmOK (schichtig gegl. GWL) ISONG 3+4: jmOK (schichtig gegl. GWL) jmWS (schichtig gegl. GWL) jmWS (schichtig gegl. GWL) jmES (schichtig gegl. GWL) jmAC (GWGL)</p> <p>* (2) die Wasserfallschichten haben eine sehr geringe bis geringe GW-Führung. Sie sind nicht kartiert, nur ggf. in Bohrungen angesprochen</p> <p>* (2b) Costatenkalk/Cymbiumbank nicht kartiert, Information über Vorhandensein könnte in Abh. von Verbreitung des Amaltheentons/Numismalmergels erfolgen</p> <p>* (3) im Süden (ISONG4) ist nur juAK als GWL ausgebildet, darunter sind Arietenot und Psilonototot GWGL und koE ist nicht verbreitet (modellieren: Top/Basis juAK) im Norden (ISONG3+5) ist juAK, juAS und Psilonotenbank verbunden mit koE (Rhätsandstein) als GWL ausgebildet (modellieren: Top juAK und vereinfacht Basis ju; interne Gliederung (welche GWL sind vorhanden) könnte über die Information der Verbreitung von juAK, juAS, juPT und koE abgebildet werden</p> <p>ISONG4 (Süden): juAK (GWL) ISONG 3+5: juAK (GWL) juAT (GWGL) juAS (GWL) juPT (GWGL) mit Psilonotenbank (GWL) juPT (GWGL) mit Psilonotenbank (GWL) kmTR (GWGL) koE (GWL) kmTr (GWGL)</p> <p>* (3b) Die Grenze Basis Stuttgart-F. ist nicht zuverlässig modellierbar, da die Mächtigkeit stark schwankt und nicht bekannt ist, wo genau die mächtigeren Stränge der Flutfazies abgelagert sind</p> <p>* (4) die Karlstadt-Formation ist ca. 10 m mächtig (5-15). Um die Schichtgrenze bmmH nicht modellieren zu müssen, könnte vereinfachend sprachlich auf die Karlstadt-Formation im unteren Bereich des mm hingewiesen werden</p> <p>* (5) Schaumkalk- und Grenzgelbbank (GWL) sind nicht kartiert: Verbreitung/Lage/Mächtigkeit könnte erarbeitet und in die Beschreibung von mu integriert werden</p> <p>* (6) Rötquarzit ist nur im (östlichen?) Odenwald verbreitet mit Mächtigkeiten ca. 25-30 m. Bereichsweise ist er kartiert, bereichsweise nur der so insgesamt</p>									
	Priorität der Schichtgrenze (liegt noch nicht vor)						HE 500	Grenzen der Hydrogeol. Einh. im Übersichtsmaßstab	
	-	hohe Priorität		Grundwasserleiter			HK50	wichtige Grenzen in der HK50	
	-	mittlere Priorität		Grundwassergeringerleiter			GWL	Schicht nicht verbreitet	
	-	geringe Priorität					n.v.	Modellierung der Schicht nicht erforderlich	
							n.erfor.	nur regional relevante Grenze GWL/GWGL	
							reg.	Schichtgrenze liegt vor	
							x		



Anhang 6: Lithostratigraphische und chronostratigraphische Gliederung der glazialen und Schmelzwasser-Ablagerungen im südwestdeutschen Alpenvorland (B.-W.)

Chronostratigraphie		Lithostratigraphie			
		Forma- tionen	Subformationen	Formationen	Subformationen
Holozän	Spätpleistozän	qRT	Rheingletscher-Terrassenschotter	Hasenweiler-Formation qHW	Hasenweiler-Schotter qHWg
				Hasenweiler-Beckensediment qHWb	Hasenweiler-Schotter qHLg
Mittelpleistozän	Eem	qRT	Niederterrassenschotter	Illmensee-Formation qIL	Illmensee-Schotter qILg
				Illmensee-Beckensediment qILb	Illmensee-Schotter qILg
				Dürmentingen-Sfm. qILD	Dürmentingen-Schotter qILDe
Mittelpleistozän	Riß	qRT	Rheingletscher-Hochterrassenschotter	Scholterhaus-Sfm. qDMS	Scholterhaus-Schotter qDMg
				Viisingen-Sfm. qDMV	Viisingen-Schotter qDMV
				Dietmanns-Beckensediment qDIMb	Dietmanns-Schotter qDIMg
Frühpleistozän	Calabrium	qpOD	Oberschwaben-Deckenschotter	Steinental-Formation qST	Steinental-Schotter qST
				Unterpfauzenwald-Till qSTU	Unterpfauzenwald-Till qSTU
				Schrotzburg-Till qSTD	Schrotzburg-Till qSTD
Frühpleistozän	Gelassium	qpOD	Donau-D. qpODD	Steinhausen-Sfm. qSTH	Steinhausen-Schotter qSTH
				Pflummern-Till qDMVP	Pflummern-Schotter qDMVP
				Lichtenegg-Till qSTL	Lichtenegg-Schotter qSTL

Fachberichte

1/2006	(2006)	Hydrogeologische Untersuchungen zur Beurteilung von Tiefbaggerungen durch den Oberen Zwischenhorizont in der Rheinniederung nördlich von Karlsruhe; 66 S., 37 Abb., 7 Tab.	10,- €
6/2006	(2006)	Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg (1. Ausg. 03-2002, überarb. Ausg. 06-2006); 20 S., 1 Abb., 1 Tab., 1 Kt.	10,- €
1/2007	(2007)	Hochauflösende Reflexionsseismik auf dem Rhein und dem Rheinseitenkanal zwischen Mannheim und Rheinfelden; 60 S., 32 Abb., 7 Tab., 1 CD-ROM.	18,- €
1/2008	(2008)	Verweilzeiten des Grundwassers in oberflächennahen Grundwasserleitern in Baden-Württemberg; 31 S., 4 Abb., 5 Tab.	10,- €
2/2008	(2008)	Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg; 28 S., 14 Abb., 2 Tab.	10,- €
2015/1	(2015)	Organische Kohlenstoffvorräte der Böden in Baden-Württemberg; 64 S., 28 Abb., 17 Tab.	*
2015/2	(2015)	Ermittlung langjähriger CO ₂ -Emissionen und Beurteilung der Moore Oberschwabens auf Basis historischer und aktueller Höhennivellements; 44 (+69) S., 15 (+107) Abb., 24 (+3) Tab. (Angaben zum Anhang in Klammern)	*
2015/3	(2015)	Identifikation kleinräumiger Risikogebiete zur Reduzierung der diffusen Phosphateinträge in Oberflächengewässer; 37 S., 27 Abb., 13 Tab.	*
2015/4	(2015)	Lithostratigraphische Entwicklung des baden-württembergischen Rheingletschergebiets: Übertiefe Becken- und Moränenlandschaft; 86 (+19) S., 0 (+16) Abb., 4 Tab. (Angaben zum Abbildungsteil in Klammern)	*
2016/1	(2016)	Paläoböden in quartärgeologischen Sequenzen und als Bestandteil des Solums rezenter Oberflächenböden (... Schichtstufenlandschaft und Alpenvorland ...); 63 S., 19 Abb., 16 Fot., 6 Tab. [Exkursionsführer 35. Jahrestagung AG Paläopedologie].	*
2017/1	(2017)	Periglaziale Lagen – Ansprache und Gliederung in der feldbodenkundlichen Praxis und ihre Bedeutung für die Bodenbildung; 78 S., 11 Abb., 35 Fot., 22 Tab. [Exkursionsführer zum Geländeworkshop der DBG].	*
2017/2	(2017)	Bodenhydrologische Karte Baden-Württemberg 25 (+9) S., 9 (+16) Abb., 5 Tab. (Angaben zum Anhang in Klammern)	*
2019/1	(2019)	Zur Erstellung von Rohstoffkarten als Grundlage der Rohstoffsicherung in Baden-Württemberg 262 S., 180 Abb., 12 Tab.	*

Informationen

...	
Heft 18	(2006)	Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006 – Gewinnung, Verbrauch und Sicherung von mineralischen Rohstoffen; 202 S., 209 + 12 Abb., 15 Tab., 1 Kt.	*
Heft 19	(2007)	Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg); 130 S., 118 Abb., 12 Tab.	* / 10,- €
Heft 20	(2008)	Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg; 106 S., 79 Abb., 21 Tab., 1 Kt.	* / 15,- €
Heft 21	(2008)	Das Geologische Landesmodell von Baden-Württemberg: Datengrundlagen, technische Umsetzung und erste geologische Ergebnisse; 82 S., 36 Abb., 3 Tab. im Anh., 10 Beilage.	* / 15,- €
Heft 22	(2009)	Beiträge zur Lithostratigraphie in Baden-Württemberg; 146 S., 53 Abb., 5 Tab.	* / 15,- €
Heft 23	(2009)	Natürliche Geogene Grundwasserbeschaffenheit in den hydrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg; 192 S., 43 Abb., 55 Tab., 48 Kt.	* / 15,- €
Heft 24	(2009)	Geogene Grundgehalte (Hintergrundwerte) in den petrogeochemischen Einheiten von Baden-Württemberg; 98 S., 62 Abb., 22 Tab., 40 Kt.	* / 15,- €
Heft 25	(2010)	Beiträge zur Geologie und Bodenkunde in Baden-Württemberg; 142 S., 78 Abb., 17 Tab., 1 Beil.	* / 15,- €
Heft 26	(2012)	Die Forschungsbohrung Heidelberg und Beiträge zum Quartär in Baden-Württemberg; 216 S., 107 Abb., 35 Tab., 1 Beil.	* / 20,- €
Heft 27	(2013)	Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/2013 Bedarf, Gewinnung und Sicherung von mineralischen Rohstoffen – Dritter Landesrohstoffbericht; 204 S., 228 Abb., 7 Tab.	* / 10,- €
Heft 28	(2013)	Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben – Fachlich Technischer Abschlussbericht des INTERREG-Projektes GeORG; 103 S., 49 Abb., 7 Tab.	* / 10,- €
Heft 29	(2014)	Geologische Ergebnisse der Geothermiebohrungen Urach 1, Urach 3 und Urach 4; 152 S., 38 Abb., 3 Tab., 2 Anh.	* / 15,- €
Heft 30	(2015)	GeoMol LCA Projektteam (2015): GeoMol – Geopotenziale für die nachhaltige Nutzung des tieferen Untergrundes in den alpinen Vorlandbecken; 142 S., 78 Abb., 22 Tab.	* / 10,- €

Alle oben aufgeführten Schriften sind im LGRB-Online-Shop käuflich zu erwerben.

Preise zuzüglich Versandkosten. Nicht aufgeführte Titel sind zurzeit vergriffen.

* = diese Produkte sind **kostenlos downloadbar** unter <https://produkte.lgrb-bw.de/schriftensuche>