

Anlage 2.1

zum Wasserrechtsantrag des
Beregnungsverbandes Mittlere Elz

Hydrogeologisches Gutachten

im Auftrag des Beregnungsverbandes Mittlere Elz

Bearbeiter: M.Sc. Hydrologie Joscha Schelhorn,

Dipl.-Hyd. Stephen Schrempp

Dezember 2019

GIT HydroS Consult GmbH

Bertoldstr. 61

79098 Freiburg

Tel.: +49 761 211138-10

Fax.: +49 761 211138-29

Inhaltsverzeichnis

1	VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG	8
2	EINLEITUNG.....	10
2.1	Geologie	10
2.2	Porengrundwasserleiter	12
2.3	Kluftgrundwasserleiter	13
2.4	Trennschicht	15
3	BEWERTUNG DER AKTUELLEN DATENGRUNDLAGE IM ELZ-GLOTTER-SCHWEMMFÄCHER.....	16
3.1	Böden im Elz-Glotter-Schwemmfächer	16
3.2	Grundwasserneubildung.....	17
3.3	Aktuelle Wasserrechte für den Elz-Glotter-Schwemmfächer	20
3.4	Neue Erkenntnisse istopenhydrologischer Untersuchungen	21
4	GRUNDWASSERBILANZ	23
4.1	Porenaquifer.....	23
4.1.1	Randzustrom Talausgängen von Elz und Glotter und Randbereiche	25
4.1.2	Grundwasserneubildung	25
4.1.3	Gewässer Infiltration/Exfiltration	26
4.1.4	Versickerung aus dem Poren- in den Kluftgrundwasserleiter	27
4.1.5	Grundwasserentnahme	28
4.1.6	Abstrom	29
4.1.7	Fazit	29
4.2	Verbandsgebiet	29
4.2.1	Randzustrom Talausgängen von Elz und Glotter und Randbereiche	30
4.2.2	Grundwasserneubildung	30
4.2.3	Gewässer Infiltration/Exfiltration	31
4.2.4	Versickerung aus dem Poren- in den Kluftgrundwasserleiter	32
4.2.5	Grundwasserentnahme	32
4.2.6	Grundwasserabstrom nach Westen	32
4.2.7	Fazit	32
4.3	Kluftaquifer	32
4.3.1	Zustrom Schwarzwaldrandverwerfung und Zustrom Emmendingen	33
4.3.2	Zusickerung aus dem Porengrundwasserleiter	34
4.3.3	Zustrom aus Süden (Südosten).....	36

4.3.4	Entnahme	38
4.3.5	Abstrom	38
4.3.6	Fazit	38
5	INTERPRETATION DES VERHALTENS DES PORENGRUNDWASSERLEITERS ZUR BEWERTUNG DES EINFLUSSES DER BEWIRTSCHAFTUNG	39
5.1	Elz Pegel Gutach	41
5.2	Grundwassermessstellen im Elz-Glotter-Schwemmfächer	42
5.2.1	Allgemeine Aussagen	43
5.2.2	Grundwassermessstellen im Bereich Verbandsgebiet	45
5.2.3	Grundwassermessstellen an der Elz.....	47
5.2.4	Grundwassermessstellen an der Glotter.....	49
5.2.5	Grundwassermessstellen Südlicher Aquiferrand.....	49
5.2.6	Grundwassermessstellen am Auslauf der Riegeler Pforte.....	50
5.2.7	Grundwassermessstellen 115/068–8 und 117/068–7	51
6	BEWERTUNG DER BRUNNEN DES BVME.....	52
6.1	Datengrundlage	52
6.2	Bewertung der Brunnen anhand Stichtagsmessung	53
6.3	Einschätzung der maximalen Wasserentnahmen.....	54
6.4	Vergleich zwischen der natürlichen Systementleerung und beregnungsinduzierter Grundwasserabnahme	54
6.5	Bewertung der Brunnen und Einfluss auf Fließgewässer.....	57
6.5.1	Bewertung der Brunnen im Bereich der Glotter	59
6.5.2	Bewertung der Brunnen im Bereich des Feuerbachs	60
6.5.3	Bewertung der Brunnen im Bereich der Elz und Lossele.....	62
7	EINSCHÄTZUNG DER VERSICKERUNG AM HANSWINKELHOF.....	65
8	ERGEBNISSE UND FAZIT	66
8.1	Ergebnisse zu Ermittlung und Bewertung der Wasserbilanz und des nutzbaren Grundwasserangebotes	66
8.2	Ergebnisse zu Auswirkungen der beantragten Gesamtentnahme auf den Grundwasserhaushalt	68
8.3	Ergebnisse zur Bewertung Infiltrationsmaßnahme Hanswinkler Hof	70
8.4	Ergebnisse Einfluss Grundwasserentnahmen, auch auf die Oberflächengewässer.....	70
8.5	Bewertung der möglichen Beeinflussung der Oberflächengewässer durch die einzelnen Beregnungsbrunnen.....	72

8.6	Nutzungsinduzierte Absenkungsverhalten des Systems in Zeiten von Niedrigwasserabflüssen und ohne Grundwasserneubildung	73
8.7	Synopse	75
	ANHANG 1: STELLUNGNAHME	77
	ANHANG 2: LITERATURLISTE.....	80
	ANHANG 3: WASSERRECHTE PORENGRUNDWASSLEITER.....	82
	ANHANG 4: WASSERRECHTE KLUFTGRUNDWASSERLEITER.....	83
	ANHANG 5: AUSWERTUNG DER GRUNDWASSERMESSSTELLEN: BEOBACHTUNGSZEITRAUM.....	84
	ANHANG 6: AUSWERTUNG DER GRUNDWASSERMESSSTELLEN: NATÜRLICHE ENTLEERUNG.....	85

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Übersichtskarte des Elz-Glotter-Schwemmfächers mit dem Modellgebieten 1997 vom Poren- und Kluftgrundwasserleiter und schematischen geologischen Strukturen.	10
Abbildung 2: Hydrogeologischer Profilschnitt, Längsschnitt durch das Einzugsgebiet Bauer [2010] Anlage 4a, unverändert.....	11
Abbildung 3 : Hydrogeologischer Profilschnitt, Längsschnitt durch das Einzugsgebiet Bauer [2010] Anlage 4b, unverändert.	12
Abbildung 4: Bodenklassifizierung aus der BUEK 200 (verallgemeinert) für den Elz-Glotter-Schwemmfächer.	16
Abbildung 5: Langjährige mittlere flächenhafte Grundwasserneubildung für den Elz-Glotter-Schwemmfächer. Zusätzlich ist noch das Verbandsgebiet BVME eingezeichnet [Morhard, 2013].	18
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation des Porengrundwasserleiters. Positive Bilanzglieder (Zustrom) sind in grün beschrieben und negative (Abstrom) in rot.	24
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation des Porengrundwasserleiters nur für das Verbandsgebiet. Positive Bilanzglieder (Zustrom) sind in grün beschrieben und negative (Abstrom) in rot.....	31
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation des Kluftgrundwasserleiter. Positive Bilanzglieder (Zustrom) sind in grün beschrieben und negative (Abstrom) in rot.	34
Abbildung 9: Schemaskizzen (A) zum geologischen Modell des Muschelkalks und (B) der Umsetzung im Strömungsmodell von Hydroisotop [2006], unverändert.	37
Abbildung 10: Übersichtskarte für allen Grundwassermessstellen, Brunnen BVME und den Grundwassergleichen für Mittelwasser 86[LfU, 2001]	42
Abbildung 11: Grundwasserverhältnisse im Verbandsgebiet auf Grundlage der Grundwassergleichen von LfU 2001, Stober 1991, der Stichtagsmessung vom 21.06.2019 und die Höhen der Gewässersohle.	57
Abbildung 12: Schematische Brunnenabsenkung mit Absenktrichter von Sass [2007], unverändert.	58
Abbildung 13: Gewässersituation für die Glotter mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.	60
Abbildung 14: Gewässersituation für den Feuerbach mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.	61
Abbildung 15: Gewässersituation der Elz und Lossele bei Buchholz mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.	62

Abbildung 16: Gewässersituation der Elz westlich der Bahnlinie mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.64

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Gegenüberstellung Beitrag flächenhafte GWN im Porengrundwasserleiter und das Verbandsgebiet (Porengrundwasser\Verbandsgebiet= Differenzmenge von Porengrundwasserleiter und Verbandsgebiet).	19
Tabelle 2: Grundwasserbilanz für den Porengrundwasserleiter der Neuinterpretation und der Bilanz von 1997.	24
Tabelle 3: Grundwasserbilanz für den Porengrundwasserleiter für das Verbandsgebiet. .	30
Tabelle 4: Grundwasserbilanz für den Kluftgrundwasserleiter der Neuinterpretation und der Bilanz von 1997.	33
Tabelle 5: Der TBS (Sexau) liegt in großer Entfernung zu den Fließgewässern und beeinflusst diese nicht (vergleiche Abbildung 15)	43
Tabelle 6: Auswertung der Grundwasserstände und „Kurzzeit-Pumpversuche“ der Stichtagsmessung vom 21.06.2019.....	52
Tabelle 7: Berechnung des Absenkttrichters nach Sichard [1928] und nach Kusakin (in Strzodka) aus Sass [2007] für drei verschiedene Fördermengen.	53

ABKÜRZUNGEN

TB = Tiefbrunnen

MB= Mauracher Berg

BVME= Beregnungsverband Mittlere Elz

MVZ= Mittlere Verweilzeiten

GWN = Grundwasserneubildung

GWL= Grundwasserleiter

1 Veranlassung und Zielsetzung

Der Beregnungsverband „Mittlere Elz“ (BVME) mit Sitz in Waldkirch-Buchholz entstand am 09.12.2000 als öffentlich-rechtlicher Wasser- und Bodenverband im Sinne des Wasserverbandsgesetzes – WVG. Der Verbandszweck besteht darin, den Verbandsmitgliedern Beregnungswasser aus Oberflächengewässern und aus Grundwasser zur Verfügung zu stellen und die dazu erforderlichen Anlagen zu errichten, zu betreiben und zu unterhalten. Im Wesentlichen werden landwirtschaftliche Sonderkulturen beregnet [IHS, 2019].

Entsprechend dem bisherigen Wasserrecht vom 24.07.2003 mit nachfolgenden Änderungen erstreckt sich das Verbandsgebiet aktuell auf die Gemarkungen Emmendingen, Emmendingen-Kollmarsreute, Emmendingen-Wasser, Denzlingen, Sexau, Waldkirch und Waldkirch-Buchholz [IHS, 2019]. Das bestehende Wasserrecht endete jedoch am 31.03.2019. Ein neues Wasserrechtsverfahren inklusive Umweltverträglichkeitsvorprüfung und hydrogeologischem Gutachten wird für die Bereitstellung von Beregnungswasser erforderlich [IHS, 2019]. Das Ingenieurbüro Himmelsbach + Scheurer PartG mbB / Müllheim [IHS] wurde mit der Zusammenstellung der Antragsunterlagen beauftragt.

Laut Schreiben LRA v. 27-03-2018 (Frau J. Nopper, Herr S. Bauer) sollen in o.g. hydrogeologischen Gutachten für den Elz-Glotter-Schwemmfächer als Teil des seitens des BVMEs zu erstellenden Wasserrechtsantrages insbesondere folgende Punkte bearbeitet werden:

- Ermittlung und Bewertung der Wasserbilanz und des nutzbaren Grundwasserdargebotes im Verbandsgebiet
- Darstellung der Auswirkungen der beantragten Gesamtentnahme auf den Grundwasserhaushalt und die Trinkwasserversorgung im Verbandsgebiet

Darstellung und Bewertung der lokalen Auswirkungen der (beantragten) Einzelentnahmen insbesondere auf Flächen (außerhalb des Verbandsgebietes), die dem Verband nicht angehören.

- Ergänzend zu den ursprünglich genannten Punkten wurden auf Wunsch des Landratsamtes Emmendingen folgende ergänzende Punkte bearbeitet:
- die Betrachtung des potentiellen Einflusses auf die Oberflächengewässer aufgenommen und
- Abschätzung Einfluss maximaler monatlicher Beregnungsentnahmen
- Eine Bewertung zur Wirksamkeit der bisher angeordneten Versickerung beim Hanswinkelhof lt. Wasserrecht von 2003.

Gemäß Abstimmung mit dem LRA Emmendingen 8ten Januar 2019 wird die gutachterliche Bearbeitung auf die Auswertung / Interpretation der bisherigen, erstellten Untersuchungen und Gutachten beschränkt und damit ausdrücklich im Rahmen dieses Wasserrechtsverfahren auf die Forderung nach einer modellgestützten Bearbeitung verzichtet.

Die Ausarbeitung der vom LRA Emmendingen oben genannten Punkte im hydrogeologischen Gutachten wurden anhand von einer ausführlichen Literaturrecherche, das Aufstellen einer aktuellen Grundwasserbilanz und dessen Diskussion, die Auswertung und Analyse der vorhandenen Grundwassermessstellen über die letzten 30 Jahre und einer Bewertung des Einflusses der beantragten Grundwasserentnahmemenge für den Wasserrechtsantrag.

Die Literaturliste ist im Anhang 2 aufgeführt. Eine Stellungnahme zu den Diskussionspunkten aus dem Ergebnisprotokoll „Besprechungstermin mit Beregnungsverband Mittlere Elz (BVME) und Wasserversorgungsverband (WVV) Mauracher Berg am 19.07.2019“ ist im Anhang 1 angehängt.

2 Einleitung

Der Elz-Glotter-Schwemmfächer zählt zum südlichen Teil des Oberrheingrabens und bildet in der Freiburger Bucht das Grundwassersystem in dieser Region aus. Begrenzt wird das Untersuchungsgebiet durch die vorherrschenden geologischen Strukturen der Schwarzwaldrandverwerfung auf Höhe von Denzlingen im Osten, der Verwerfung der Emmendinger Vorbergzone im Norden, der inneren Rheingrabenverwerfung und dem Nimberg im Westen sowie im Süden anhand der Holzhausen-Reute-Verwerfung. Dies ist in Abbildung 1 schematisch abgebildet.

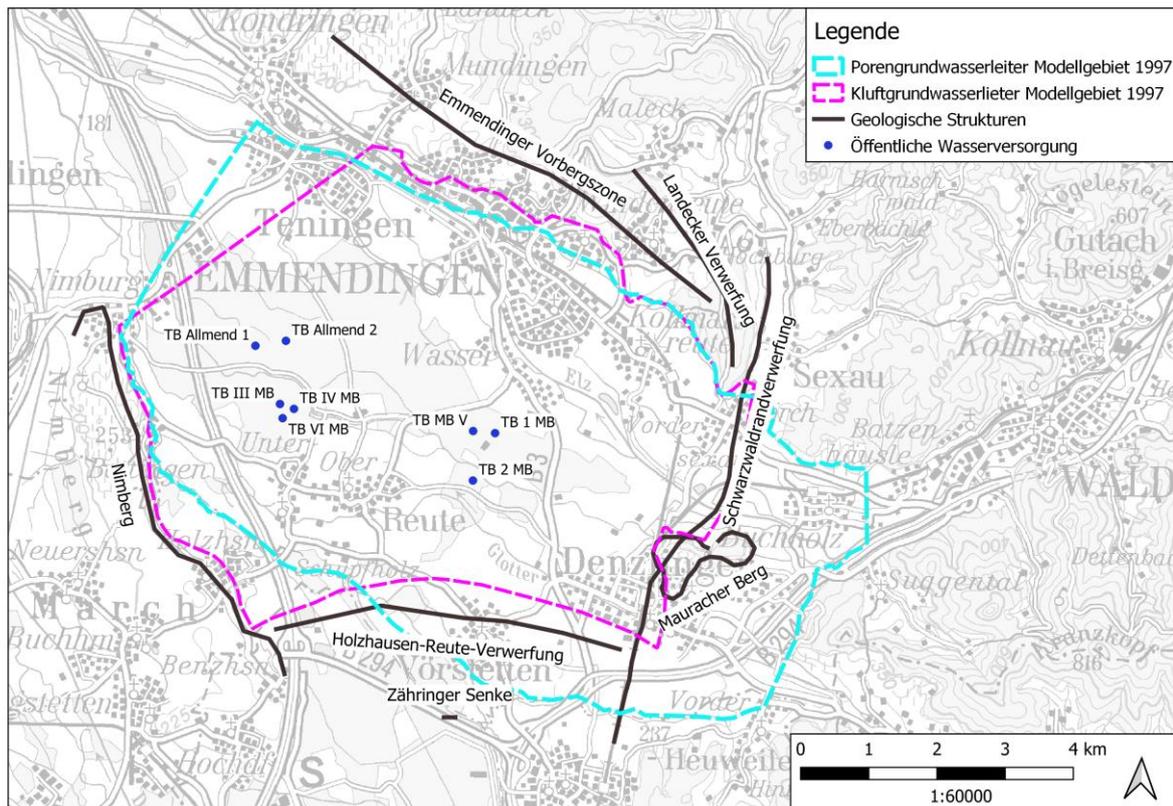


Abbildung 1: Übersichtskarte des Elz-Glotter-Schwemmfächers mit dem Modellgebieten 1997 vom Poren- und Kluftgrundwasserleiter und schematischen geologischen Strukturen.

2.1 Geologie

Die Emmendinger Vorbergzone besteht aus einem zerbrochenen Schollenmosaik aus Muschelkalk und Buntsandstein. Die angrenzende Landecker Verwerfung bildet den morphologischen Rand der Emmendinger Vorbergzone mit Sprunghöhen von bis zu 160 m. Das generelle Schichtfallen der Schollen erfolgt nach Süden bis Südwesten. Die Schwarzwaldrandverwerfung verläuft von Süd nach Nord durch Denzlingen und fällt mit dem Brettenbachtal zusammen [Schrempf, 1997]. Der

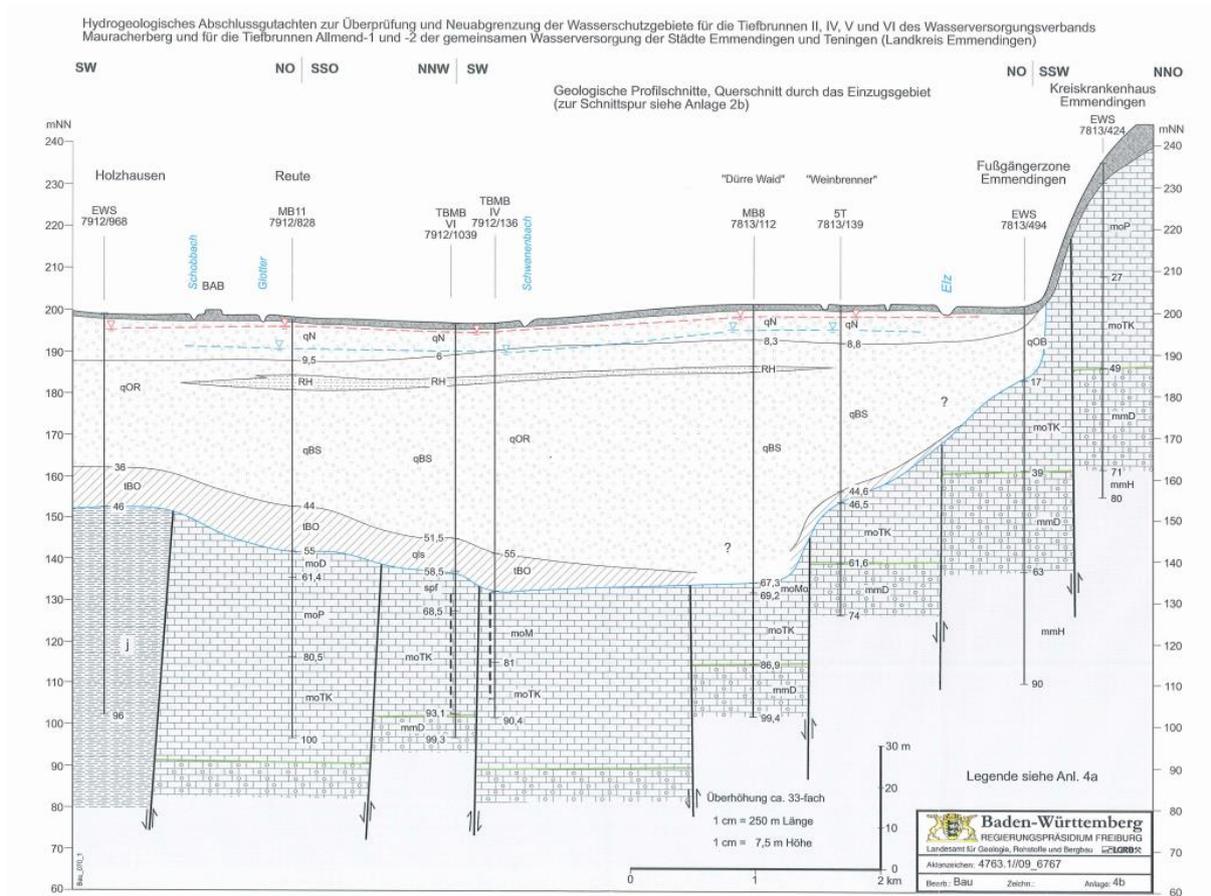


Abbildung 3 : Hydrogeologischer Profilschnitt, Längsschnitt durch das Einzugsgebiet Bauer [2010] Anlage 4b, unverändert.

2.2 Porengrundwasserleiter

Die räumliche Ausdehnung des Quartärkörpers erstreckt sich wie in Abbildung 1 dargestellt und deckt sich mit dem Modellgebiet des numerischen Grundwassermodells für den Porengrundwasserleiter [IHF, 1997]. Entstanden ist der Porengrundwasserleiter hauptsächlich durch die quartären Schwarzwaldkiesablagerungen der natürlich vorkommenden Fließgewässer Elz, Glotter, Schwan, Feuerbach und Brettenbach. Die Kiesablagerungen des Elz-Glotter-Schwemmfächers überdecken sowohl den Muschelkalk als auch das kristalline Festgestein des Schwarzwaldes im Osten des Schwemmfächers und reichen bis in die ansteigenden Schwarzwaldtäler.

Die Mächtigkeiten des Porengrundwasserleiters betragen bis zu 60 m und streichen an den Schwarzwaldtälern sowie an der Emmendinger Vorbergzone aus (vergleiche Abbildung 2 und 3). Die Neuenburg Formation hat überwiegend jungquartäre Schotter mit hohen Durchlässigkeiten. Die darunterliegende Breisgau Formation besteht aus überwiegend schluffigen Kiesen deren Durchlässigkeit

geringer ist [Hydroisotop, 2006]. Aufgrund der Entstehungsgeschichte des vorherrschenden mäandrierenden Fließsystems im Elz-Glotter-Schwemmfächer ist der gesamte Porengrundwasserkörper von rinnenartigen Strukturen mit stark wechselnden Durchlässigkeiten durchzogen. Dadurch ist der ungespannte Grundwasserkörper von erheblichen Inhomogenitäten und Anisotropien geprägt [IHF 1997, GLA 1991].

Bei einem hydraulischen Gefälle von 0.0017 und einer abgeschätzten Porosität von 0.03 ergibt sich eine Fließgeschwindigkeit von 7.8 m/d oder etwa 2860 m/a für den Porengrundwasserleiter [Bauer, 2010]. Hohe charakteristische Durchlässigkeiten von $1.1 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $1.3 \cdot 10^{-3}$ m/s weist das Elz-Brettenbach-System auf, hingegen sind die Durchlässigkeiten am südlichen Rand des Mauracher Bergs mit Werten von $4 \cdot 10^{-4}$ m/s viel geringer [IHF, 1997].

Die hohe Anzahl an Be- und Entwässerungsgräben und kleinen Flussläufen im Untersuchungsgebiet zeugt von einem relativ hohen Grundwasserspiegel und damit verbunden wechselnde Verhältnisse von Ex- und Infiltration der Fließgewässer. Die Entwässerung des Elz-Glotter-Schwemmfächers erfolgt in nordwestlicher Richtung zum Rhein hin. Zum Entwässerungssystem gehören die Fließgewässer Elz, Glotter, Schwan, Feuerbach, Brettenbach und der Kanal der Lossele. Diese bilden ein aus natürlichen und künstlichen Flussläufen bestehendes komplexes Flusssystem, welches größtenteils zur Bewässerung adaptiert wurde [IHF, 1997].

Das Grundwasseralter im Porengrundwasserleiter setzt sich aus jungen Grundwässern mit mittleren Verweilzeiten (MVZ) von Wochen bis wenigen Jahren zusammen und wird aus Uferfiltrat, Randzuströme und Grundwasserneubildung gebildet. Die Grundwasserisotopenzusammensetzung weist auf einen hohen Grundwasserdurchsatz im Porengrundwasserleiter hin [Hydroisotop, 2006; Bauer, 2010].

2.3 Kluftgrundwasserleiter

Die Abgrenzung des Muschelkalkkarstgrundwasserleiters beruht im Wesentlichen auf den Hauptverwerfungen des Elz-Glotter-Schwemmfächers; im Nordosten die Verwerfung der Emmendinger Vorbergzone, im Osten die Rheintalgrabenrand Verwerfung, im Süden die Holzhausen-Reute-Verwerfung und im Westen bildet der Nimburg die Grenze wie in Abbildung 1 mit dem Modellgebiet von 1997 des Kluftgrundwasserleiter dargestellt. Im Osten ist der Kluftgrundwasserleiter aufgrund des angrenzenden kristallinen Schwarzwaldgesteins bei Denzlingen in seiner räumlichen Ausdehnung kleiner als der Porengrundwasserleiter.

Der tektonische Schollenbau des Muschelkalks ist geprägt durch ein stufenweises Absinken Richtung Süden (Zähringer Senke) und Westen (vergleiche Abbildung 2 und 3). An der Emmendinger Vorbergzone tritt der Untere Muschelkalk zutage, im Stadtgebiet von Emmendingen zusätzlich der Obere Muschelkalk und am Nordrand des Wasserer Waldes der Mittlere Muschelkalk. Im südlichen Gebiet bei Reute, verläuft eine Störungszone mit großem Versatz und es steht der Obere Muschelkalk an [Bauer, 2010]. Es bestehen Zweifel über die weitere Verbreitung des Muschelkalks in Richtung Westen und Süden. Dies wird in dem Kapitel 4.2 noch weiter ausgeführt [Bauer, 2010].

Der Muschelkalk weist durch das ausgeprägte Schlotten- und Höhlensystem hohe Durchlässigkeiten auf, welches teilweise wieder mit Lockersedimenten verfüllt ist. Daraus ist über die Zeit ein sehr inhomogenes, hochergiebiges Grundwasserstockwerk entstanden. Es wird davon ausgegangen, dass der Muschelkalkaquifer in weitere kleinräumige Bruchschollen aufgeteilt ist und ein komplexes Grundwasserfließverhalten aufweist [Hydroisotop, 2006]. Beim dem kleinräumigen tektonischen Schollenbau des Muschelkalks neigen nur der obere Muschelkalk und die obere Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks zu starker Verkarstung und sind hochdurchlässig. Hingegen haben die Schichten des Mittleren und Unteren Muschelkalks vergleichsweise geringe Durchlässigkeiten [Bauer, 2010].

Durch die fortgeschrittene Verkarstung sind die Durchlässigkeiten des Kluftgrundwasserleiters größer als die des darüber liegenden Porengrundwasserleiters [IHF, 1997]. Bauer [2010] hat aus Pumpversuchen eine Transmissivität für den Kluftgrundwasserleiter von $0.04 \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt wobei er von einer Mächtigkeit von 25 m ausgeht. Der Kf-Wert von 0.0016 m/s liegt in etwa in der Größenordnung der Kf-Werte des Porengrundwasserleiters. Hydroisotop [2009] errechnet eine mittlere Fließgeschwindigkeit von etwa 15 m/Tag mit denselben Transmissivitäten, einer Porosität von 0.02 und einem hydraulischen Gradienten von 0.002, betont jedoch, dass im Karstsystem mit schwankenden Fließgeschwindigkeiten zu rechnen ist.

Die Grundwässer des Kluftgrundwasserleiters setzen sich hauptsächlich aus zwei Grundwasserkomponenten zusammen. Die erste hat eine relativ hohe mittlere Verweilzeit von 10-25 Jahren, die auf lange Fließstrecken und geringe Fließgeschwindigkeiten hinweisen. Diese Grundwässer sind nicht oder mit erheblicher Verzögerung an die Grundwasserneubildungsprozesse angebunden und wurden im gesamten Gebiet flächig nachgewiesen. Die geringen Sauerstoffisotopenwerte weisen auf hohe Neubildungsanteile aus höhergelegenen Einzugsgebieten bzw. Zeitabschnitte mit hohen Neubildungsanteilen aus Winterniederschlägen hin [Hydroisotop, 2006; Bauer, 2010]. Diese Komponente kann nochmal in eine Komponente mit MVZ gleich 20-25 Jahren, welche aus Ost

und Nordost den Kluftgrundwasserleiter zuströmt und in eine Komponente mit MVZ gleich 10 - 15 Jahre aus Ost und Nordost unterteilt werden [Bauer, 2010].

Die zweite Grundwasserkomponente ist tritiumfrei und wurde somit vor 1953 gebildet. Die Tritiumverteilung im Gebiet lässt ein Zuflussgebiet aus Süden und Südosten hin vermuten, welches aus der Zähringer Senke südlich der Holzhausen Verwerfung kommt und überwiegend frei von anthropogenem Einfluss ist [Hydroisotop, 2006; Bauer, 2010]. Insgesamt ist anhand der Entwicklung der isotopischen Zusammensetzung seit erkennbar, dass das alte, tritiumfreie Grundwasser mit einer mittleren Verweilzeit von >50 Jahren aufgezehrt (abgewirtschaftet) wird und eine Verjüngung des Förderwassers durch die Grundwasserkomponente mit mittlerer Verweilzeit von 10-25 Jahren im Muschelkalkaquifer stattfindet [Bauer, 2010].

2.4 Trennschicht

In weiten Teilen des Elz-Glotter-Schwemmfächers trennt eine pleistozäne Tonschicht den Poren- vom Kluftgrundwasserleiter (vergleiche Abbildung 2 und 3). Diese Trennschicht verhindert einen direkten Austausch durch vertikale Versickerung zwischen den beiden Hauptgrundwasserleitern und ist Grund dafür, dass im Großteil des Gebiets im unteren Grundwasserleiter im Gegensatz zum oberen Grundwasserleiter gespannte Verhältnisse herrschen. Jedoch liegt das Grundwasserpotential unter dem des Porengrundwasserleiters. Die beiden Grundwasserstockwerke stehen in Verbindung und es ist nicht auszuschließen, dass lokal oder regionale ausgebildete Grundwasserstockwerke dazwischen vorkommen und eine Verbindung nur indirekt vonstattengeht [IHF, 1997].

Stellenweise treten jedoch auch Bereiche auf, in denen diese Trennschicht nur noch mit minimaler Mächtigkeit vorhanden ist oder komplett fehlt (vergleiche Abbildung 2 und 3). In diesen Bereichen können hydrogeologische Fenstern vorkommen, wo eine direkte Versickerung möglich ist [IHF, 1997]. Die vermuteten erhöhten Versickerungsbereiche liegen südlich vom Emmendingen bei der Elz, nördlich der Elz zwischen Emmendingen und Buchholz, südlich von Denzlingen, zwischen Vörstetten und Reute und kurz vor der Riegeler Pforte südlich von Teningen [IHF, 1997].

3 Bewertung der aktuellen Datengrundlage im Elz-Glotter-Schwemmfächer

Neuere Datengrundlagen und Erkenntnisse aus den letzten Jahren entwickeln und verändern das Systemverständnis über die letzten Jahrzehnte hinweg helfen bei der Beschreibung des Elz-Glotter-Schwemmfächers. Zudem gibt es aktuellere Berechnungsverfahren und aktuelle Messungen, die mit in die Bewertung des Grundwassersystems einbezogen werden.

3.1 Böden im Elz-Glotter-Schwemmfächer

Die Böden im Elz-Glotter-Schwemmfächer sind maßgeblich das Ausgangssubstrat und den Grundwasserstand geprägt, nur in den höheren Bereichen des Schwemmfächers wiesen die Böden nie Grundwasseranschluss auf. Die heutigen Grundwasserstände weichen aufgrund von menschlichen Eingriffen zum Teil von den Grundwasserständen bei der Entstehung der Böden ab [IHF, 1996b]. Die Klassifizierung der Böden ist vereinfacht in Abbildung 4 zu sehen.

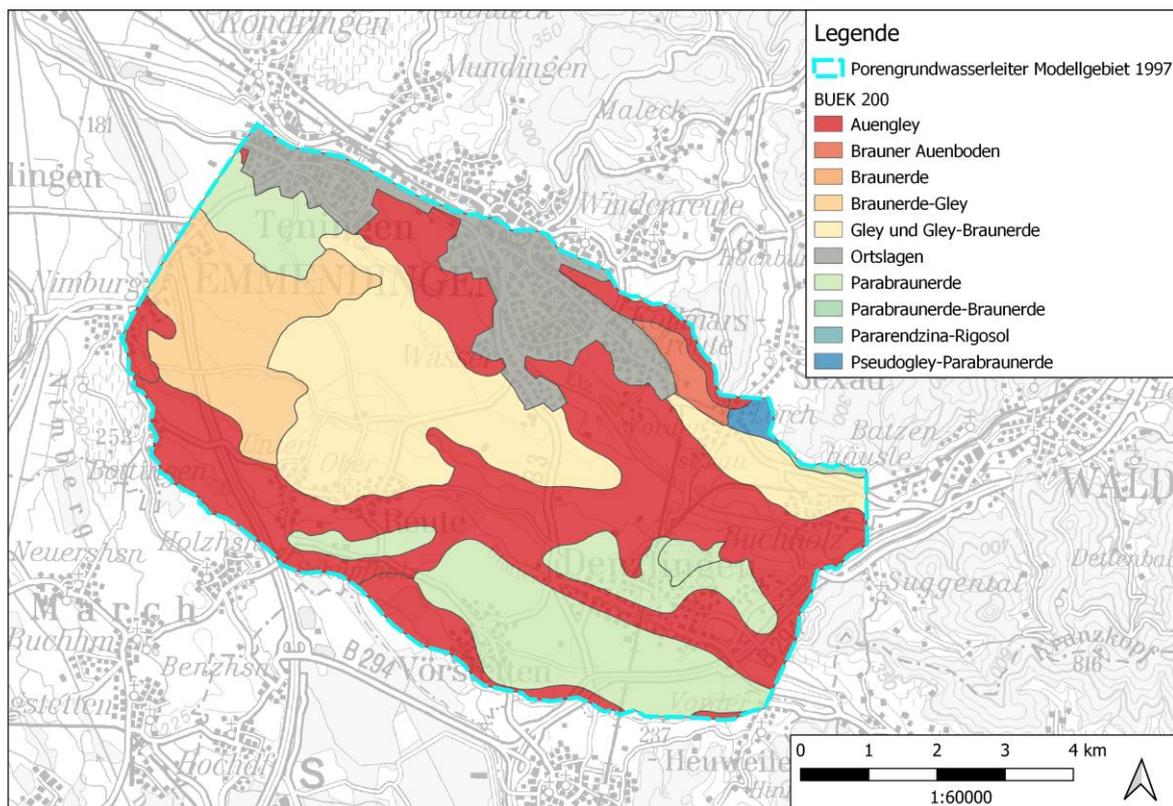


Abbildung 4: Bodenklassifizierung aus der BUEK 200 (verallgemeinert) für den Elz-Glotter-Schwemmfächer.

Auengleye kommen zu großen Teilen im Osten und Süden entlang der Fließgewässer und im Randbereich von Emmendingen vor und zeigen eine geringe bis mittlere nutzbare Feldkapazität (nFK) im Bereich von 90 mm bis 140 mm. Auengleye und Gleye als grundwasserbeeinflusste Böden neigen bei geringer Grundwasserflurabstände zu kapillarem Aufstieg und einer negativen Grundwasserneubildung. Braunerden und Parabraunerden treten vermehrt im westlichen Teil und im Süden des Schwemmfächers und in Bereich Buchholz auf und haben mit mittleren Werten von 140 mm bis 260 mm die größte nutzbare Feldkapazität im Gebiet des Elz-Glotter-Schwemmfächers. Insgesamt sind im Schwemmfächer eher geringe bis mittlere Feldkapazitäten aufzufinden, - verbunden mit einer geringen bis mittleren Schutzfunktion der Böden [IHF, 1997; IHF, 1996b].

3.2 Grundwasserneubildung

Elz, Glotter, Feuerbach, Schwan und alle Bewässerungsgräben tragen durch eine linienhafte Grundwasserneubildung zu etwa einem Viertel zur Grundwasserneubildung bei. Die Gewässersohle von Elz, Glotter, Feuerbach, Schwan besteht aus steinigen, kiesigen und sandigen Ablagerungen. Bei mittleren Abflussverhältnissen ist die Fließgeschwindigkeit so hoch, dass kein toniges oder schluffiges Material abgelagert werden kann. In Niedrigwasserphasen sinkt die Fließgeschwindigkeit ab und es kann zur Sedimentation von Feinmaterial kommen, was zu einer geringen Selbstabdichtung der Sohle beitragen kann. Diese oberflächlich abgelagerte Sedimentationsschicht wird in Hochwasserphasen wieder erodiert und die Durchlässigkeiten entlang der Gewässersohle erhöht sich wieder [IHF, 1996c]. Durch die schnelle Reaktion der Grundwasserstände auf das Abflussgeschehen der Fließgewässer kann von einer erhöhten Grundwasserneubildung aus Uferfiltrat besonders in Hochwasserphasen ausgegangen werden. Diese Aussage stützt sich zudem auf mehrere Pumpversuche im Gebiet [Bauer, 2010]. Auch die Beregnung von Sonderkulturen kann zur Grundwasserneubildung beitragen, aber nur, wenn Oberflächenwasser verregnet wird, denn sonst handelt es sich ja um zuvor entnommenes Grundwasser.

Die flächenhafte Grundwasserneubildung spielt im Elz-Glotter-Schwemmfächer die größte Rolle und ist hauptsächlich abhängig vom Niederschlag.

Der Niederschlag im Elz-Glotter-Schwemmfächer nimmt aufgrund des Reliefs und dem Einfluss des Schwarzwaldes von Westen nach Osten hin zu. Der Niederschlag für die Jahre 1991-2010 variiert zwischen 810 mm/Jahr bei Nimburg und 1067 mm/Jahr bei Waldkirch [Morhard, 2013].

Die flächenhafte Grundwasserneubildung wurde aus Berechnungsergebnissen der im Auftrag der Landesbehörden von Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-

Pfalz durchgeführten KLIWA Langzeitsimulation 1951-2010 [Morhard, 2013] übernommen, bei der es sich um die derzeit aktuellste Fortschreibung des für den Wasser- und Bodenatlas [WaBoA, 2007] entwickelten Landesmodells der LUBW handelt. Verwendet wurde der Mittelwert für die Jahre 1991-2010, d.h. für den Zeitraum nach dem Ende der 80er-Jahre beobachteten markanten Temperaturanstieg ("klimatischer Ist-Zustand"). Bei einer nach Landnutzung, Bodeneigenschaften, Flurabstand und Versiegelungsgrad differenzierten Grundwasserneubildung ergibt sich für den Elz-Glotter-Schwemmfächer mit einer Fläche von etwa 57 km² eine Grundwasserneubildung von 457 l/s. Eine mögliche Erhöhung durch Bewässerung wurde nicht berücksichtigt.

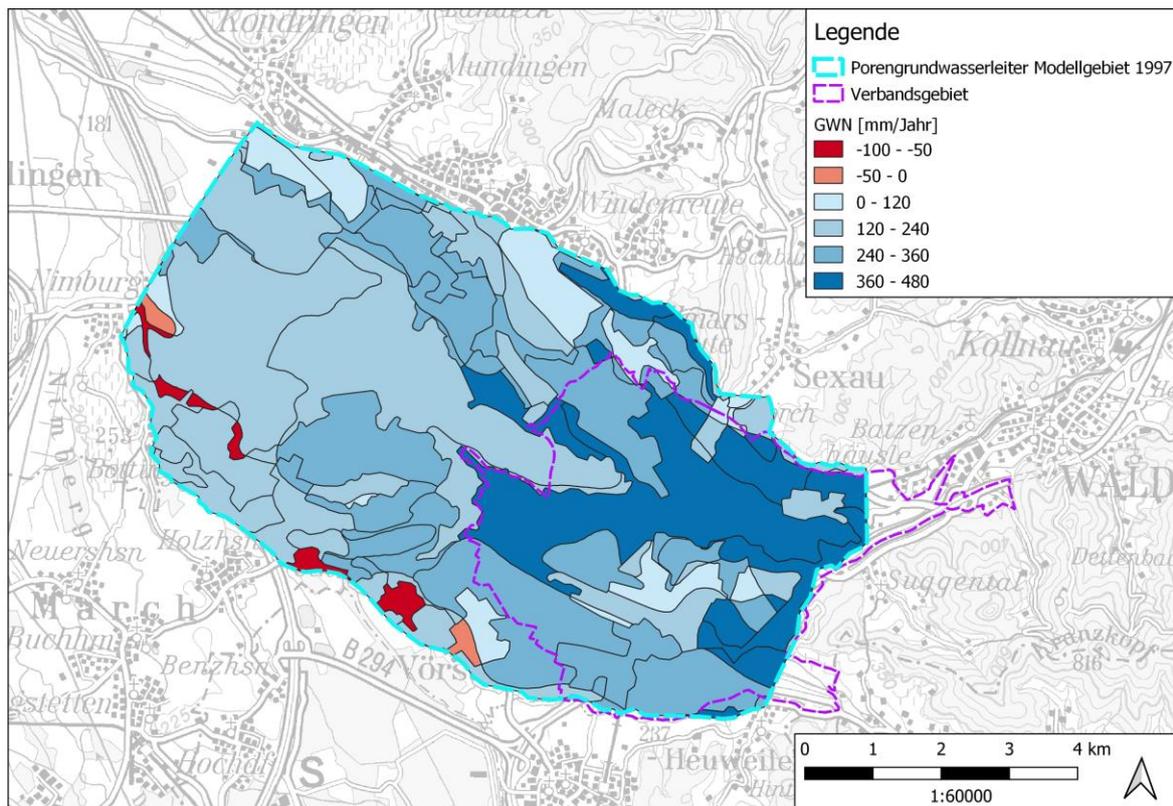


Abbildung 5: Langjährige mittlere flächenhafte Grundwasserneubildung für den Elz-Glotter-Schwemmfächer. Zusätzlich ist noch das Verbandsgebiet BVME eingezeichnet [Morhard, 2013].

Die flächenhafte Berechnung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung ist in Abbildung 5 dargestellt und liegen zwischen 480 mm/Jahr und -100 mm/a, wobei bei negativen Werten der ganzjährige kapillare Aufstieg mit Verdunstung die Menge an Niederschlag Grundwasserneubildung übersteigt. Die Verteilung der Grundwasserneubildungsrate zeigt deutlich höhere Werte im östlichen Teil des Elz-Glotter-Schwemmfächers, die durch die Böden, den Flurabstand und die Zunahme der Niederschlagsmengen zu erklären sind.

Am südlichen Rand des Elz-Glotter-Schwemmfächers kann es durch Gley-Böden und einen sehr geringen Grundwasserflurabstand zu kapillarem Aufstieg und einer negativen Grundwasserneubildung kommen. In den Stadtgebieten ist aufgrund des hohen Versiegelungsgrades die Grundwasserneubildung geringer als auf den Acker- und Grünflächen.

Mit dem Landesmodell GWN-BW wurden die monatliche Grundwasserneubildung der Jahre 1989 - 2018 ausgewertet, es ergab sich eine Spannweite zwischen minimal 10 mm/Monat, maximal 90 mm/Monat und einem Median von 21 mm/Monat. Der linear berechnete Trend für den 30-jährigen Beobachtungszeitraum ergibt einen minimalen negativen Trend (Vergleich Anhang 5). Negative monatliche Grundwasserneubildungsraten kommen vermehrt in den letzten Jahren in den Sommer – Spätsommermonaten vor und beschreiben eine Verdunstung durch kapillaren Aufstieg welche die jährliche Grundwasserneubildungsmenge übersteigt.

Aussagekräftiger als die Monatssummen sind die Jahressummen der flächenhaften Grundwasserneubildung bzw. die Jahressummen des hydrologischen Jahres von 1. November bis 31. Oktober. Diese Werte variieren im Beobachtungszeitraum zwischen 116 mm/Jahr und 441 mm/Jahr. Geringe Grundwasserneubildungsjahre waren 1990, 1993 und 2017 mit unter 123 mm/Jahr. Im Gegenzug fand in den Jahren 1994, 1999, 2001, 2013, 2014 und 2016 eine besonders hohe, flächenhafte Grundwasserneubildung von über 322 mm/Jahr statt, wobei das Jahr 2013 mit 441 mm/Jahr die höchste Grundwasserneubildung in der 30-jährigen Beobachtungsperiode ausweist.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Beitrag flächenhafte GWN im Porengrundwasserleiter und das Verbandsgebiet (Porengrundwasser\Verbandsgebiet= Differenzmenge von Porengrundwasserleiter und Verbandsgebiet).

	Porengrundwasserleiter		Verbandsgebiet		Porengrundwasserleiter\Verbandsgebiet	
				%		%
Fläche [km ²]	57,1	21,7	38,0		35,4	62,0
Grundwasserneubildung [l/s]	457,3	227,6	49,8		229,7	50,2
Grundwasserspende [l/s*km ²]	8,0	10,5	-		6,5	-

In Tabelle 1 wird die Grundwasserneubildung des Porengrundwasserleiters mit der Grundwasserneubildung des Verbandsgebiets verglichen. Die Betrachtung / Auswertung für das Verbandsgebiet zeigt deutlich den überdurchschnittlichen Beitrag; - mit 228 l/s auf 21.7 km² im Vergleich zu den 457 l/s auf 57.1 km² bezogen auf den gesamten Elz-Glotter-Schwemmfächer werden auf etwas mehr als seinem Drittel der Fläche knapp 50% der flächenhaften Grundwasserneubildung des Systems erfolgen.

Besondere Bedeutung kommt hier augenscheinlich insbesondere dem Bereich östlich des Mauracher Bergs. Der Teilbereich des Verbandsgebietes östlich der Bahnlinie Freiburg Offenburg des Verbandsgebiets hat eine flächenhafte Grundwasserneubildung von 105 l/s auf eine Fläche von nur 9.7 km² aus und bewirkt (insbesondere auch in Verbindung mit den anderen positiven Randbedingungen i.e. Randzustrom und Gewässer in der Größenordnung von ca. 150 l/s) einen erheblichen bilanziellen Überschuss der nicht (nur) über den quartären Schotterkörper nördlich und südlich des Mauracher Berges entwässern kann. Dieser Aspekt wird bei Ausweisung der Bilanzglieder in der Grundwasserbilanz noch eine wichtige Rolle spielen an dieser Stelle weiter erörtert werden (siehe gesamtes. Kapitel 5).

3.3 Aktuelle Wasserrechte für den Elz-Glotter-Schwemmfächer

Nach Recherche bestehen insgesamt bestehen Wasserrechte in Höhe von etwa 7 Mio. m³/Jahr im Elz-Glotter-Schwemmfächer [Nopper, 2019]. Bei den Wasserrechten muss unterschieden werden zwischen den genehmigten Entnahmen aus dem Porengrundwasserleiter und denen des Kluftgrundwasserleiters. Die Auflistung der Wasserrechte für die einzelnen Grundwasserleiter wird im **Anhang 3 und 4** zusammen mit dem Verbrauch der letzten zwei Jahre 2017 und 2018 dargestellt.

Der weitaus größte Teil der Wasserrechte mit etwa 5 Mio. m³/Jahr bzw. 160 l/s im Jahresmittel ist im Kluftgrundwasserleiter genehmigt und wird hauptsächlich für die öffentliche Wasserversorgung genutzt. Der restliche Teil der Wasserechte von etwa 2 Mio. m³/Jahr bzw. 63 l/s im Jahresmittel aus dem Porengrundwasserleiter wird aufgeteilt auf Wassernutzer öffentliche Wasserversorgung, Landwirtschaft und Gewerbe.

Die tatsächliche Grundwassernutzung beläuft sich in den letzten 2 Jahren für den Kluftgrundwasserleiter auf etwa 85 l/s und für den Porengrundwasserleiter auf rund 51 l/s. Darin beinhaltet sind die Grundwasserentnahmen des Beregnungsverbands mit 11 l/s, welche etwa auf 30 Brunnen aufgeteilt werden.

Die durchschnittliche Grundwasserentnahme durch den BVME aus den letzten 14 Jahren von 2004 bis 2018 lag bei 210.000 m³/Jahr, wobei in den ersten 9 Jahren nur eine Entnahme in mittel von etwa 156.000 m³/Jahr stattgefunden hat. In den letzten 5 Jahren seit 2014 hingegen war der Grundwasserbedarf des BVMEs durchschnittlich auf etwa 335.000 m³/Jahr angestiegen. Für die Zukunft beantragt der BVME ein Wasserrecht in der zukunftsicheren Größenordnung von 500.000 m³/Jahr z.T. auch als Ersatz für eine reduzierte Nutzung von Oberflächenwasser zu Beregnungszwecken.

3.4 Neue Erkenntnisse isopenhydrologischer Untersuchungen

Hydroisotop hat neue wichtige Erkenntnisse durch isopenhydrologische, spurengasspezifische und hydrochemische Untersuchungen im Jahr 2006 und 2009 gewinnen können. Dabei wurden die Hauptzustromkomponenten zu den Tiefbrunnen im Muschelkalk untersucht und ausgewertet. Diese neuen Erkenntnisse ergaben ein erweitertes Verständnis über Herkunftsräume und Ihre Anteile, Neubildungsprozesse und Fließdynamik im Muschelkalkaquifer. Hydroisotop beschreibt die Interpretation als komplexes Gefüge von möglichen Neubildungsgebieten im Muschelkalk dies [Hydroisotop, 2006; Hydroisotop, 2009] und wurde im Ergebnis in hydrogeologischen Abschlussgutachten.

Durch die leichte Sauerstoff-18-Signatur der Muschelkalkgrundwässer, die sowohl 1997 als auch 2006 festgestellt wurde, wurde 1997 angenommen, dass die Hauptneubildungskomponente für den Kluftaquifer elzbürtiges Uferfiltrat ist. Jedoch ist mit den neu gewonnenen Erkenntnissen von Hydroisotop der hydrochemischen Beschaffenheit der CO₂-Gehalte der Muschelkalkgrundwässer diese Vorstellung inkonsistent. Es konnte gezeigt werden, dass sich die leichte Sauerstoff-18-Signatur eher über Grundwasserneubildungsgebiete in vergleichsweise höher gelegenen Gebieten wie Emmendingen, Sexau, Denzlingen, Gundelfingen und Zähringen erklären lassen. Daher kommt Hydroisotop zu dem Schluss, dass als maßgebliche Hauptneubildungskomponente direktes Uferfiltrat ausgeschlossen werden kann [Hydroisotop, 2006; Hydroisotop, 2009].

Auch im Teninger Allmend ist eine flächenhafte Neubildung für den Kluftgrundwasserleiter eher auszuschließen, da anhand der Isotopensignatur das damals geförderte Grundwasseralter aus den 1980-iger Jahren mit verstärkten Neubildungsphasen im Winter bestimmt wurde. Auch gegen eine maßgeblich flächenhafte Grundwasserneubildung durch vertikale Versickerung spricht, dass anhand von Pumpversuchen und Beobachtungen weiträumig gespannte Verhältnisse verbunden mit großräumigen Absenktrichtern im Muschelkalk kommt. Dies lässt auf eine geringe flächenhafte Grundwasserneubildung schließen.

Lokale Neubildungskomponenten im Kluftgrundwasserleiter konnten durch Einflüsse von Landwirtschaft und städtischen Besiedlung lediglich im nordöstlichen bis östlichen Teil des Elz-Glotter-Schwemmfächers (GWM MB 7, T4t, T5t) nachgewiesen werden. Deren Abstromrichtung wurde jedoch nach Nordwesten ausgewiesen, da keine erkennbaren Anteile in den untersuchten Muschelkalkbrunnen auftreten.

Zudem wurde festgestellt, dass große Anteile von Grundwasserneubildungskomponenten im Bereich der Emmendinger Vorbergzone versickern können [Hydroisotop, 2006].

Daraus folgt, dass davon auszugehen ist, dass der Muschelkalkaquifer von einer flächenhaften Grundwasserneubildung mit Bodenpassage gespeist wird, welche hingegen früheren Annahmen wohl eher in den Randbereichen des Aquifersystems in großer Entfernung zu den Förderbrunnen zu verorten ist. Neben der Grundwasserneubildung in großer Entfernung können auch Anteile aus Uferfiltrat hinzukommen. Lokale flächenhafte Neubildung kann im Bereich von hydraulischen Fenstern vorkommen, haben aber einen untergeordneten Anteil. Verwiesen wird aber auch darauf, dass die gesamte Grundwasserneubildung in Elz-Glotter-Schwemmfächer nicht abschließend geklärt werden konnte [Hydroisotop, 2006].

Zudem konnte eine mengenmäßig bedeutende Komponente an > 50 Jahre alten Grundwasser aus südlicher (südöstlicher) Richtung nachgewiesen werden [Hydroisotop, 2006].

4 Grundwasserbilanz

Die Grundwasserbilanz im Untersuchungsgebiet wird für jedes der beiden Grundwassersysteme (Poren- und Kluftgrundwasserleiter) getrennt aufgestellt. Der Austausch zwischen den beiden wird über diesbezügliche Bilanzglieder so aufgestellt, dass die Verluste aus dem Porengrundwasserleiter dem Kluftgrundwasserleiter zufließen [IHF, 1997]. Die erstellten Grundwasserbilanzen gründen auf den bisherigen Gutachten (modelltechnischen Untersuchungen des IHF [1996; 1997] und wurden im Rahmen des vorliegenden Gutachtens unter Einbeziehung der nachfolgenden Erkenntnisse (s. Kap. 3.4) weiterentwickelt, - können aber aktuell im gegebenen Rahmen des Gutachtens nicht (erneut) modelltechnisch verifiziert werden

4.1 Porenaquifer

Die im Folgenden gemachten Angaben zur Grundwasserbilanz des Porenaquifers basieren auf den vom IHF [1997] ermittelten Bilanzgliedern, welche mithilfe von Feldversuchen, Isotopenmessungen, Geländeuntersuchungen und anhand des stationären Modells erstellt und kalibriert wurden. Der Grundwasserumsatz für den quartären Grundwasserkörper beträgt demnach 674 l/s und setzt sich aus den folgenden Bilanzgliedern zusammen: Grundwasserzustrom und -abstrom, Grundwasserrandzuströme, Grundwasserentnahmen, Grundwasserneubildung, Gewässerin-/exfiltration und Versickerung in tiefere Grundwasserleiter.

Die hiermit vorgelegte Neuinterpretation mit unveränderter Bilanzsumme weist geänderte Vorstellungen zu Wirksamkeit der Oberflächengewässer, der flächenhaften Versickerung in den Kluftgrundwasserleiter, sowie zur flächenhaften Grundwasserneubildung auf.

Die größten positiven Bilanzglieder (Zuflüsse) bilden gemäß Neuinterpretation die Grundwasserneubildung mit 68% Anteil (IHF: 75%) und die Gewässerinfiltration mit 26% (IHF: 18%).

Bei den negativen Bilanzgliedern (Abströme) sind die größten Bilanzglieder der Abstrom am Gebietsrand an der Riegeler Pforte mit etwa 30% und die Gewässerexfiltration mit etwa 37% (IHF: 24%); - die flächenhafte Versickerung in den Muschelkalkaquifer mit reduzierten ca. 11% (IHF: 32%), die Versickerung im Bereich seiner geologischen Randstrukturen südlich des Mauracher Berges mit zusätzlich ca. 11% (IHF: 0%). Die Begründung der Unterschiede erfolgt in den jeweiligen Unterkapiteln zu den Bilanzgrößen. In Tabelle 2 ist die Grundwasserbilanz in Zahlen aufgelistet und in Abbildung 6 graphisch dargestellt.

Tabelle 2: Grundwasserbilanz für den Porengrundwasserleiter der Neuinterpretation und der Bilanz von 1997.

Porenaquifer Bilanzglieder	Bilanz 1997				Neuinterpretation Bilanz			
	Zustrom		Abstrom		Zustrom		Abstrom	
	[l/s]	%	[l/s]	%	[l/s]	%	[l/s]	%
Qzustrom Talausgängen von Elz und Glotter	12	2			12	2		
Qzustrom Randbereiche	28,5	4			28,5	4		
GWNeubildung	510	76			460	68		
GWInfiltration/Exfiltration	123,6	18	162	24	173	26	249	37
QVersickerung lokal/Fläche			215	32			75	11
QVersickerung Randbereiche							75	11
QEntnahme			97,2	14			75	11
QAbstrom			200	30			200	30
Bilanz	674	100	674	100	674	100	674	100

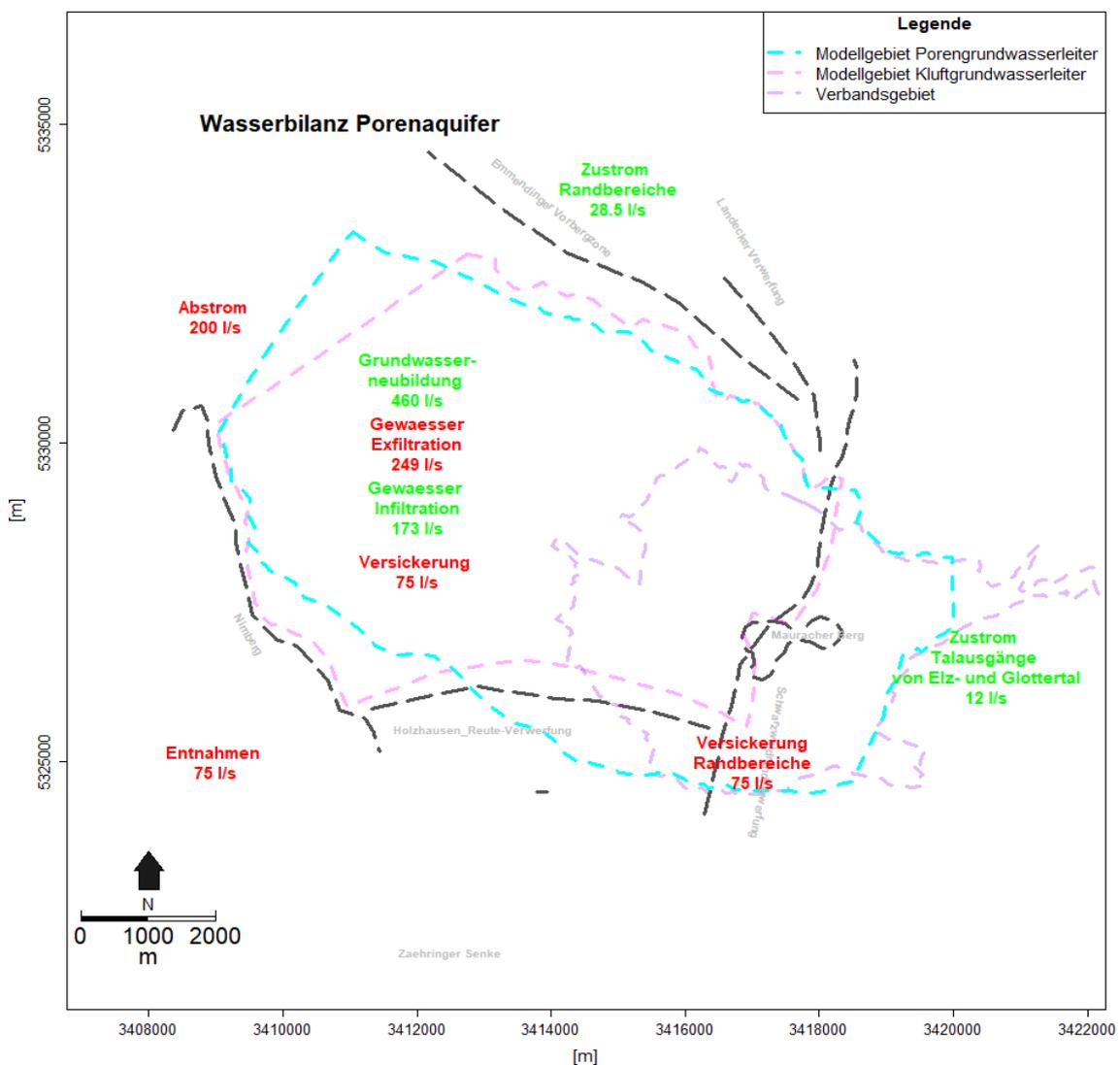


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation des Porengrundwasserleiters. Positive Bilanzglieder (Zustrom) sind in grün beschrieben und negative (Abstrom) in rot.

4.1.1 Randzustrom Talausgängen von Elz und Glotter und Randbereiche

Die Randzuströme für den Porengrundwasserleiter wurden anhand von Feldversuchen und natürlichen Tracern vom IHF [1997] ermittelt. Die Randzuströme an den Talausgängen von Elz- und Glottertal von 12 l/s setzen sich aus 9 l/s aus dem Elztal und 3 l/s aus dem Glottertal zusammen. Über Mischungsrechnungen von natürlichen Tracern konnten weitere Randzuströme von insgesamt 28.5 l/s bestimmt werden. Diese setzen sich wie folgt aus unterirdischen Zuströmen an den Gebietsrändern zusammen: Emmendinger Vorbergzone zwischen Emmendingen und Sexau 6 l/s, auf Höhe des Brettenbach in Sexau 9 l/s, zwischen Sexau und Buchholz weitere 2 l/s, vom Mauracher Berg 4 l/s und zwischen der Elz und der Glotter 7,5 l/s [IHF, 1997].

Die Landecker Verwerfung an der Nordgrenze bildet eine nachgewiesene hydraulische Barriere und der größte Teil des Randzustromes versickert in der Verwerfung. Dies wurde anhand der Wasserchemie und den Verlauf von Absenkkurven ermittelt [IHF,1997]

Durch die Schwarzwaldrandverwerfung im Osten wird angenommen, dass große Wassermengen versickern bevor sie dem Porengrundwasserleiter zufließen. Frühere Grundwassermessstellen im nördlichen Bereich von Denzlingen wurden in Verbindung mit der Schwarzwaldrandverwerfung gebracht und sind heute nicht mehr in Betrieb [IHF, 1996a]. Die Schwarzwaldrandverwerfung wird in der Grundwasserbilanz des Kluftaquifers (Kapitel 4.2) noch weiter diskutiert.

4.1.2 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung wurde bei der Grundwasserbilanz von 1997 mit dem Verfahren nach Haude/Regner auf Grundlage der monatlichen Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes von April 1980 bis März 1991 berechnet. Der dafür benutzte jährliche Niederschlag variierte zwischen 834 mm/Jahr auf Höhe von Emmendingen und 1061 mm/Jahr bei Buchholz. Die errechneten Werte der Grundwasserneubildung ergaben minimale Werte für bebauten Gebiete von 75 mm/Jahr bei Nimburg bis hin zu 414 mm/Jahr bei Buchholz für Grünland. Insgesamt bezogen auf die Fläche von etwa 57 km² wurden für das Gebiet etwa 510 l/s Grundwasserneubildung ermittelt, wobei der kapillare Aufstieg in der Berechnung nicht berücksichtigt wurde [IHF, 1997]. Anmerkung im späteren instationären Modell [IHF 1997] mussten bereits Reduktionsfaktoren für die Grundwasserneubildung in den Grundwasserbeeinflussten Bodenbereichen eingeführt werden, um die beobachtete Dynamik abbilden zu können; - für dieses Modell liegt jedoch keine Auswertung der Bilanzglieder mehr vor [IHF, 1997].

Die aktuelle Berechnung der Grundwasserneubildung wurde in Kapitel 3.2 beschrieben und ergibt einen Wert von 457 l/s bezogen auf den Elz-Glotter-

Schwemmfächer von etwa 57 km². Dieser Wert fällt im Gegensatz zu der Annahme von 1997 mit 510 l/s etwas geringer aus, was im Wesentlichen in der (besseren) Berechnungsmethode begründet ist in der u.a. nun auch der kapillare Aufstieg berücksichtigt wird.

4.1.3 Gewässer Infiltration/Exfiltration

Die Gewässerinfiltrationsraten der Elz wurden anhand von Feld-, Tracerversuchen, Isotopen- und Wasserqualitätsuntersuchungen IHF [1997] abgeschätzt. An den Abschnitten entlang der Elz zwischen Buchholz und dem Kollmarsreuther Wehr sowie Wasserer Wehr und Emmendingen wurden die größten Gewässerinfiltrationen ermittelt. Dies ist begünstigt durch den Aufstau der Elz an den Wehren und das dadurch höhere Potentialgefälle in diesen Bereichen. Anhand von Modellauswertungen des kalibrierten stationären Modells wurde die Gewässer-versickerung mit bis zu 14 l/s*km beziffert [IHF, 1997]. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass sich alle Fließgewässer im Elz-Glotter-Schwemmfächer ähnlich Verhalten.

Jedoch kann es vereinzelt auch zu wechselnden Verhältnissen von Infiltration und Exfiltration bei unterschiedlichen Grundwasserständen kommen. Bei der Riegeler Pforte wird beim Übergang vom Elz-Glotter-Schwemmfächer in dem höher durchlässigen Rheintalschotter eine natürliche hydraulische Barriere vermutet, welche den Abstrom aus dem Elz-Glotter-Schwemmfächer im Grundwasser vermindert und zu einem ganzjährigen Aufstau und Teilentwässerung des Porengrundwasserleiters über die Oberflächengewässer (Drainage) führt. Dies wird durch die weitgehend konstanten Grundwasserspiegellagen und dem Aufstau des Grundwassers über Sohle der Gewässer belegt und begründet die Wannensituation des Schwemmfächers für den Porengrundwasserleiter und wird im Kapitel 5 anhand der Grundwassermessstellen verdeutlicht. Diese Wannensituation führt zu einem selbstregulierenden System mit konstanten Potentialverhältnissen im unterirdischen Abstrombereich und einer ganzjährigen Entwässerung der nicht abführbaren Überschüsse über die Oberflächengewässer als Drainage.

Aus den Feldversuchen und Messungen wurde das stationäre Modell 1997 auf etwa 124 l/s Infiltration (Zustrom) und Exfiltration 162 l/s (Abstrom) durch die Fließgewässer kalibriert (Infiltration/Exfiltration in l/s: Elz 90.6/-2; Feuerbach/Schwan 13/44.5; Glotter 20/32.5, restliche Bäche/Graben -/40 und Schobach-Fließsystem - /43) [IHF, 1997]. Die insgesamt höhere Exfiltration als Infiltration im Gebiet ist durch die Wannensituation zu erklären. Für die Neuinterpretation der Grundwasserbilanz müssen die Gewässerin- und -exfiltration heute leicht höher auf 173 l/s und 249 l/s abgeschätzt insofern der Einfluss der Fließgewässer besonders der Elz bei Buchholz und Wasser als bedeutender

einzuschätzen (Stützung Grundwasserniveau), jedoch bleiben die Werte in derselben Größenordnung und Verhältnis zueinander.

4.1.4 Versickerung aus dem Poren- in den Kluftgrundwasserleiter

Aus den neuen Erkenntnissen der Grundwässer des Kluftaquifers von Hydroisotop [2006; 2009] resultiert, dass eine Versickerung aus dem Porengrundwasserleiter (in den Kluftgrundwasserleiter) in der vom IHF [1997] angenommenen Größenordnung nicht nur flächenhaft stattfinden kann, sondern dass andere Fließwege in Betracht gezogen werden müssen.

Die Interpretation vom IHF [1997] war folgende. Durch Versickerung wird dem Porengrundwasserleiter flächenhaft Wasser entzogen, welches dem Kluftgrundwasserleiter zufließt. Betont wurde, dass die Versickerungsgebiete des Porenaquifers nicht zwangsläufig identisch mit den Versickerungsgebieten des Kluftaquifers sein müssen. Die beiden Grundwasserstockwerke könnten über lokal oder regional ausgebildete, durchflusswirksamere Schichten innerhalb der altquartären Schotter indirekt verbunden sein. Die flächenhafte Versickerung wurde damals auf 215 l/s beziffert, welche aber nicht gleichmäßig über den Porenaquifer verteilt ist und durch geologische Fenster begünstigt wird. Der größte Bereich der Versickerung befindet sich demnach zwischen der Elz und der Emmendinger Vorbergzone und im Bereich von Emmendingen mit etwa 110 l/s. Am westlichen Rand des Elz-Glotter-Schwemmfächers wurde eine Versickerungsrate von 64 l/s angesetzt und südlich von Denzlingen und zwischen Vörstetten und Reute versickert mit 29 l/s bzw. 13 l/s ein verhältnismäßig kleiner Teil der 215 l/s. In früheren Arbeiten angenommene Bereiche mit Versickerung (in den Kluftgrundwasserleiter) entlang der Schwarzwaldrandverwerfung im Raum Vörstetten wurden damals wieder verworfen [IHF, 1997].

Nach heutigem Wissenstand sollte diese Größenordnung an flächenhafter Versickerung kritisch hinterfragt werden. Durch die zuvor in Kap.3.4 aufgeführten neuen Erkenntnisse aus den Untersuchungen von Hydroisotop [2006; 2009] gibt es begründete Indizien für eine andere Aufteilung der Versickerung. Die Erkenntnisse über die im geringeren Maße stattfindende flächenhafte Versickerung (größtenteils über geologische Fenster) und die längeren Fließwege der im Kluftaquifer geförderten Grundwässer weisen darauf hin, dass die flächenhafte Versickerung 1997 von 215 l/s über die Versickerungsgebiete (größtenteils über geologische Fenster) überschätzt wurde. In folgenden werden die möglichen Wege der Versickerung neu eingeteilt und die Größenordnungen abgeschätzt.

In der Neuinterpretation wird flächenhafte Versickerung auf die Größenordnungen von etwa 75 l/s reduziert und ein neuer Versickerungsweg über Randbereiche, deren Lage nicht näher spezifiziert werden kann, auf dieselbe Größenordnung von etwa 75 l/s abgeschätzt, der in etwa der Wasseralterskomponente 2 mit 20-25

Jahre mittlerem Wasseralter entsprechen dürfte um. Der südlich des Mauracher Berges gelegene Bereich der Schwarzwaldrandverwerfung dürfte hier den hydraulischen Wirkbereich, in dem der Übertritt vom Quartär in den Muschelkalk stattfindet. Diese Interpretation begründet sich wie folgt.

Anhand der Grundwasserneubildung geht hervor, dass im Verbandsgebiet ein Grundwasserüberschuss durch hohe Grundwasserneubildung entsteht. Allein für den östlichen Teil des Verbandsgebiet (östlich der Bahnlinie Freiburg-Offenburg, etwa 9.7 km²) ergeben sich 105 l/s an flächenhafter Grundwasserneubildung (vergleiche Kapitel 3.2 und 4.2). Hinzu kommen die Randzuflüsse und die Gewässerinfiltration. Daraus ergibt sich ein Wert der auf etwa 150 l/s abgeschätzt werden kann. Davon sollten etwas weniger als die Hälfte mit der Grundwasserfließrichtung nördlich vom Mauracher Berg abfließen (ca. 24 l/s s.u.) und die nördlich der Elz gelegenen Gebiete weitgehend in die Elz exfiltrieren. Hydraulische Betrachtungen deuten darauf hin, dass das durch Grundwasserneubildung gebildete Grundwasser im östlichen Teil nicht mit der generellen Fließrichtung von Ost nach West nördlich des Mauracher Bergs abfließen kann. Zwischen den natürlichen Barrieren des Mauracher Berges und der Emmendinger Vorbergzone mit einer Breite von etwa 1 km, einer angenommenen Mächtigkeit von 5 m, einem Gefälle von 0.004 und einem Kf-Wert des Elz-Brettenbach-Systems aus dem Gutachten vom IHF [1997] von $1.2 \cdot 10^{-3}$ m/s wird ein maximaler Durchfluss von 24 l/s errechnet. Für die südlich der Elz gelegenen Gebiete ist eine zumindest teilweise südwärts gerichtete Entwässerung zu postulieren, sozusagen eine südliche Umströmung des Mauracher Bergs, gefolgt von einem teilweisen Übertritt im Bereich der südlichen Schwarzwaldrandverwerfung (Aufgrund der zu erwartenden Fließzeiten wäre diese Komponente der älteren 20-25 jährigen, flächenhaft neugebildeten und bereits anthropogen belasteten Komponente des geförderten Kluftgrundwassers zuzuordnen und würde sich mit den Erkenntnissen über längere Fließwegen und größeren Verweilzeiten, sowie den geforderten Neubildungsmechanismen über eine Bodenpassage decken.

Indizien und neue Erkenntnisse stützen diese neue Verteilung und Interpretation, jedoch ist diese weder anhand von Messungen verifiziert noch mit einem Grundwassermodell nachgewiesen. Diese Hypothese zur Erklärung dieses wichtigen Herkunftsraumes und Anteils am Wasserangebot des Kluftgrundwasserleiters sollten daher in Zukunft durch geeignete Maßnahmen überprüft und das Verständnis der Wirkmechanismen weiter geschärft werden, - auch im Hinblick auf einen zukünftigen, wirksamen Ressourcenschutz.

4.1.5 Grundwasserentnahme

Die Grundwasserentnahmen richten sich an den genehmigten Wasserrechten für den Porengrundwasserleiter. In der Bilanz von 1997 belaufen sich diese auf 97 l/s

durch die Landwirtschaft, Industrie und öffentliche Wasserversorgung. Die derzeitigen Wasserrechte wurden in Kapitel 3.3 beschrieben und werden trotz der aktuell nur 63 l/s genehmigten Entnahmemengen in der Grundwasserbilanz mit 75 l/s angesetzt, um dem erhöhten Grundwasserbedarf bzw. Grundwasserentnahmen des BVMEs der vergangenen Jahre bereits Rechnung zu tragen.

4.1.6 Abstrom

Durch eine reine hydraulische Betrachtung des Abstroms an der Riegeler Pforte mit einer Breite von 3.5 km einer Mächtigkeit von 40 m einem Gefälle von 0.003 und einem Kf-Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s ergibt sich ein Wert von 420 l/s. Dieser ist unrealistisch hoch und passt nicht zu der Systemvorstellung des Wannensystems und den Beobachtungen des Abstromverhaltens (s. Anlage 5 Plots 1, 4, 5, 12, 13, 14) und einem geminderten Abfluss durch die natürliche Barriere beim Übergang vom Elz-Glotter-Schwemmfächer in den Rheintalschotter. Aus diesem Grund wurde vom IHF [1997] versucht durch Veränderung der Zu- und Abströme die gemessenen Wasserstände im Modell abzubilden und den Grundwasserabstrom als letzte Größe abzuschätzen [IHF, 1997]. Der Grundwasserabstrom wurde 1997 auf 200 l/s kalibriert und auch in der neuen Interpretation so beibehalten.

4.1.7 Fazit

Die aktuelle Interpretation der Wasserbilanz zeigt, dass es durchaus Veränderungen zu der Grundwasserbilanz von 1997 gibt, vor allen Dingen in den Abströmen des Porengrundwasserleiters. Insgesamt wird weiterhin von dem gleichen Grundwasserumsatz von 674 l/s ausgegangen. In der Grundwasserbilanz nach aktueller Interpretation bilden die Randzuströme an den Talausgängen von Elz und Glotter sowie aus dem randlich angrenzenden Festgestein mit 2 % und 4 % nur eine untergeordnete Rolle. Den Hauptanteil der positiven Bilanzgrößen bildet eindeutig die Grundwasserneubildung mit 68 % im Elz-Glotter-Schwemmfächer, gefolgt von 26 % Gewässerinfiltration.

Auf der anderen Bilanz-Seite gibt es durch die neuen Interpretationen mehr Veränderungen. Den größten Anteil des Abstroms hat die Gewässerexfiltration mit 37 %, gefolgt vom Abstrom an der Riegeler Pforte mit 30 %. Den Rest des Abstroms bilden die [1] flächenhafte und [2] über Randbereiche erfolgende Versickerung in den Kluftgrundwasserleiter sowie [3] die wasserrechtlichen Grundwasserentnahmen mit jeweils 11 %.

4.2 Verbandsgebiet

Eine überschlägige Betrachtung der Grundwasserbilanzglieder nur für das Verbandsgebiet hilft für das Systemverständnis und stützt die neuen

Interpretationen. Das Verbandsgebiet des BVME mit etwa 21 km² deckt fast den kompletten östlichen Teil des Elz-Glotter-Schwemmfächers ab und wurde als Bereich mit einem weit überdurchschnittlichen Anteil an flächenhafter Grundwasserneubildung identifiziert. In dieser Betrachtung der Grundwasserbilanz ist aus Unkenntnis der Lage und räumlichen Ausprägung der tatsächlichen Wirkbereiche der flächenhaften Versickerung mit Anteil 45 l/s von 75 l/s (EG Schwemmfächer insgesamt) für das Verbandsgebiet als grobe Schätzung zu sehen. Die in Tabelle 3 ausgewiesenen Bilanzgrößen sind in Abbildung 7 schematisch abgebildet.

Tabelle 3: Grundwasserbilanz für den Porengrundwasserleiter für das Verbandsgebiet.

Porenaquifer	Neuinterpretation			
Bilanzglieder	Zustrom		Abstrom	
	[l/s]	%	[l/s]	%
Qzustrom Talausgängen von Elz und Glotter	12	3		
QZustrom Randbereiche	15	4		
GWNeubildung	230	64		
GWInfiltration/Exfiltration	105	29	37	10
QVersickerung lokal/Fläche			45	12
QVersickerung Rand			75	21
QEntnahme			20	6
QAbstrom			185	51
Bilanz	362	100	362	100

4.2.1 Randzustrom Talausgängen von Elz und Glotter und Randbereiche

Die Randzuströme über die Talausgänge der Elz und Glotter mit 12 l/s werden mit den gleichen Werten angenommen, lediglich die Randzuströme am nördlichen Rand werden in dieser Abschätzung für das Verbandsgebiet aufgrund der kürzeren Ränder auf etwa 15 l/s halbiert.

4.2.2 Grundwasserneubildung

Wie zuvor in Kapitel 3.2 beschrieben hat der östliche Teil des Elz-Glotter-Schwemmfächers in Form des Verbandsgebiets einen leicht überproportionalen Anteil an der Grundwasserneubildung. Die errechnete Grundwasserneubildung ergibt für die Fläche des Verbandsgebiets etwa 230 l/s. Die Verbandsgebietsteile die in das Glottertal und das Elztal hineinreichen und aktuell (noch) nicht durch das Modellgebiet bzw. Bodendaten abgedeckt sind wurden in der Berechnung der Grundwasserneubildung durch Extrapolation der Ergebnisse direkt benachbarter Flächen mitberücksichtigt.

Eine Betrachtung des östlichen Verbandsgebiet (östlich der Bahnlinie Freiburg-Offenburg, etwa 9.7 km²) ergibt eine Grundwasserneubildung von 105 l/s (vergleiche Kapitel 3.2 und 4.2).

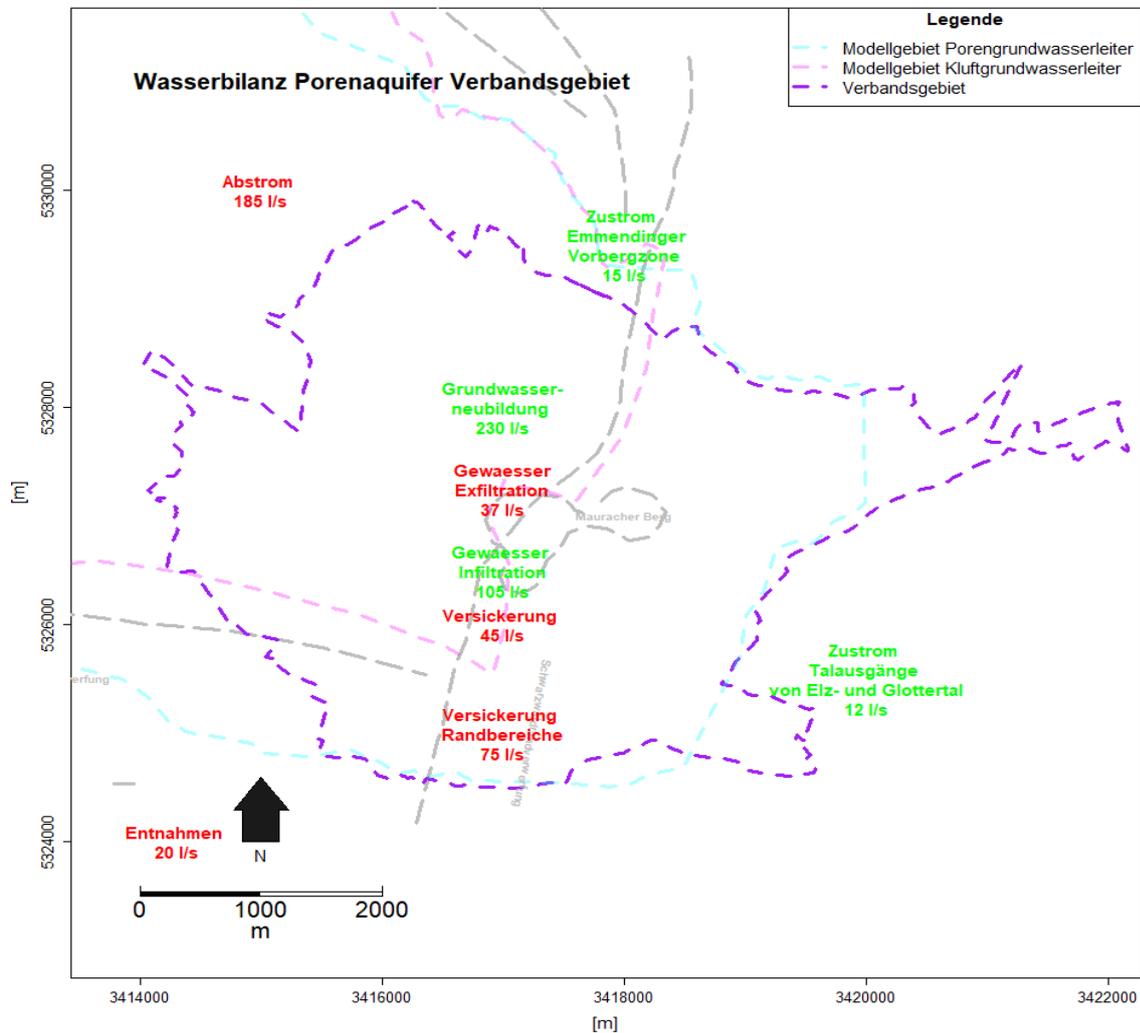


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation des Porengrundwasserleiters nur für das Verbandsgebiet. Positive Bilanzglieder (Zustrom) sind in grün beschrieben und negative (Abstrom) in rot.

4.2.3 Gewässer Infiltration/Exfiltration

Die Gewässerinfiltration wird im Verbandsgebiet mit etwa 105 l/s abgeschätzt. Aufgrund des Grundwasserflurabstandes und der Gewässersohlhöhen der Fließgewässer kann davon ausgegangen werden, dass die Gewässerinfiltration von großer Bedeutung ist. Diese verteilt sich auf alle Fließgewässer und Gräben im Verbandsgebiet. Die Gewässerexfiltration wird mit 37 l/s im Verbandsgebiet abgeschätzt und wird hauptsächlich an der Elz stattfinden.

Das Verhältnis von Gewässerinfiltration und Gewässerexfiltration im Vergleich zu Grundwasserbilanz für den Porengrundwasserleiter dreht sich somit um.

4.2.4 Versickerung aus dem Poren- in den Kluftgrundwasserleiter

Die flächenhafte Versickerung wird für das Verbandsgebiet aufgrund der Differenz zwischen GWN und dem maximal möglichen Abfluss innerhalb des Porengrundwasserleiter nach Westen auf etwa 45 l/s abgeschätzt. Die Versickerung über Randbereiche wird auf die Größenordnung von 75 l/s eingeordnet und wird im südlichen Bereich vermutet (vergleiche Kapitel 4.1).

4.2.5 Grundwasserentnahme

Direkt im Verbandsgebiet sind Wasserrechte an das Krankenhaus Emmendingen und Sportvereine in Höhe von 7 l/s vergeben. Die Entnahmemenge vom BVME beläuft sich auf etwa 12 bis 15 l/s, was einer Grundwasserentnahme von insgesamt etwa 20 l/s für das Verbandsgebiet entspricht.

4.2.6 Grundwasserabstrom nach Westen

Der Abstrom aus dem Verbandsgebiet ist etwas geringer als der des gesamten Elz-Glotter-Schwemmfächers und wird aufgrund hydraulischer Plausibilität mit etwa 185 l/s angenommen.

4.2.7 Fazit

Die Grundwasserbilanz im Verbandsgebiet hat einen Gesamtumsatz von 362 l/s und somit beträgt der Anteil an der Gesamtbilanz für den Porengrundwasserleiter etwas mehr als die Hälfte bei nur 38% Flächenanteil. Im Verbandsgebiet bilden die positiven Bilanzgrößen (Zustrom) die Grundwasserneubildung mit 64 % und die Gewässerinfiltration mit 29 %. Die negativen Bilanzgrößen (Abstrom), die die größten Anteile haben sind der Grundwasserabstrom mit 51 %, Versickerung über die Randbereiche mit 21 % und die flächenhafte Versickerung mit 12 %. Die restlichen Abströme bilden die Gewässerexfiltration mit 10 %, und die Grundwasserentnahmen, welche größtenteils durch vom BVME getätigt werden, mit lediglich 6 %.

4.3 Kluftaquifer

Die Grundwasserbilanz des Kluftaquifers setzt sich aus den Bilanzgliedern Randzuströme, Zusickerung aus höheren Grundwasserstockwerken, Grundwasserabstrom und Grundwasserentnahmen zusammen. Im Abschlussgutachten des IHF [1997] wurde die Wasserbilanz anhand eines stationären / instationären Modells, Feldversuchen und Geländemessungen mit einem Grundwasserumsatz von 280 l/s ermittelt.

Tabelle 4: Grundwasserbilanz für den Kluftgrundwasserleiter der Neuinterpretation und der Bilanz von 1997.

Kluftaquifer	Bilanz 1997				Neuinterpretation			
Bilanzglieder	Zustrom		Abstrom		Zustrom		Abstrom	
	[l/s]	%	[l/s]	%	[l/s]	%	[l/s]	%
QZustrom Schwarzwald	10	4			10	4		
QZustrom Emmendingen	52	19			50	18		
QZusickerung lokal/Fläche	218	78			75	27		
QZusickerung Randbereiche					75	27		
QZustrom Süden					70	25		
QEntnahme			62	22			160	57
QAbstrom			218	78			120	43
Bilanz	280	100	280	100	280	100	280	100

4.3.1 Zustrom Schwarzwaldrandverwerfung und Zustrom Emmendingen

Aus alten Gutachten vom GLA von 1984/1991 wird von einer Zusickerung aus höheren Stockwerken von ca. 70 l/s - 100 l/s und einen abwärts gerichteten Grundwasserstrom der Schwarzwaldrandverwerfung von bis zu 120 l/s ausgegangen. Mit einem kombinierten 24-tägigen Pump-Markierungsversuch konnte vom IHF [1997] entlang der Schwarzwaldrandverwerfung im Bereich zwischen dem Mauracher Berg und der Elz allerdings kein Wasserzutritt aus dem Porenaquifer in Kluftaquifer nachgewiesen werden und in der Grundwasserbilanz von 1997 wurde nur ein kleiner Zustrom an der Schwarzwaldrandverwerfung nördlich der Elz von 10 l/s angesetzt [IHF ,1997]. Für den Bereich südlich vom Mauracher Berg gibt es keine genauen Untersuchungen zu Wirksamkeit der Schwarzwaldrandverwerfung. In diesem Bereich könnte durchaus ein größerer Wasserzufluss in den Kluftgrundwasserleiter stattfinden und wird als neue Interpretation wie oben dargelegt vorgeschlagen und über die Wasserbilanz begründet.

Der Randzustrom über die Emmendinger Vorbergszone wurde vom Gutachten GLA 1976 auf etwa 115 l/s abgeschätzt. Dieser große Randzustrom von der Emmendinger Vorbergszone konnte nicht bestätigt werden und wurde auf 52 l/s im Modell herunterkorrigiert [IHF ,1997]. Diese Randbedingungen wurden in der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation übernommen.

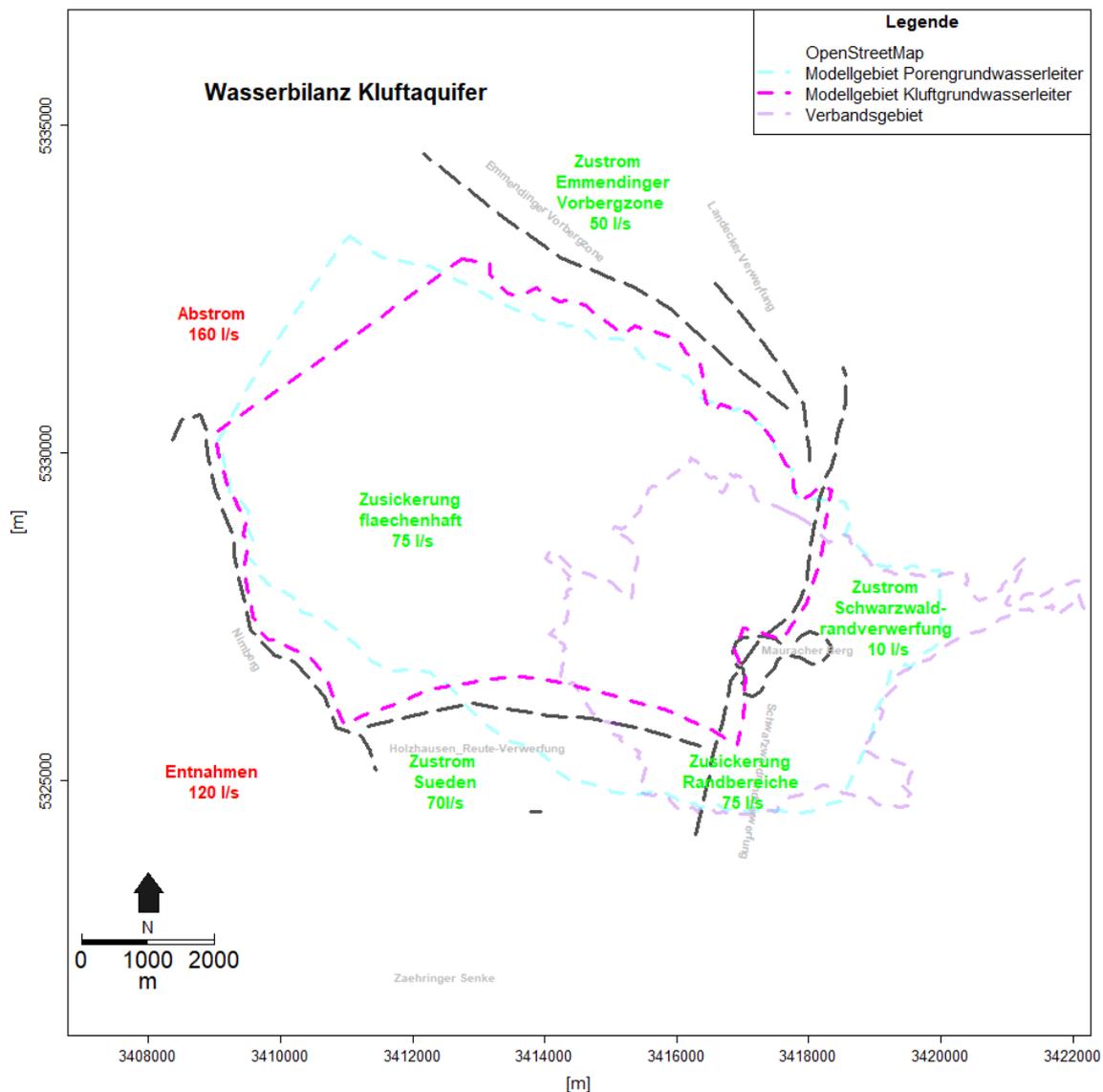


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation des Kluftgrundwasserleiter. Positive Bilanzglieder (Zustrom) sind in grün beschrieben und negative (Abstrom) in rot.

4.3.2 Zusickerung aus dem Porengrundwasserleiter

Eine flächenhafte Versickerung vom Porengrundwasserleiter in den Kluftgrundwasserleiter wurde vom IHF 1997 bei Feldversuchen auf 150 l/s – 200 l/s abgeschätzt und auf 215 l/s in der Bilanz angenommen.

Im nördlichen Bereich der Elz steigt der Muschelkalk bis unter den quartären Schotter auf und die Trennschicht fehlt komplett. Die weiteren Versickerungsgebiete vom IHF [1997], über die die 215 l/s versickern sollen, wurden über die

fehlende Trennschicht oder geologische Fenster südlich von Emmendingen bei der Elz, zwischen der Elz und der Emmendinger Vorbergzone, direkt bei Emmendingen, am westlichen Rand des Elz-Glotter-Schwemmfächers, südlich von Denzlingen und zwischen Vörstetten und Reute angenommen. Dabei wurde angenommen, dass überwiegend Uferfitrat in den Kluftgrundwasserleiter versickert.

Dieser sehr hohe Wert an Versickerung über geologische Fenster und flächenhafte Versickerung ist nach heutigem Kenntnisstand anhand von Isotopenmessungen [Hydroisotop, 2006] nicht nachvollziehbar. In den Gutachten von 1984/1991 vom GLA wurde schon früher geringere Zusickerung in den Kluftgrundwasserleiter von ca. 70 l/s - 100 l/s angenommen [Hydroisotop, 2006]. Die flächenhafte Zusickerung hat höchst wahrscheinlich nicht so einen großen Anteil [an der Grundwasserbilanz des Kluftgrundwasserleiter] wie angenommen und eine flächenhafte Zusickerung aus dem Porengrundwasserleiter in den Kluftgrundwasserleiter für das gesamte Gebiet kann mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, durchaus aber lokale flächenhafte Grundwasserneubildungsregionen [Hydroisotop, 2006].

Zudem wird von Hydroisotop [2006] ein südlicher (südöstlicher) Zustrom in den Kluftgrundwasserleiter beschrieben, welcher in die Grundwasserbilanz aufgenommen werden sollte.

Bei der Synthese der Grundwasserbilanz 1997 und den neuen Erkenntnissen wurden die Bilanzgrößen neu verteilt und abgeschätzt. Die flächenhafte Zusickerung wird in der Grundwasserbilanz der Neuinterpretation in der Größenordnung mit nur noch 75 l/s angenommen. In derselben Größenordnung wird die Zusickerung über Randbereiche abgeschätzt, wo jedoch die genauen Übertritte nicht genauer spezifiziert werden können. Es gibt Indizien, dass eine Zusickerung an der Schwarzwaldrandverwerfung südlich des Mauracher Bergs stattfinden könnte.

Stober [1999] leitete aus einem Pumpversuchen ab, dass aus geologischer Sicht kein Kontakt der beiden Grundwasserleiter bestehen kann, mit Ausnahme an den Randbereichen. Bauer [2010] betont, dass der Muschelkalkaquifer allseitige Randzuflüsse erhält, die erst in den Porengrundwasserleiter und dann in den Kluftgrundwasserleiter versickern und dass der Hauptteil der Verunreinigungen im Grundwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit über die Randbereiche zwischen Denzlingen, Buchholz, Kollmarsreute, Reute und Vörstetten in den Kluftgrundwasserleiter kommt [Bauer, 2010].

Stober [1999] schlussfolgert aufgrund der Auswertungen von Pumpversuchen im Bereich von Teningen, dass aus geologischer Sicht der Kluftgrundwasserleiter und der Porengrundwasserleiter in keiner direkten natürlichen hydraulischen Verbindung stehen, mit Ausnahme an den Randbereichen. Bauer [2010] hebt auch

hervor, dass die neuen Erkenntnisse von Hydroisotop über die Versickerung des Porengrundwasserleiters nicht detailliert mit Fließwegen oder Übertrittsbereichen beschrieben werden können.

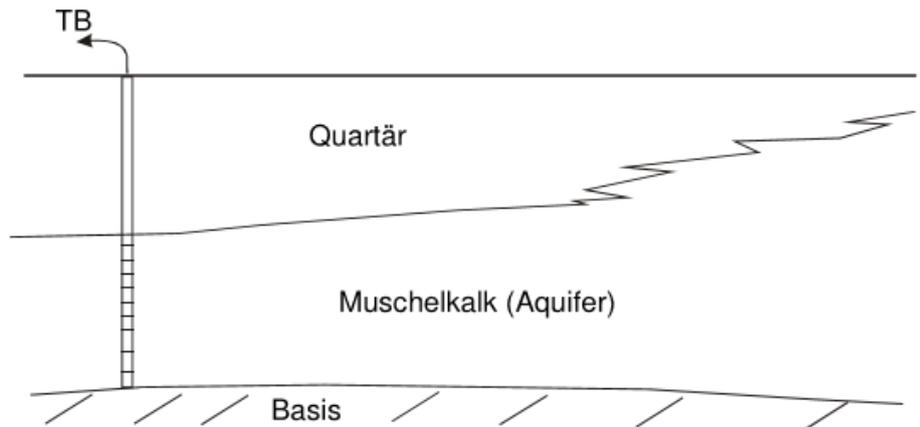
Anhand des Potenzialgefälles im erstellten Grundwassergleichenplan von Hydroisotop deutet sich im Muschelkalk im Osten des Gebiets eine verstärkte Grundwasserneubildung an [Hydroisotop, 2006]. Dies zeigt, dass die lokale Grundwasserneubildung höher als ein möglicher Abstrom innerhalb des Porengrundwasserleiter ist.

4.3.3 Zustrom aus Süden (Südosten)

Durch die Erkenntnisse von Hydroisotop [2006, 2009] wird in die aktuelle Interpretation der Grundwasserbilanz ein neues Bilanzglied aufgenommen. Evident haben Isotopenuntersuchungen aufgezeigt, dass ein nicht unerheblicher Zustrom aus Süden und Südosten dem Kluftaquifer zuströmt. In früheren Modellvorstellungen wurde davon ausgegangen, dass die südliche Modellgrenze entlang der Grundwasserfließrichtung verläuft und somit keinen Grundwasserzustrom erhält. Die Annahme einer südlichen Nullstromgrenze wurde damit (Isotopenuntersuchungen) widerlegt. Die Abgrenzung des Muschelkalks nach Südosten wurde schon in früheren Gutachten mit großen Unsicherheiten beschrieben.

Im Gutachten von Hydroisotop [2006] wird ein Schema für die geologische Situation und eine Skizze für die neuen geologischen Systemvorstellungen beschrieben, welches in Abbildung 9 abgebildet wird. Dieses zeigt, dass ein Zustrom von Süden (Süd südöstlich) in einer gewissen Tiefe direkt im Muschelkalkaquifer eintritt und dass die Grundwasserneubildung nicht flächenhaft im Gebiet stattfindet, sondern nur in bestimmten Zonen.

A) Schema zur geologischen Situation



B) Umsetzung des Schemas im Modell

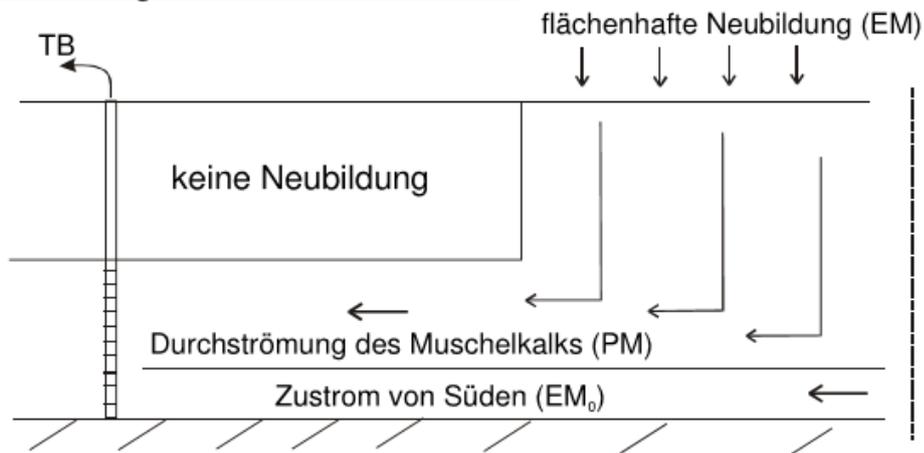


Abbildung 9: Schemaskizzen (A) zum geologischen Modell des Muschelkalks und (B) der Umsetzung im Strömungsmodell von Hydroisotop [2006], unverändert.

Lt. hydrogeologischem Abschlussgutachtens seitens des LRGB zur Überprüfung und Neuabgrenzung der Wasserschutzgebiete [Bauer, 2010] bildet die Holzhausen-Reute Verwerfung einen hydraulischen Rand des Kluftgrundwasserleiter, - anhand eines Pumpversuches an der Messstelle MB11 wurde nachgewiesen, dass hier auf Höhe Reute im Abstand von ca. 1km zur Hauptverwerfung bereits als hydraulischer Rand wirksam wird, trotzdem belegt das Gutachten einen Zustrom aus Süden und Südosten und beziffert den lt. isotopischer Betrachtung bei Gesamtförderung von 80 l/s (d.h. ca. 30% des Grundwasserdargebotes im Muschelkalk für den TB 3 und TB Allmend) in der Summe einen Beitrag von 21 l/s der <50 Jahre alten Wasserkomponente.

Aus der überschlägigen Hochrechnung von insgesamt 70% nicht durch die Förderung erfasstem Grundwasserdargebot ergibt sich insofern eine Abschätzung der Größenordnung von ca. 70 l/s Zustrom aus dem Süden und Südosten in den Muschelkalk-Kluftgrundwasserleiter.

Bauer [2010] betont, dass durch die geringe Anzahl an im Muschelkalk verfilterten Grundwassermessstellen es schwierig ist, im Gebiet repräsentative Aussagen über die genauen Randbedingungen zu erstellen [Bauer, 2010].

Für den Bereich Elz-Denzlingen und Vörstetten-Nimburg wurden keine Zuströme angenommen [Schrempp, 1997; Hydroisotop, 2006].

4.3.4 Entnahme

Die Grundwasserentnahmen wurden im Jahr 1997 zu etwa 62 l/s bestimmt, 50 l/s durch den Wasserversorgungsverband Mauracher Berg und 12 l/s von anderen Entnehmern [IHF,1997]. Die heutigen Wasserrechte im Kluftgrundwasserleiter belaufen sich insgesamt auf 160 l/s für 9 Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung. Die tatsächlichen Entnahmen aus dem Kluftgrundwasserleiter belaufen sich jedoch auf ungefähr 85 l/s in den letzten Jahren.

4.3.5 Abstrom

Der Plausibilitätsbereich des Grundwasserabstroms vom Kluftgrundwasserleiter wurde anhand einer Abstrombreite von 4.35 km, einem Gefälle von 0.03 und Transmissivitäten von ca. 125 bis $150 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ errechnet. Dieser beläuft sich auf 162 l/s bis 196 l/s. Je nachdem wie die Entnahmemengen angesetzt werden errechnet sich ein Abstrom von 120 l/s bei einer Entnahme von 160 l/s oder ein Abstrom von 195 l/s bei 85 l/s Grundwasserentnahme.

4.3.6 Fazit

Die Grundwasserbilanz des Kluftgrundwasserleiters beträgt weist 280 l/s aus. Gespeist wird der Porengrundwasserleiter durch die positiven Bilanzgrößen (Zustrom) zu jeweils ca. 27 % von der flächenhaften Zusickerung und der Zusickerung aus den Randbereichen. Hinzu kommt die isotopisch begründete Annahme eines südlichen (südöstlich) Zustroms mit 25 % und den Randzuströmen der Emmendinger Vorbergzone und Schwarzwaldrandverwerfung mit zusammen 22 %. Die negativen Bilanzgrößen (Abstrom) werden aufgeteilt zwischen der Entnahme und dem Abstrom am Gebietsrand. Abhängig von der angenommenen Entnahme, die entweder mit 57 % (Summe Wasserrechte) oder mit 30 % (aktuell tatsächliche Entnahmen) angesetzt werden kann, ergeben sich Abströme am Gebietsrand von 43 % bzw. 70 %, - begründet durch den Beckencharakter des Kluftgrundwassersystem. Für die im Folgenden dargestellte Wasserbilanz wird der Wert der genehmigten Wasserrechte herangenommen.

5 Interpretation des Verhaltens des Porengrundwasserleiters zur Bewertung des Einflusses der Bewirtschaftung

Um Aussagen über Veränderungen des Systems zu treffen werden in der Meteorologie ein Zeitraum von 30 Jahre angesetzt. Entsprechend wurde ein 30-jähriger Zeitraum, Jahre von 1989 bis 2018, als Beobachtungsperiode für die Auswertung der Grundwasserstände gewählt. Für die Bewertung der jährlichen Grundwasserneubildung wird nicht das kalendarische Jahr verwendet, sondern das hydrologische Jahr, welches am 1. November des Vorjahres beginnt und am 31. Oktober endet. Ziel dieses Kapitel ist es das Aquifersystems in seiner Wirkungsweise und die im System stattfindenden Prozesse besser zu verstehen und dein Einfluss der Bewirtschaftung zu bewerten.

Für diese Beobachtungsperiode wurde eine kombinierte Analyse der Parameter Grundwasserneubildung, Abfluss Elz, Grundwasserstände der Landesmessstellen [RPF, 2019] und der jährlichen Grundwasserentnahmen des BVMEs im Elz-Glotter-Schwemmfächers durchgeführt (östlich der Schwarzwaldrandverwerfung fehlt ein geeignetes Grundwassermonitoring bzw. Datengrundlage sowohl im Bereich der landwirtschaftlichen genutzten Flächen als auch der Siedlungsflächen von Denzlingen vollständig).

Insofern der BVME zumindest in den letzten 5 Jahren Grundwasser zu Berechnungszwecken in einer Größenordnung von bis zu 500.000 m³ entnahm, können diese Jahre bereits zur Analyse bzw. Absicherung der zu erwartenden Systemreaktion auf die beantragten zusätzlichen Entnahmen des BVME zu Berechnungszwecken sowohl für die kommenden Monate, als auch die zukünftige wasserrechtliche Genehmigung herangezogen werden.

Im Anhang 5 wurde für jede der 15 Grundwassermessstellen eine kombinierte Auswerte - Grafik erstellt. Diese wird hier im Einzelnen erläutert:

Erläuterungen zur graphischen Aufbereitung

- Zur Verortung der Grundwassermessstellen wird eine kleine Übersichtsgrafik dargestellt. Die Lage der abgebildeten Grundwassermessstellen ist mit einem roten Punkt dargestellt. Zur Orientierung sind die Fließgewässer, das Gebiet des Porengrundwasserleiters, das Verbandsgebiets und die Brunnen des BVMEs eingezeichnet und in der Legende beschrieben.
- Die Grundwasserneubildung (oberstes Diagramm) zeigt die berechneten monatlichen, mittleren Grundwasserneubildungswerte für das Gebiet nach Morhard [2013] in mm/Monat; bei positiver Grundwasserneubildung in dunkel blau und bei negativer Grundwasserneubildung in orange. Die

summierte Jahresgrundwasserneubildung des hydrologischen Jahres wird zudem als Zahl und farblich abgestuft abgebildet (blau = hohe GWN; rot = geringe GWN).

- Die Datengrundlage des für den Pegel Elz (mittleres Diagramm) wird in 5.1 genauer beschrieben, wobei der alte Pegel in blau und der neue Pegel in lila abgebildet wird. Das unterschreiten des Niedrigwassers (Abfluss < 1.62 m/s) wird in orange hervorgehoben.
- Die Grundwasserstände der Grundwassermessstelle werden im untersten Diagramm dargestellt und in 5.2 im Einzelnen beschrieben. Diese Grafik zeigt immer nur die aktuelle Grundwassermessstelle und wird mit der linken y-Achse beschrieben. Das Grundwassermaximum wird mit einer türkisenen Raute hervorgehoben, sowie das Grundwasserminimum mit einer orangen Raute. Falls Brunnen des BVMEs im umliegenden Gebiet vorhanden sind, werden deren Grundwasserentnahmen (pink) im Verhältnis zur Gesamtentnahme der Brunnen des BVME im Verbandsgebiet (türkis) ab dem Jahr 2004 abgebildet und auf der rechten y-Achse beschrieben. Da nur die Gesamtjahresentnahmen der Brunnen vorliegen, werden diese immer in Jahresmitte abgebildet.
- Ergänzend sind im untersten Diagramm noch die Geländehöhe der Grundwassermessstelle (grün gestrichelt), die Sohlhöhe (hellblau gestrichelt) des nächstgelegenen Gewässers (Elz, Glotter, Glotterbach, Schobbach, Brettenbach, Lossele und Mühlbach) (s. Legende) eingezeichnet. In der Legende ausgewiesen ist zudem die Entfernung zum nächstgelegenen Fließgewässer (nächst gelegene Gewässersohle) und die beobachtete maximale Grundwasseramplitude der Grundwassermessstelle. Mit der Lage der Sohlhöhe und des Grundwasserspiegels kann beurteilt werden, ob exfiltrierende oder infiltrierende Verhältnisse des Gewässers im Bereich der Grundwassermessstelle zu erwarten sind.
- Bei allen drei Diagrammen, der Grundwasserneubildung, dem Abfluss und den Grundwasserständen wurde noch in Rot ein linearer Trend der Beobachtungsperiode abgebildet und die jährliche Steigung und der p-value, der Auskunft über die Signifikanz der Regression gibt, in der Legende beschrieben. Zur Bestimmung des linearen Trends für den Pegel Gutach wurden nur die Daten des aktuellen Pegels (siehe Kapitel 5.1) verwendet.

Anmerkung zur Darstellung der Grundwasserneubildung

- *Die monatliche Grundwasserneubildung entspricht in allen Graphiken der mittleren Grundwasserneubildung der einzelnen Jahre für das Gesamtgebiet des Elz-Glotter-Schwemmfächers. Diese berechnet sich aus allen*

Einzelbodenflächen (s. Abbildung 5) der entsprechenden Jahre mit Ihren Differenzierungen nach Nutzungsanteilen für das Gesamtgebiet, flächengewichtet gemittelte, als tägliche mittlere Grundwasser-neubildung zu Monatswerten aggregiert. Sie stellt damit (bewusst) die summarische Wirkung in der Fläche dar.

- *Die einzelnen Flächen in ihrer langjährig mittleren Differenzierung der Grundwasserneubildung sind in Abb. 5 ausgewertet dargestellt und geben einen guten Anhaltspunkt zur räumlichen Differenzierung.*

5.1 Elz Pegel Gutach

Für den Abfluss der Elz wurde der Pegel Gutach [LUBW, 2019b] als nahegelegenste Abflussmessstation des Untersuchungsgebiets, etwa 7 km flussaufwärts, in die Bewertung miteinbezogen. Seit 1940 werden Abflussmessungen an diesem Pegel durchgeführt. Im Jahre 2008 wurde der Pegel erneuert und auf der anderen Gewässerseite neu installiert. Trotz dieser kleinen baulichen Veränderungen wurde der Gewässerquerschnitt nicht verändert und die Abflusswerte des alten und neuen Pegels können als vergleichbar angesehen werden. Statistische Auswertungen des Pegels (Stand: 14.01.2015) von der Hochwasservorhersagezentrale der LUBW [2019b] ergaben für den „Mittelwert niedrigster jährlicher Abflüsse“ $1.62 \text{ m}^3/\text{s}$ und ist als Niedrigwasser festgelegt. Der Einfluss der Elz auf das Grundwassersystem ist schwierig quantitativ zu bestimmen. Der Abfluss der Elz gibt eher Auskunft über die Dynamik der Fließgewässer im Gebiet. Auffällig ist, dass es vermehrt in den letzten Jahren zu längeren Niedrigwasserphasen kam, - besonders im Sommer und Spätsommer. Am Pegel Gutach ist die Elz in der Beobachtungsperiode nicht komplett trockengefallen. Da es keine Abflussmessungen direkt im Elz-Glotter-Schwemmfächer gibt, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, wann die Elz direkt im Untersuchungsgebiet trockengefallen ist. Jedoch liegt die Vermutung in einzelnen Jahren und an einzelnen Gewässerabschnitten im Elz-Glotter-Schwemmfächer bei Niedrigwasser am Pegel Gutach nahe. In Folge, wenn zum Abfluss der Elz Stellung genommen wird, bezieht es sich auf den Pegel Gutach, der nicht direkt im Elz-Glotter-Schwemmfächer liegt, jedoch ein repräsentatives und vergleichbares Verhalten der Elz im Elz-Glotter-Schwemmfächer beschreibt.

Zudem wird das Abflussverhalten der Elz (in Ermangelung anderer Messdaten) in seiner Dynamik für alle Vorfluter im Gebiet als repräsentativ und vergleichbar angesehen.

5.2 Grundwassermessstellen im Elz-Glotter-Schwemmfächer

Insgesamt wurden alle 15 von der LUBW verfügbaren Grundwassermessstellen [RPF, 2019] für den Beobachtungszeitraum 1989 bis 2019 ausgewertet, die aktuell immer noch in Betrieb sind. Die Grundwassermessstellen werden hier mit den offiziellen Namen der Grundwassermessstellen der LUBW beschrieben. Alle Grundwassermessstellen sind ausschließlich im Porengrundwasserleiter verfiltert. Das verfügbare Grundwassermessnetz deckt nur den westlich der Schwarzwaldrandverwerfung gelegenen Teil des Elz-Glotter-Schwemmfächers ab. Im Bereich östlich der Schwarzwaldrandverwerfung stehen bedauerlicher Weise nur (sehr) wenige einzelne Messungen zur Verfügung, so dass nur eine beschränkte Aussagefähigkeit besteht.

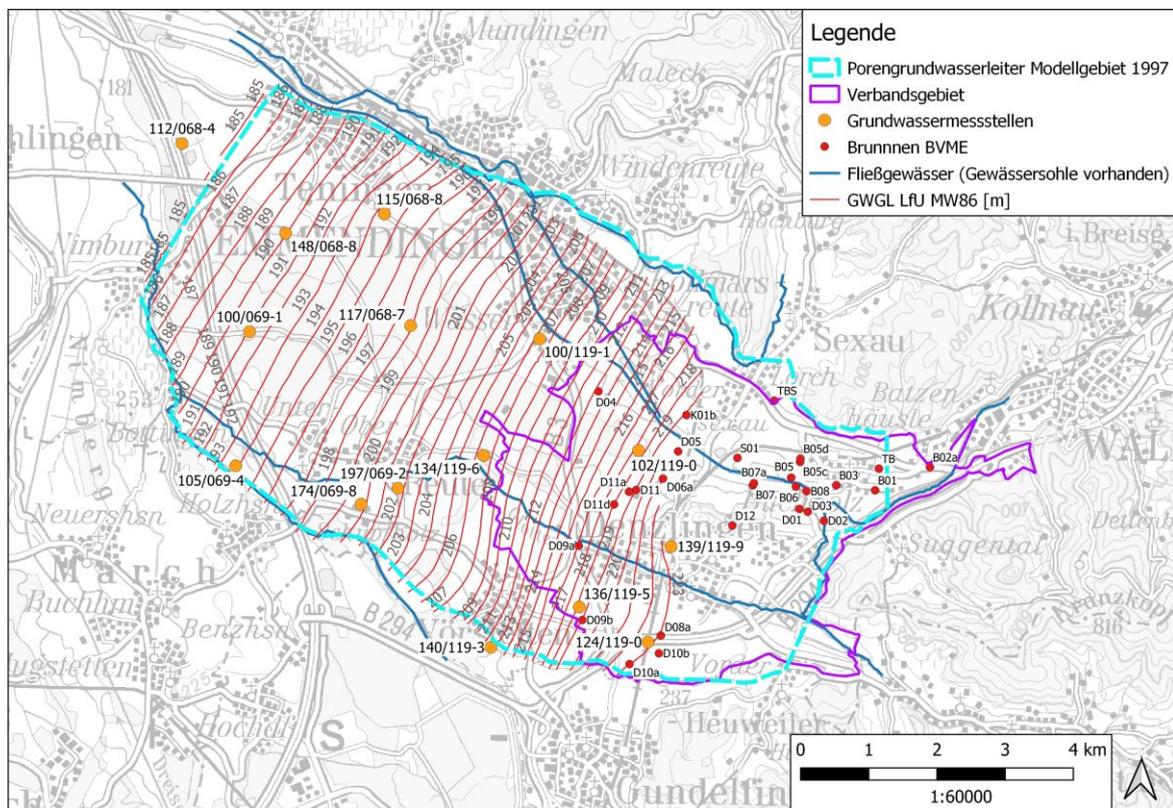


Abbildung 10: Übersichtskarte für alle Grundwassermessstellen, Brunnen BVME und den Grundwassergleichen für Mittelwasser 86 [LfU, 2001]

Tabelle 5: Der TBS (Sexau) liegt in großer Entfernung zu den Fließgewässern und beeinflusst diese nicht (vergleiche Abbildung 15)

GWM-Nummer	Messstellen- bezeichnung	GOK	Teufe	Filter (Anfang)	Filter (Ende)	Gewässer- sohle	Gewässer- entfernung
		[m ue. NN]	[m u. GOK]	[m u. GOK]	[m u. GOK]	[m ue. NN]	[m]
100/069-1	3556 NIMBURG 4	192,51	7,4	7	7,4	188,49	1281
100/119-1	GWM 1397 Baseler Straße, Wasser	210,58	8	6	8	205,31	211
102/119-0	3557 DENZLINGEN 2	221,44	9,5	4,1	9,1	219,36	515
105/069-4	3049 VOERSTETTEN 1	194,47	4,9	0,9	4,9	193,53	122
112/068-4	3555 TENINGEN 2	184,44	6,4	2,4	6,3	182,19	1023
115/068-8	GWM 1284 A, Teningen	196,42	6,2	4,2	6,2	193,19	1122
117/068-7	3554 TENINGEN 4	201,27	9,1	4,1	9	203,12	1792
124/119-0	GWM 1199A, Denzlingen	234,76	16	-	-	232,41	973
134/119-6	3697 VOERSTETTEN	209,58	8,2	8	8,2	207,88	173
136/119-5	3701 DENZLINGEN	226,98	21	20	20,2	219,27	918
139/119-9	DENZLINGEN	234	15	12,7	14,8	228,05	426
140/119-3	3055 VOERSTETTEN	213,36	4,7	3,4	4,7	209,41	678
148/068-8	3694 TENINGEN	191,04	9,3	5,2	9,2	184,88	1880
174/069-8	1186 A LEIMENSTOLL	202,17	7,1	4,1	7,1	199,35	332
197/069-2	3050 OBERREUTE 1	203,44	6,9	0,8	6,9	203,45	253

Die Grundwassermessstellen, deren Geländehöhe, die Teufe, die Höhe der nächstgelegenen Grundwassersohle und deren Entfernung zum Gewässer sowie den Filtertiefen können der Tabelle 6 entnommen werden. Eine Übersichtskarte der Grundwassermessstellen ist in Abbildung 10 zu sehen.

5.2.1 Allgemeine Aussagen

Allgemein nehmen die Grundwasserflurabstände im Elz-Glotter-Schwemmfächer von Ost nach West hin ab. Auch die gemessene Grundwasseramplitude der Beobachtungsperiode nimmt von Osten nach Westen ab. Anhand des Grundwassergleichenplan für mittlere Grundwasserverhältnisse MW86 [LfU, 2001] (vergleiche Abbildung 10) ist zu erkennen, dass die Grundwasserfließrichtung generell von Ost nach West (Südost nach Nordwest) verläuft und das Grundwassergefälle von Ost nach West hin abnimmt.

Ähnlich zum Flurabstand verhält sich der Abstand der Gewässersohle der Fließgewässer zum Grundwasserspiegel mit einer Abnahme von Ost nach West.

Prinzipiell ist anhand der Grundwasserstände zu erkennen, dass der Porengrundwasserleiter von der Grundwasserneubildung in den Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonaten, selten auch in den Sommermonaten gespeist wird. Kurz nach Einsetzen der Grundwasserneubildung im Herbst ist ein Anstieg des Grundwasserspiegels erkennbar. Der zeitliche Versatz zwischen Grundwasserneubildung und Grundwasseranstieg ist vergleichsmäßig gering und es kann von einer zeitnahen Reaktion des Grundwassers auf die Grundwasserneubildung gesprochen werden. Die Grundwasserneubildung und die Fließgewässerinfiltration sind die Hauptkomponenten, aus denen das Grundwasserdargebot lokal im Gebiet gespeist wird. Abschnitte mit negativer Grundwasserneubildung korrelieren mit geringen Grundwasserständen und kommen vermehrt in den letzten Jahren seit 2009 vor.

Je näher eine Grundwassermessstelle am Fließgewässer gelegen ist, desto höher ist der Einfluss des Fließgewässers auf den Grundwasserspiegel. Dies ist im Osten des Schwemmfächers meist durch sprunghafteres Verhalten der Grundwassermessungen, abgesehen von der Jahresdynamik, zu erkennen. Der Grund ist eine erhöhte Infiltration, besonders durch Hochwasserdurchgänge. Gewässernahe Grundwassermessstellen haben zudem eine geringere Grundwasseramplitude durch kontinuierliche Fließgewässerinfiltration/-exfiltration. Im Westen weisen die gewässernahen Grundwassermessstellen auch eine geringe Grundwasserschwankung auf, jedoch ist dies eher durch Aufstauungseffekte des Grundwassers an der Riegeler Pforte und am Nimberg zu erklären. In Westen des Elz-Glotter-Schwemmfächers herrschen eher exfiltrierende Verhältnisse des Grundwassers und somit entwässert der Grundwasserleiter über die Fließgewässer. Im restlichen Gebiet des Elz-Glotter-Schwemmfächers herrschen teils wechselnde Verhältnisse der Fließgewässer zwischen Infiltration und Exfiltration besonders an der Elz und werden im Einzelnen genauer beschrieben.

Dies sind alle Argumente dafür und bestätigen die Ansicht, dass der Porengrundwasserleiter des Elz-Glotter-Schwemmfächers als eine Art Wanne angesehen werden kann, die von Ost nach West durch das Grundwasser gefüllt wird und an der Riegeler Pforte beim Übergang in den Rheintalschotter seinen Überlauf bzw. Auslauf hat.

Um das Verhalten des Systems gebietsweise besser beurteilen zu können, wurde es in verschiedene Zonen unterteilt, deren Beobachtungsstellen ein gleiches oder ähnliches Verhalten aufweisen.

5.2.2 Grundwassermessstellen im Bereich Verbandsgebiet

Ein vergleichbares Verhalten weisen die Grundwassermessstellen, die im Verbandsgebiet des BVMEs liegen, auf. Die Messstellen 139/119-9, 124/119-0 und 136/119-5 (Anhang 5: Plot 5.11, 5.8 und 5.10) zeigen einen vergleichsweise großen Flurabstand, große Grundwasseramplituden und einen geringeren Einfluss durch Gewässerinfiltration.

Einzig die Grundwassermessstelle 139/119-9 unterscheidet sich durch ihre Nähe zur Glotter mit nur etwa 425 m Entfernung zeigt in Ihrem Verhalten den Einfluss der Abflussverhältnisse auf die beobachtete Grundwasserdynamik verbunden mit einer fast sprunghaften Reaktion auf Abflussspitzen.

Wie im Abschnitt 6.5 beschrieben wird, schwebt die Glotter hydraulisch entkoppelt über der Grundwasseroberfläche und trägt nur durch eine rein gravitativ gesteuerte Gewässerinfiltration zur Grundwasserneubildung auf der Gesamtstrecke durch das Verbandsgebiet bei, - dies bestätigen die jeweils benachbarten Sohlhöhen.

- Mit zunehmender Entfernung reduziert sich der direkte Einfluss der Fließgewässer und ab ca. 1000 m dominiert der Einfluss der flächenhaften Grundwasserneubildung das Verhalten

Alle drei Grundwassermessstellen starten 1989 auf einem hohen Grundwasserspiegelniveau und weisen einen vergleichbaren Verlauf über die Beobachtungsperiode hinweg auf. Im Jahr 1990 gab es die geringste Grundwasserneubildung im Beobachtungszeitraum, was den Grundwasserstand über das ganze Jahr hinweg absinken ließ, ohne dass es zu einem deutlichen Impuls der Speicherfüllung kam. Im darauffolgenden Jahr war die Grundwasserneubildung erneut deutlich unterdurchschnittlich, was nach einem minimalen Grundwasseranstieg zu einem weiteren Absinken des Grundwasserniveaus führte.

Durch diese zwei aufeinanderfolgenden Jahre ergaben sich kumulative Effekte, die das Grundwasserniveau zumindest im südlichen und nordwestlichen Verbandsgebiet insgesamt um bis zu mehreren Metern absinken ließen.

Für das östlich und nordöstliche Verbandsgebiet erfolgt bisher kein entsprechendes Monitoring der Grundwasserstände (weitere Aussagen siehe Kap. 6.2), so dass hier auf diese Art bzw. Nachweis keine entsprechenden Schlüsse ziehen lassen.

An allen drei Grundwassermessstellen ist dasselbe Verhalten erkennbar und sie verzeichnen Ende 1993 den niedrigsten Grundwasserstand der 30-jährigen

Beobachtungsperiode. Erst 1994/1995 folgten zwei Jahre mit überdurchschnittlich hoher Grundwasserneubildung und bewirken eine Speicherfüllung verbunden mit einem Anstieg der Grundwasserstände um ca. 3m.

Im Jahre 2003 gab es eine durchschnittliche jährliche Grundwasserneubildung, die geprägt von einer 4-monatigen negativen Grundwasserneubildung war. Zudem herrschte über einen längeren Zeitraum im Spätsommer Niedrigwassersituation der Elz, was nahelegt, dass die Elz teilweise im Verbandsgebiet trockengefallen sein könnte. Dadurch sank der Grundwasserstand über das ganze Jahr erneut wieder stark ab.

Von diesem niedrigen Grundwasserniveau erholte sich der Aquifer über die Jahre 2004 bis 2012 mit durchschnittlichen bis geringen Grundwasserneubildungen nur wenig und verharrte, abgesehen von der Jahresdynamik des Grundwassers, mehr oder weniger auf demselben Grundwasserniveau. Ab 2009 traten häufiger negative monatliche Grundwasserneubildungen und Niedrigwasserphasen, was den Grundwasserstand in der zweiten Phase dieser Periode noch weiter absinken ließ.

Erst das Jahr 2013, im Jahr mit der höchsten Grundwasserneubildung der 30-jährigen Beobachtungsperiode, gab es einen deutlichen Grundwasseranstieg über mehrere Meter. In der Abflussdynamik der Elz, ist auch zu erkennen, dass im Winter und Frühjahr die Elz über einen längeren Zeitraum hohe Abflüsse hatte.

Zum Ende der Beobachtungsperiode fielen die Grundwasserstände wieder. Die Grundwasserneubildung im Jahr 2017 lag erneut nur minimal über dem niedrigsten Wert von 1990 und ließ die Grundwasserstände wieder stark sinken. Durch eine durchschnittliche Grundwasserneubildung, geprägt von einer 4-monatigen negativen monatlichen Grundwasserneubildung und Niedrigwasser der Elz im Sommer des Trockenjahrs 2018, erholte sich das System bis heute nicht und der Grundwasserstand verharrt derzeit an diesen Grundwassermessstellen auf einem niedrigen Niveau.

Dieses, direkt an die flächenhafte Grundwasserneubildung gekoppelte Verhalten ist grundsätzlich über die gesamte Beobachtungsperiode zu erkennen. Die Grundwasserneubildung regelt insofern maßgeblich das Grundwasserniveau (bzw. die Speicherfüllung) im Verbandsgebiet und erklärt die unterschiedlichen Grundwasserniveaus über mehrere Jahre hinweg.

In diesem Bereich ist der Einfluss der Fließgewässer nicht zwangsläufig ableitbar, aber wohl trotzdem vorhanden. Unterdurchschnittliche Abflüsse der Elz treten zu den gleichen Zeitabschnitten wie niedrige Grundwasserstände auf.

Die Grundwasserentnahme des BVME zählt zwangsläufig auch zu den Einflussgrößen auf den Grundwasserspiegel, besonders im Verbandsgebiet, ist

jedoch nicht die primäre Einflussgröße auf den Grundwasserspiegel, dies wird in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt (s. Kapitel 6).

Mengenmäßig ist die Grundwasserentnahme des BVMEs im Vergleich zu den anderen Einflussgrößen eher als gering einzuschätzen und in unmittelbarer Nähe der drei Grundwassermessstellen im Verbandsgebiet wurde zudem nur ein kleiner Teil der Gesamtentnahme des BVME entnommen. Die Spitzenentnahmen durch den BVME betragen in den letzten Jahren bis 450.000 m³/Jahr, verteilt auf 150 Tage gerechnet, etwa 35 l/s, bei einer Monatsspitzenentnahme von 100.000 m³/Monat wären dies ca. 38,5 bei 150.000 m³/Monat wären dies ca. 58 l/s im Vergleich zu einer jährlichen Grundwasserneubildung bezogen nur auf das Verbandsgebiet von 230 l/s.

Auffällig bezüglich des Einflusses durch die Grundwasserentnahme des BVME sind die Jahre 2016 und 2017 im Verbandsgebiet. In diesen beiden aufeinanderfolgenden Jahren war die Grundwasserentnahme vom BVME mit 270.000 m³/Jahr und 280.000 m³/Jahr vergleichbar groß. Auch die Entnahmen im direkten Umfeld der Grundwassermessstellen sind in derselben Größenordnung. Jedoch unterscheidet sich das Verhalten der Grundwasserstände in diesen beiden Jahren maßgeblich. Im Jahr 2016 steigt der Grundwasserspiegel um mehr als 2 m, wohingegen im Jahr 2017 der Grundwasserspiegel um etwa 3 m absinkt. Dies bestätigt, dass die Grundwasserentnahme im Verbandsgebiet durch den BVME nicht die primäre Einflussgröße auf den Grundwasserspiegel darstellt.

Alle drei Grundwassermessstellen haben über den Beobachtungszeitraum einen minimal steigenden Trend (nicht signifikant). Dies legt nahe, dass die Grundwasserniveauschwankungen in diesem Ausmaß durchaus natürlich sind und der Zustand des Porengrundwasserleiters im Verbandsgebiet trotz teilweise über mehrere Jahre hinweg niedrigen Grundwasserständen, im Gleichgewicht anzusehen ist. Eine permanente Entleerung (negativer Trend) oder Übernutzung durch die erfolgte Bewirtschaftung ist nicht zu erkennen.

5.2.3 Grundwassermessstellen an der Elz

Die Grundwassermessstellen entlang der Elz Grundwassermessstellen 102/119–0 (im Bereich Kollmarsreuter Wehr), welche sich noch im Verbandsgebiet befindet, und 100/119–1 (im Bereich Wasserer Wehr) weisen vergleichbares Verhalten auf (Anhang 5: Plot 5.3 und 5.2). Sie liegen beide nur ca. 200 m von der Elz entfernt.

An der Charakteristik der Grundwassermessstelle 102/119–0 ist der deutliche, bzw. maßgebliche Einfluss durch die Elz zu erkennen, - als hydraulische Randbedingung stützt die Elz ganzjährig das Grundwasserniveau und bestimmt mit Ihrem Abflussverhalten maßgeblich die Dynamik der Grundwasserspiegellage,

wobei, bedingt durch Ihrer beider besonderer Lage im Bereich von Wehren hier folgende Unterschiede auftreten

- a) 100/119-1 ca. 200 m Entfernung, abstromig zum Wasserer Wehr gelegen, in dessen Aufstaubereich ganzjährig exfiltrierende Verhältnisse vorherrschen, und bedingt durch Aufstau und Umströmung des Wehres, - im Bereich der Messstelle selbst dann ganzjährig infiltrierende Verhältnisse bestehen.
- b) 102/119-0 ca. 500m südlich des Kolmarsreuters Wehr in seinem exfiltrierenden Aufstaubereich gelegen; - hier sind insbesondere auch im Niedrigabflussbereich mit deutlich infiltrierenden Verhältnissen, d.h. erheblichen lokalen Wasserverlusten der Elz zu rechnen.

Je weiter vom Gewässer entfernt, desto stärker paust sich die Dynamik der Speicherfüllung und Entleerung durch Variabilität der flächenhaften Grundwasserneubildung (s. Kap 5.2.2. Messstellengruppe: „Grundwassermessstellen im Bereich Verbandsgebiet“) durch, verbleibt von seinem Einfluss jedoch gegenüber dem Gewässereinfluss untergeordnet.

Übereinstimmend weisen diese Grundwassermessstellen keine Grundwasserniveauunterschiede von mehreren Metern im Beobachtungszeitraum auf. Grundwasserauffüllung bzw. Grundwasserentleerung oder kumulative Veränderungen über mehrere Jahre hinweg sind nicht bzw. nur gering zu erkennen (z.B. Jahr 2003).

Die geringe Grundwasserstandsamplitude von 1.5 m bis 2.5 m in diesem Gebiet zeigt, dass die Elzinfiltration den Grundwasserstand in diesem Bereich maßgeblich stützt und es somit zu keinen starken Grundwasserabsenkungen kommt. Jahre mit hoher/geringer Grundwasserneubildung wirken sich daher nicht so deutlich aus, der Einfluss der Elz nimmt jedoch mit zunehmendem Abstand zum Gewässer ab.

Im Jahr 2003 und 2018 sind die Grundwasserabsenkung an allen zwei Grundwassermessstellen an der Elz am ausgeprägtesten. Dies zeigt den Einfluss der langen Niedrigwasserphase der Elz und der jeweils 4-monatigen negativen Grundwasserneubildungsperiode zur selben Zeit. Bei Niedrigwasser der Elz kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Elz im Elz-Glotter-Schwemmfächer abschnittsweise trockengefallen ist.

Dennoch paust sich selbst hier in Gewässernähe der Einfluss der Grundwasserneubildung durch. Im November 2002 gab es die größte monatliche Grundwasserneubildung mit 134 mm/Monat und kurze Zeit später den höchsten gemessenen Grundwasserstand in der Beobachtungsperiode bei diesen beiden Grundwassermessstellen.

In der Nähe der Grundwassermessstelle 102/119–0 wurde durch den BVME über die letzten Jahre hinweg in gleichbleibender Größenordnung Grundwasser entnommen. Eine Grundwasserabsenkung durch diese Entnahmen ist anhand der Datengrundlage nicht zu erkennen.

Grundwassermessstelle 102/119–0 weist einen schwach fallenden Trend, die Grundwassermessstelle 100/119–1 einen minimal steigenden Trend über die Beobachtungsperiode hinweg aus. Beide Trends sind jedoch nicht signifikant. Eine Veränderung des Systemverhaltens ist nicht zu erkennen.

5.2.4 Grundwassermessstellen an der Glotter

Ähnlich wie die Grundwassermessstellen in der Nähe der Elz verhalten sich die Grundwassermessstellen in der Nähe der Glotter. Darunter fallen die Grundwassermessstellen 197/069–2 und 134/119–6 (Anhang 5: Plot 5.15 und 5.9).

Bei diesen Grundwassermessstellen kann jedoch wieder eine ausgeprägtere Grundwasserdynamik durch die Grundwasserneubildung beobachtet werden. Daraus schließt sich, dass der hydraulische Einfluss der Glotter (in vgl. Nähe) geringer ist als der der Elz. Dies ist auch anhand der geringeren Abflussmengen der Glotter erklärbar.

Die Sohlhöhen der Glotter liegen selbst bei hohen Abflüssen und Grundwasserständen noch minimal über dem Grundwasserspiegel, bei mittleren Grundwasserständen ca. 2 m unter Gewässersohle. Somit herrschen bei beiden Grundwassermessstellen (noch) infiltrierende Verhältnisse. Der Flurabstand mit wenigen cm bzw. weniger als 2 m ist bereits gering und die geringe (gedämpfte) Grundwasseramplitude der Grundwassermessstellen mit 2.2 m -2.7m zeigt bereits den Einfluss des Rückstaubereiches im Schatten des Nimbergs.

Das heißt, die Besonderheiten, die nicht anhand dieser beiden Einflussgrößen beschrieben werden können, sind bei diesen beiden Grundwassermessstellen nicht zu erkennen. Die Trendanalyse für die Beobachtungsperiode zeigt für beide Grundwassermessstellen einen (nicht signifikanten) leicht positiven Trend hin zu höherer Speicherfüllung.

5.2.5 Grundwassermessstellen Südlicher Aquiferrand

Die Grundwassermessstellen 105/069–4, 174/069–8, 140/119–3 (befindet sich minimal außerhalb der definierten Fläche für Porengrundwasserleiter) und 100/069–1 weisen ein vergleichbares Verhalten auf (Anhang 5: Plot 5.4, 5.14, 5.12 und 5.1) und beschreiben den südlichen Rand des Elz-Glotter-Schwemmfächers.

Auffällig ist, dass diese Grundwassermessstellen eine sehr geringe Grundwasseramplitude aufweisen. In der 30-jährigen Beobachtungsperiode schwankt der Grundwasserstand in den Grundwassermessstellen nur zwischen 0.7 m und 1.4 m. Die beiden östlich gelegenen Grundwassermessstellen 174/069–8 und 140/119–3 haben einen Grundwasserflurabstand von nur 1 bis 2 m. Bei den beiden westlich gelegen Grundwassermessstellen 105/069-4 und 100/069–1 ist der Grundwasserflurabstand sogar nur wenige Dezimeter bis 1 m. Dies zeugt von einem sehr konstanten Grundwasserspiegel, welcher einerseits von den umliegenden Fließgewässern gestützt und natürlich auch von der Grundwasserneubildung beeinflusst wird.

Am Auslauf des Elz-Glotter-Schwemmfächers kommt es durch die südliche Aquiferbegrenzung durch den Nimberg und der Verengung des Fließquerschnittes an der Riegeler Pforte zu Aufstauwirkungen. Es ist anzunehmen, dass die Aufstauwirkungen am südlichen Rand der Hauptgrund für den kontinuierlichen Grundwasserstand sind. Aus den bisherigen Gutachten wurde kein nennenswerter Randzufluss oder Abfluss aus südlicher Richtung für den Porengrundwasserleiter beschrieben.

Am stärksten ist der Aufstauwirkung an der Grundwassermessstelle 100/069–1 zu erkennen, trotz der großen Entfernung von etwa 1900 m zu den Fließgewässern. Die Grundwassermessstellen 174/069–8 und 105/069–4 liegen nur etwa 120 m bzw. etwa 330 m von der Glotter entfernt. An diesen Grundwassermessstellen ist der Grundwasserspiegel höher als die umliegenden Gewässersohlen gelegen und weist darauf hin, dass es zu einer Exfiltration von Grundwasser in das Fließgewässer kommt und damit die Gewässer als Drainage wirken, um das Überschusswasser ganzjährig abzuführen.

Der Grundwasserverlauf zeigt in Ansätzen, die Grundwasserneubildungsdynamik der Beobachtungsperiode, auch die Grundwassermessstelle 140/119–3, welche minimal außerhalb des definierten Gebiets des Porengrundwasserleiters des Elz-Glotter-Schwemmfächers liegt. Die Trendanalyse zeigt einen nicht signifikanten, minimal steigenden Trend und damit kein Anzeichen für eine negative Entwicklung oder Übernutzung.

5.2.6 Grundwassermessstellen am Auslauf der Riegeler Pforte

Die Grundwassermessstellen, 148/068–8 und 112/068–4 beschreiben das Gebiet am Auslauf des Elz-Glotter-Schwemmfächers (Anhang 5: Plot 5.13 und 5.5). Die Grundwassermessstelle 112/068–4 liegt schon leicht außerhalb des definierten Gebiets des Porengrundwasserleiters im Übergangsbereich des Elz-Glotter-

Schwemmfächers in den Rheintalschotter. Diese Grundwassermessstellen haben ein vergleichbares Verhalten wie die typischen Grundwassermessstellen für den südlichen Aquiferrand (siehe Kapitel 5.2.5). Eine geringe Grundwasseramplitude von höchstens 2.4 m zeigt, dass hier noch Stützeffekte des hydraulischen Randes zu erkennen sind. Eine Gewässerexfiltration ist anhand der Höhe der Gewässersohlen zu vermuten, jedoch liegen die Gewässer in etwa zwei Kilometer und einen Kilometern Entfernung und damit ist dieser Einfluss als gering einzuschätzen. Der Jahresverlauf der Grundwasserneubildung kann wieder in Ansätzen nachvollzogen werden. Die lineare Trendauswertung zeigt einen minimalen (nicht signifikanten) Anstieg des Grundwassers in den Grundwassermessstellen.

5.2.7 Grundwassermessstellen 115/068–8 und 117/068–7

Die zwei verbleibenden Grundwassermessstellen 115/068–8 und 117/068–7 im Elz-Glotter-Schwemmfächer weisen kein typisches Verhalten für einen Bereich auf (Anhang 5: Plot 5.6 und 5.7). Jedoch kann das Verhalten wieder mit den Einflussgrößen Grundwasserneubildung und Gewässerinfiltration/Exfiltration erklärt werden. Die Grundwasseramplitude ist verhältnismäßig groß mit Werten zwischen 2.4 m und 4.3 m und zeugt eher von einem größeren Einfluss durch Grundwasserneubildung als durch eine kontinuierlichere Gewässerinfiltration. Die Entfernung der Fließgewässer ist mit über einen Kilometer und fast zwei Kilometern als sehr groß einzuschätzen und eine Gewässerbeeinflussung spielt eher eine geminderte Rolle. Der Jahresverlauf der Grundwasserneubildung der Beobachtungsperiode ist in Ansätzen wieder zu erkennen. Die Grundwassermessstelle 115/068–8 zeigt hat einen leicht sinkenden Trend, hingegen die Grundwassermessstelle 117/068–7 einen leicht steigenden Trend.

6 Bewertung der Brunnen des BVME

Zur Bewertung der Auswirkungen der Grundwasserentnahme der Brunnen des BVME muss die individuelle Situation der einzelnen Brunnen analysiert und bewertet werden. In Gewässernähe muss zusätzlich bewertet werden inwieweit eine Grundwasserentnahme eine Infiltration oder Exfiltrationsituation am Fließgewässer beeinflusst.

6.1 Datengrundlage

Die Datengrundlage für den gesamten Elz-Glotter-Schwemmfächer an Grundwasserständen ist vor allem im östlichen Teil des Verbandsgebiet wegen fehlenden Grundwassermessstellen und fehlendem Monitoring nicht vorhanden. Eine Bewertung ist deswegen nur schwer für diesen Teil durchzuführen. Die Grundwassergleichenpläne aus dem Oberrheingraben aus dem Untersuchungsprogramm der LfU [2001], die den Großteil von Baden-Württemberg beschreiben, decken nicht den gesamten Elz-Glotter-Schwemmfächer ab. Die Randbereiche östlich der Schwarzwaldrandverwerfung des Elz-Glotter-Schwemmfächers sind nicht in den Niedrig-, Mittel- und Hochwasser-Grundwassergleichenplänen enthalten. Die Grundwassergleichen enden stets auf Höhe der Schwarzwaldrandverwerfung bei Denzlingen. Der online zur Verfügung stehende Grundwassergleichenplan vom Landkreis Emmendingen gibt ebenfalls keine Informationen über die Grundwasserstände östlich der Schwarzwaldrandverwerfung.

Tabelle 6: Auswertung der Grundwasserstände und „Kurzzeit-Pumpversuche“ der Stichtagsmessung vom 21.06.2019

Brunnen	Stichtagsmessung	MOK [m]	GWS [m]	Teufe [m]	Pumprate [l/s]	Pumpdauer [s]	Absenkung [m]
B05	21.06.2019	234,60	232,14	8,50	1,18	180,00	0,49
D03	21.06.2019	236,50	234,87	6,90	2,08	120,00	0,16
B07a	21.06.2019	231,70	228,34	7,50	2,33	60,00	0,05
D02	21.06.2019	239,30	236,67	8,50	5,88	180,00	0,25
B01	21.06.2019	241,80	240,43	7,00	7,69	300,00	0,51
S01	21.06.2019	230,40	227,61	7,40	12,50	180,00	0,31
B06	21.06.2019	235,10	232,94	7,70	14,29	600,00	0,24
B08	21.06.2019	236,40	234,10	8,60	16,67	3600,00	0,45

Aus diesem Grund wurde das ursprüngliche Bearbeitungskonzept um eine eintägige Messkampagne am 21-06-2019 mit Kurzpumpversuchen an den bestehenden, zugänglichen Beregnungsbrunnen erweitert, um eine erste, ergänzende Interpretation der Verhältnisse im nordöstlichen Verbandsgebiete zu ermöglichen.

Dabei wurden die Grundwasserstände gemessen und zudem kleine „Kurzzeit-Pumpversuche“ mit den Förderraten zwischen 2 und 17 l/s durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 aufgelistet.

6.2 Bewertung der Brunnen anhand Stichtagsmessung

Anhand der bei der Stichtagsmessung ermittelten Brunnenabsenkungen wurden Abschätzungen mit zwei Berechnungsformeln (nach Sichard, 1928 und nach Kusakin [in Strzodka, 1997]) für die Reichweite des Absenktrichters durchgeführt. Dabei wurden charakteristische Kf-Wert des Elz-Brettenbach-Systems mit 1.1 bis $1.3 \cdot 10^{-3}$ m/s aus dem Gutachten vom IHF [1997], ein Grundwassergefälle von 0.003 und eine Porosität von 0.15 angenommen. Die Abschätzungen der Absenktrichter für drei Brunnen mit unterschiedlicher Fördermenge sind in Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 7: Berechnung des Absenktrichters nach Sichard [1928] und nach Kusakin (in Strzodka) aus Sass [2007] für drei verschiedene Fördermengen.

Parameter	Einheit	Formel	Brunnen 1	Brunnen 2	Brunnen 3
Mächtigkeit des Aquifers [m]	[m ² /s]	M	10	10	10
Durchlässigkeit	[m/s]	$kf=Q/J \cdot F=vf/J$	0,0012	0,0012	0,0012
Transmissivität	[m ² /s]	$T=kf \cdot M$	0,0120	0,0120	0,0120
hyd. Gefälle	[-]	$J=h/l$	0,003	0,003	0,003
Fördermenge	[l/s]	$Q=kf \cdot J \cdot F$	3	6,5	15
Porosität	[-]	P	0,15	0,15	0,15
Absenkung (nach Sichard, 1928)	[m]	$s=Q/M \cdot kf$	0,20	0,30	0,40
Reichweite des Absenktrichters (nach Kusakin [in Strzodka, 1977])	[m]	$R=3000 \cdot s \cdot \text{Wurzel}(kf)$	21	31	42
Reichweite des Absenktrichters	[m]	$R=575 \cdot s \cdot \text{wurzel}(kf \cdot M)$	13	19	25

Die Plausibilitätsbereiche der Ausbreitung der Absenktrichter können somit auf etwa 15 m - 50 m bei Entnahmeraten zwischen 2 - 17 l/s angenommen werden, welche als sehr klein einzuschätzen sind.

Die Berechnungen wurden ohne stützenden Randzuströme durchgeführt und sind daher eher als konservativ zu betrachten. Stützende Randzuflüsse würden die Ausbreitung der Absenktrichter mindern.

6.3 Einschätzung der maximalen Wasserentnahmen

Als eine Art „worst-case“ Szenario für die Grundwasserentnahme des BVMEs wurde eine maximale monatliche Grundwasserentnahme von 146.000 m³ für die Berechnung in bewässerungsintensiven Monaten ermittelt [IHS, 2019]. Dies entspricht etwa einer maximalen Entnahme von 56 l/s. Um abschätzen zu können, welchen Einfluss diese Grundwasserentnahmen auf den Porengrundwasserleiter im Verbandsgebiet haben, werden im folgenden überschlägige Berechnungen durchgeführt, um die Größenordnungen der Absenkung bewerten zu können.

Eine Grundwasserentnahme von 146.000 m³ in einem Monat (56 l/s) ergibt auf die Gesamtfläche des Verbandsgebiets von 21 km² gerechnet eine maximale Grundwassermenge von 7 mm pro m². Bei der Annahme von einer Porosität von 10%–15% errechnet sich hieraus eine theoretische Absenkung des Porengrundwasserleiters für das gesamte Verbandsgebiet von 0.07 m bis 0.05 m. Die gleiche Rechnung für eine Entnahme von 100.000 m³ in einem Monat (38.5 l/s, bzw. eine Grundwassermenge von etwa 5 mm pro m²) ergibt eine Absenkung von 0.05 m bis 0.03 m. Dies ist konservativ gerechnet und beinhaltet nur eine theoretische Grundwasserentnahme ohne Berücksichtigung von Randzuströmen und Grundwasserneubildung. Stützende Randbedingungen würden diese Absenkungseffekte im Aquifer jedoch erheblich ausgleichen.

Im Vergleich zu einer Grundwasserentnahme von 7 mm pro Monat im Verbandsgebiet steht eine monatliche durchschnittliche Grundwasserneubildung von etwa 19 mm (Grundwasserneubildung pro Jahr im Verbandsgebiet: 230 mm).

6.4 Vergleich zwischen der natürlichen Systementleerung und berechnungsinduzierter Grundwasserabnahme

Ergänzend zur vorangehenden, hypothetischen „worst-case“ Szenario Überlegung soll anhand einer Auswertung der langjährigen Ganglinien der tatsächliche Einfluss der Grundwasserentnahmen anhand von realen Beobachtungsdaten bewertet, präzisiert und belegt werden.

Der nachfolgenden Analyse liegt folgende Überlegung zugrunde:

Hauptzustromkomponenten für den Grundwasserleiter bilden die Grundwasserneubildung und die Gewässerinfiltration. Zeitabschnitten ohne

relevante Grundwasserentnahmen und ohne relevante Grundwasserneubildung sowie zeitgleichen Niedrigwasserabflüssen repräsentieren das natürlichen Leerlauf-verhalten des Grundwassersystems.

Beim Vergleich eines Zeitabschnittes mit natürlichem Leerlaufen des Aquifers mit einem Zeitabschnitt mit denselben Randbedingungen und noch zusätzlicher Grundwasserentnahme kann abgeschätzt werden, wie groß die monatliche induzierte Absenkung des Grundwassers durch die Grundwasserentnahme ist.

Die Zeitabschnitte des natürlichen Leerlaufens des Aquifers treten verstärkt im Spätsommer/Herbst auf, wenn die Grundwasserneubildung minimal ist und die Fließgewässer sich im Niedrigwasserbereich bewegen. Der Zeitabschnitt der zusätzlich von Bewässerung geprägt ist, ist unmittelbar davor im Sommer/Spätsommer. Die Hauptbewässerung ist während der Vegetationsperiode und wird im Berechnungsplan definiert. Diese endet für das Verbandsgebiet Ende September.

Ein geeignetes Jahr, welches die gerade benannten Voraussetzungen im Verbandsgebiet erfüllt, ist das Jahr 2015. Ab Anfang Juli bis Mitte September war in diesem Jahr Niedrigwasserverhältnisse und die Gewässerinfiltration über diesen Zeitraum kann als minimal angenommen werden. Zudem war in den Monaten Juli, August und September eine negative Grundwasserneubildung und in den Monaten Oktober und November nur eine minimale Grundwasserneubildung. Da die Grundwasserneubildung eine verlangsamte Reaktionszeit hat, wird die Auswertung erst etwa 2 Wochen später begonnen.

- ➔ Sobald alle Daten für das Jahr 2018 vorliegen, könnte anhand einer vergleichbaren Auswertung für das Jahr diese Auswertung auf eine noch breitere Basis gestellt werden.

Der Berechnungsverband hat über das Jahr 2015 verteilt etwa 385.000 m³/Jahr entnommen. Die genauen Entnahmezeitpunkte sind nicht bekannt, jedoch kann die Gesamtentnahme als sehr groß eingeschätzt werden und bewegt sich auch in der Größenordnung der zukünftig beantragten Grundwasserentnahmemenge von 500.000 m³/Jahr. Für die Monate Juli/August kann hier jeweils von einer Entnahme in Größenordnung von 100.000 m³ durch den BVME (ca. 38,5 l/s) ausgegangen werden; für den Sportplatz Waldkirch-Buchholz eine Entnahme ca. 20.000 m³/Monat abgeschätzt werden.

In Folge werden die zwei Zeitabschnitte definiert, die für eine Abschätzung der berechnungsinduzierten Grundwasserabnahme erforderlich sind.

- Trend 1: Mitte Juli bis Ende September als Zeitraum der natürlichen Entleerung und Bewässerung
- Trend 2: Anfang Oktober bis Mitte November als Zeitraum der natürlichen Entleerung ohne Bewässerung

Ausgewertet wurden nur Grundwassermessstellen, die im Verbandsgebiet liegen. Dazu gehören die vier Grundwassermessstellen 102/119–0, 124/119–0, 136/119–5 und 139/119–9. Deren Auswertung ist im Anhang 6 (Plot 6.3, Plot 6.8, Plot 6.10, Plot 6.11) (mit derselben Nummerierung der Plots durchgeführt wie im Anhang 5). Die Abbildungen sind genau wie im Kapitel 5 aufgebaut und wie Kapitel 5 beschrieben. Zusätzlich wurden für die zwei zu analysierenden Zeitabschnitte noch lineare Trendanalysen durchgeführt (Trend 1, Trend 2), um die monatliche Abnahme des Grundwasserstandes berechnen zu können. Diese sind in der Legende unten links abgebildet.

Die Grundwassermessstelle 124/119–0 liegt am südöstlichen Rand des Verbandsgebietes, südlich von Denzlingen genau an der Bahnlinie Freiburg Offenburg. Beim Vergleich der beiden Zeitabschnitte (Trend 1 und Trend 2) zeigt sich nur ein minimaler Unterschied zwischen der Entleerung mit (- 33 cm/Monat) und ohne Grundwasserentnahme (- 30 cm/Monat) des BVMEs. Das zeigt, dass diese Grundwassermessstelle eine geringe Absenkung (- 3 cm/Monat) durch die Brunnen des BVME erfährt.

Generell kann die Aussage getroffen werden, dass trotz Niedrigwasser der Einfluss in Nähe der Fließgewässer gering ist. Dies ist an der Grundwassermessstelle 102/119–0 zu erkennen. Diese weist eine Absenkung durch die natürliche Entleerung von 6 cm/Monat und eine Absenkung mit Bewässerung von 12 cm/Monat aus. Daraus beläuft sich der Einfluss der Brunnen des BVMEs auf eine Absenkung von 6 cm/Monat.

An der Grundwassermessstelle 136/119–5 beträgt die natürliche Entleerungsrate 16 cm/Monat und wird durch den Einfluss der Beregnungsentnahme auf ca. 30 cm/Monat verstärkt. Der Einfluss ist hier von den Brunnen des BVME etwa 14 cm/Monat.

Am größten ist der Unterschied zwischen der natürlichen Entleerung und natürlichen Entleerung mit Bewässerung an der Grundwassermessstelle 139/119–9 mit 28 cm/Monat zu 49 cm/Monat. Das ergibt eine maximale erkennbare Entleerung von 21 cm/Monat an den vorhandenen Grundwassermessstellen im Verbandsgebiet.

Unter Berücksichtigung der Abschätzungen kann eine monatliche Grundwasserentnahme in Größenordnung von bis zu 100.000 m³, sowie eine

Einzelmonatliche Entnahme in Größenordnung von bis zu 150.000 m³, als eine aus hydraulisch hydrologischer Sicht vertretbare Größenordnung eingeschätzt werden, die durch die Grundwasserneubildung und die Grundwasserzuströme über das Jahr gesehen wieder ausgeglichen werden können.

6.5 Bewertung der Brunnen und Einfluss auf Fließgewässer

Zur Einschätzung der Beeinflussung der Fließgewässer durch die Grundwasserentnahme in den Brunnen des BVME werden die einzelnen Flussabschnitte der Fließgewässer beurteilt und bewertet. Dabei ist vor allem die Gewässersohlhöhe im Vergleich zum Grundwasserstand ausschlaggebend, um einschätzen zu können, inwieweit eine hydraulische Verbindung zwischen Grundwasser und Fließgewässer besteht, - oder die Gewässer als schwebende Gewässer hydraulisch entkoppelt über dem Grundwasserniveau schweben und rein gravitativ versickern. Die Grundwasserverhältnisse im Verbandsgebiet anhand der zur Verfügung stehenden Grundwassergleichen wird in Abbildung 11 dargestellt.

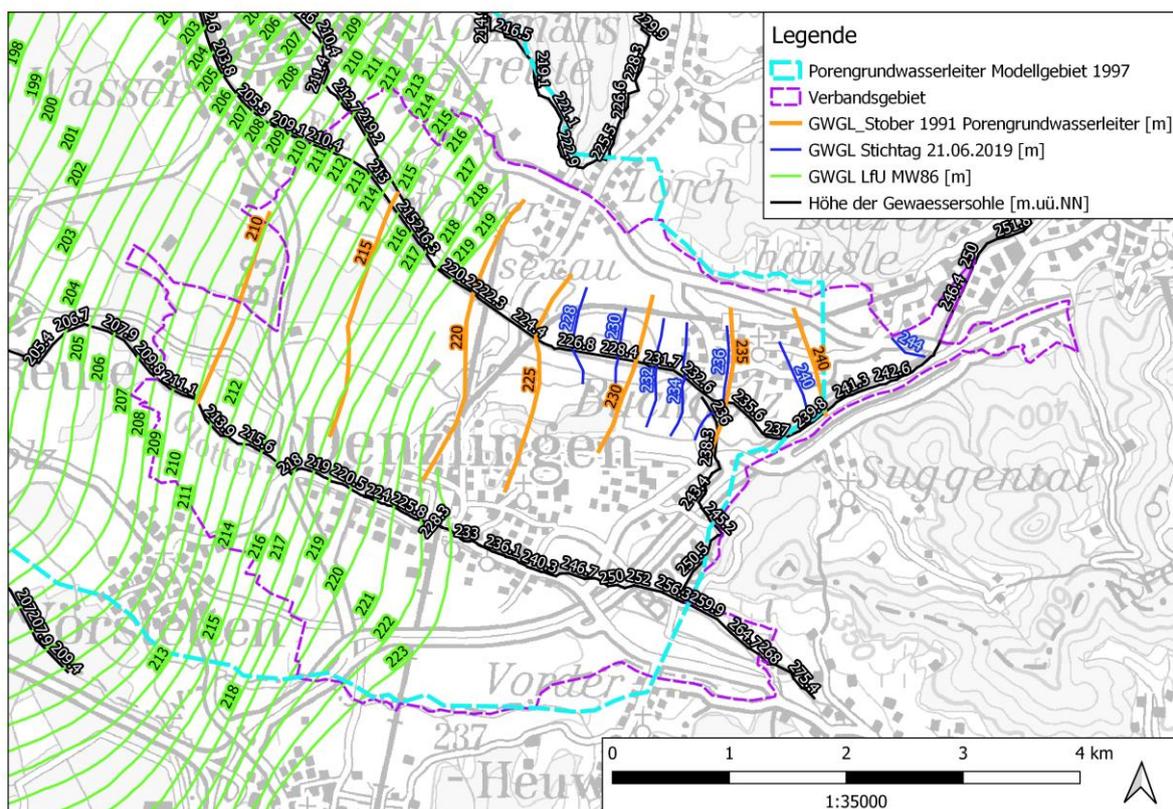


Abbildung 11: Grundwasserverhältnisse im Verbandsgebiet auf Grundlage der Grundwassergleichen von LfU 2001, Stober 1991, der Stichtagsmessung vom 21.06.2019 und die Höhen der Gewässersohle.

Die Höhen der Gewässersohlen liegen im Verbandsgebiet für Elz, Glotter und dem Kanal der Lossele vor. [LUBW, 2019a], - nicht jedoch für die übrigen Gewässer (z.B. Schwan und Feuerbach) und die zahlreichen Gräben (vergleiche Abbildung 10). Die Grundwassergleichen der mittleren Grundwasserverhältnisse 1986 für Baden-Württemberg [LfU, 2001] sind nur bis zur Bahnlinie Freiburg – Offenburg vorhanden. Die Grundwasserverhältnisse östlich der Bahnlinie im Verbandsgebiet wurden durch eine Stichtagsmessung am 21ten Juni 2019 erfasst und mit den Grundwassergleichen vom Dezember 1989 bei geringer Abflussleistung der Elz von Stober [1991] verglichen.

Das Strömungsbild des aus der Stichtagsmessung vom 21.06.2019 erstellten Grundwassergleichenplans konnte durch den Grundwassergleichenplan von Stober [1991] bestätigt werden (vergleiche Abbildung 11). Die gemessenen Grundwasserstände liegen dabei etwa 1-2 m über den Werten von Stober [1991]. Der Grundwassergleichenplan von Stober wurde anhand von Messungen im Dezember 1989, nach dem jährlichen Grundwasserminimum und zu Beginn der Grundwasserneubildungsperiode, erstellt. Die Stichtagsmessung im Juni 2019 hingegen ist eher dem Ende der Grundwasserneubildungsperiode mit (noch) höheren Grundwasserständen zuzuordnen, die sich bereits wieder im Absinken befanden. Die Stichtagsmessung vom 21.06.2019 ist als eine Grundwassersituation zu bewerten, die sich aufgrund der derzeitigen klimatischen Gegebenheiten im Bereich des Mittelwassers bewegt.

Der Einfluss der Brunnen kann in zwei Kategorien eingeteilt werden. Einerseits senken die Brunnen während des Pumpetriebs durch den lokalen Absenktrichter das Grundwasser ab und andererseits kann durch die Grundwasserentnahme eine generelle Absenkung des Grundwasserniveaus stattfinden.

Wie in Kapitel 6.2 dargestellt, zeigen die Beregnungsbrunnen mit ihren Förderleistungen von 2 bis 15 l/s im Betrieb aufgrund der i.d.R. hohen Durchlässigkeiten der erschlossene jungquartäre Schotter nur sehr geringe, betriebsbedingte Absenkungen (0,20 bis 0,50m) im Brunnen selbst (d.h. mit Brunnenwiderstand) - dadurch auch nur einen Absenktrichter mit geringer räumlicher Ausbreitung, der **eine Reichweite R von 50 m** in der Regel nicht überschreiten dürfte.

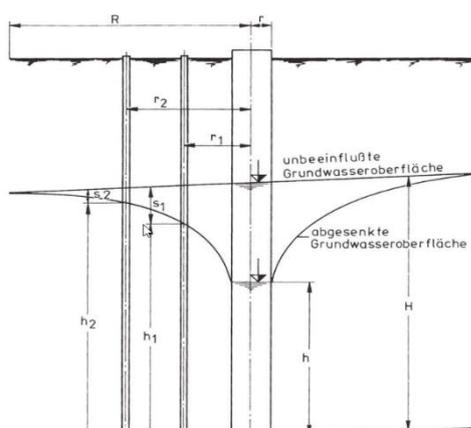


Abbildung 12: Schematische Brunnenabsenkung mit Absenktrichter von Sass [2007], unverändert.

Nebenstehende schematische Abbildung 12 zeigt die Ausbildung eines parabolförmigen Brunnenrichters für ungespannte Verhältnisse und verdeutlicht die Abnahme des

Absenkungsbetrags innerhalb des Wirkungsbereiches R [Sass, 2007].

Entsprechend ist auch für im Folgenden ausgewiesene Beregnungsbrunnen mit hydraulischem Einfluss auf das nahegelegene Gewässer der direkte räumliche Einflussbereich (in Relation zur unbeeinflussten Gewässerstrecke), wie auch die direkte Einflussintensität in der Bewertung des Einflusses zu berücksichtigen. Dementsprechend können während des Betriebs nur Brunnen, die in einer bestimmten Nähe zum Gewässer liegen überhaupt eine Auswirkung auf die Fließgewässer haben.

Beim Nord – Südvergleich der Gewässersohlhöhen von Glotter und Elz entlang der Grundwassergleichen ist zu erkennen, dass die Glotter höher liegt als die Elz. Auf Höhe von Buchholz liegt die Gewässersohle der Elz etwa zwischen 232 m - 237 m. Hingegen liegt die Glotter auf derselben Nord-Süd Achse zwischen 251 m – 256 m. Der Höhenunterschied der beiden Gewässer von 15 m – 20 m verringert sich durch das stärkere Gefälle der Glotter auf Höhe der Bahnlinie Freiburg – Offenburg auf etwa 5 m. An der westlichen Grenze des Verbandsgebiet befinden sich die Sohlhöhen der Gewässer Elz und Glotter etwa auf demselben Niveau mit etwa 210 m. Kurz vor Denzlingen wird ein Teil der Glotter durch den Lossele-Kanal in die Elz geleitet und nutzt dabei den Höhenunterschied der beiden Gewässer. Aus der Lossele wird zudem das Grabensystem des Feuerbachs/Schwan gespeist.

Aufgrund der Flurabstände geht hervor, dass die Glotter im Verbandsgebiet, außer direkt am westlichen Rand, ein schwebendes Gewässer darstellt. Das heißt sie hat keinen direkten hydraulischen Kontakt zum Grundwasser. Durch die Glotter findet hauptsächlich vertikale Gewässerversickerung in das Grundwasser statt. Hingegen steht die Elz durch die geringen Grundwasserflurabstände im Verbandsgebiet im hydraulischen Kontakt zum Grundwasser und weist in ihrem Verlauf wechselnde Verhältnisse zwischen Gewässereinfiltration und -exfiltration auf.

Der Kanal der Lossele ist bei Ausleitung der Glotter auch als schwebend einzustufen und ab Denzlingen kurz vor der Mündung in die Elz kann von einem hydraulischen Kontakt zwischen Grundwasser und Fließgewässer ausgegangen werden.

6.5.1 Bewertung der Brunnen im Bereich der Glotter

Die Brunnen D08a, D09b, D10a und D10b haben einen Mindestabstand von 800 m zur Glotter. Die Gewässersituation ist in Abbildung 13 dargestellt. Durch den großen Abstand und die schwebenden Verhältnisse der Glotter kann eine negative Beeinflussung des Gewässers (i.e. Verstärkung der Gewässereinfiltration) ausgeschlossen werden. Auch großräumige verstärkte Absenkung durch Entleerung des Grundwasserspeichers haben hier keinen Einfluss.

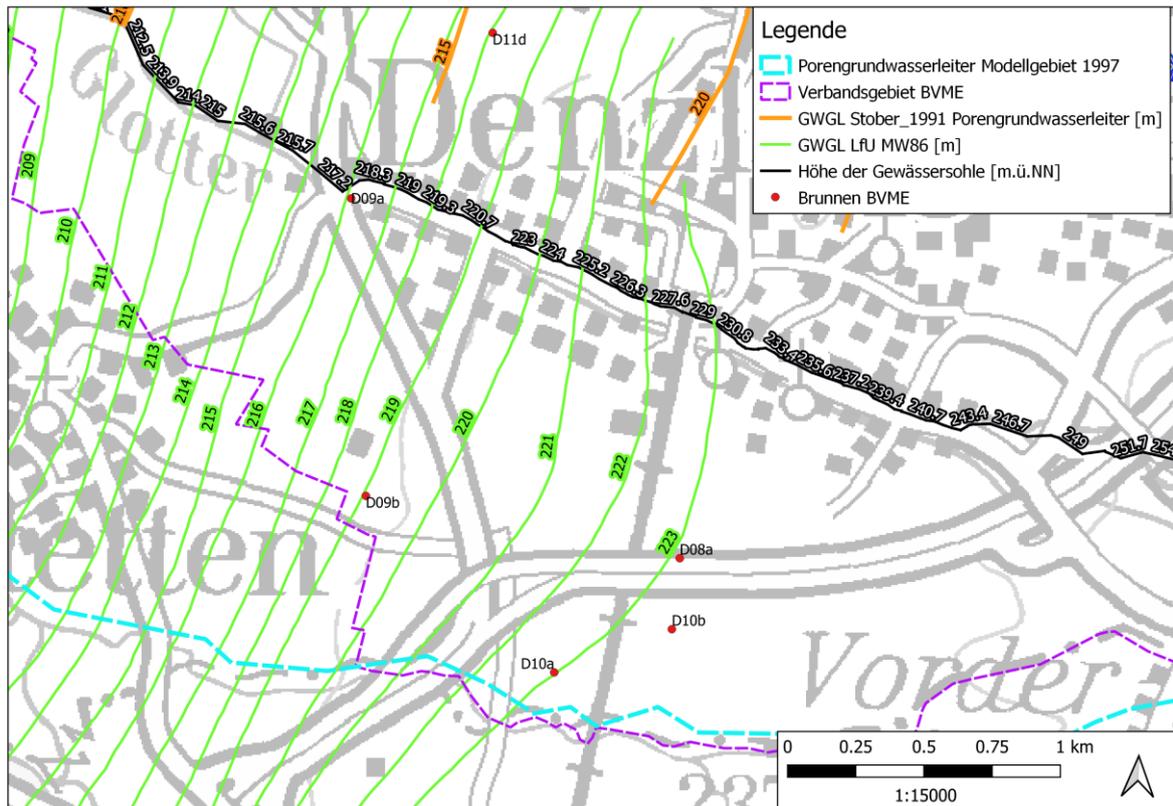


Abbildung 13: Gewässersituation für die Glotter mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.

Der Brunnen D09a liegt zwar in unmittelbarer Nähe (<50 m) zur Glotter mit einer Gewässersohllage von etwa nur noch 2 m über dem langjährig mittleren Grundwasserstand, so dass zwar bei höheren (unkritischen) Grundwasserständen möglicherweise bereits eine hydraulische Wechselwirkung und damit Beeinflussung auftreten kann, - jedoch bei (kritischeren) mittleren und niedrigeren Grundwasserständen eine hydraulische Beeinflussung durch Brunnenbetrieb ebenso mit hoher Sicherheit nicht zu erwarten.

6.5.2 Bewertung der Brunnen im Bereich des Feuerbachs

Die Gewässersituation für den Feuerbach ist in Abbildung 14 abgebildet. Die Brunnen D06a, D11 und D11a haben jeweils einen Mindestabstand von etwa 650 m zur Elz und Glotter, befinden sich aber in einer Entfernung unter 150 m in der Nähe des Feuerbachs, jedoch zumindest deutlich außerhalb der für diese Brunnen zu erwartenden Reichweite R des Absenkungstrichters.

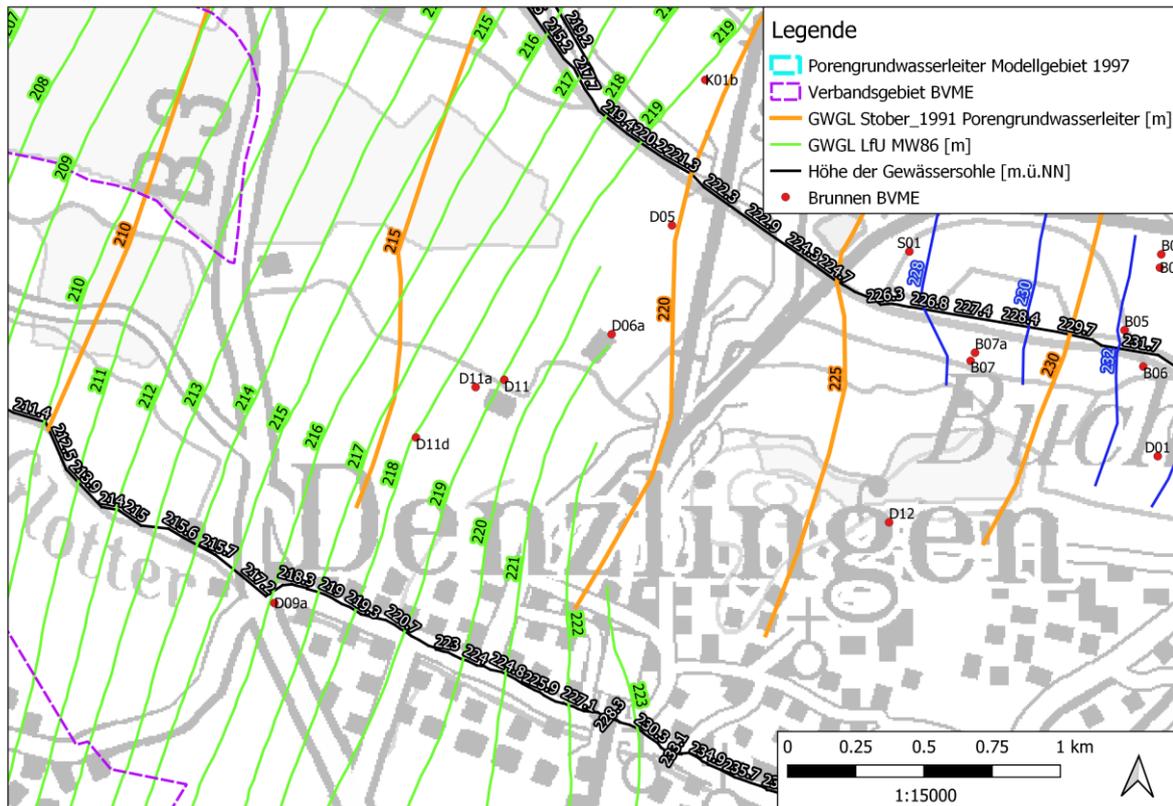


Abbildung 14: Gewässersituation für den Feuerbach mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.

Aufgrund der nicht vorliegenden Gewässersohlhöhen (Vermessungsdaten) können die Verhältnisse nur aus den bisherigen Untersuchungen abgeschätzt werden. Frühere Untersuchungen auf Grundlage vermessener Gewässersohlen weisen jedoch auch für den Schwan und Feuerbach im Bereich des Verbandsgebietes vorherrschend infiltrierende Verhältnisse mit in der Summe ganzjährig positiven Versickerungsraten von 3 bis 10 l/s aus [IHF, 1997]. Insofern sind insbesondere bei mittleren bis niedrigen Grundwasserständen bereits infiltrierende Verhältnisse aus den Gewässern im Verbandsgebiet vorherrschend zu erwarten.

Der Brunnen D11d lässt allein schon aufgrund des Gewässerabstandes von 350 m zum Feuerbach keinen signifikanten Einfluss auf diesen erwarten.

Durch die Abschirmung des Mauracher Bergs und der großen Entfernung zu den Fließgewässern ist bei Brunnen D12 keine signifikante Beeinflussung der Gewässer zu erwarten. Nach Auskünften des BVME ist dieser Brunne versandet und wird nicht mehr zur Bewässerung genutzt.

6.5.3 Bewertung der Brunnen im Bereich der Elz und Lossele

Das Elztal speist den Elz-Glotter-Schwemmfächer und sorgt für hohe Grundwasserstände im Bereich von Buchholz, nördlich der Elz. Die Grundwasserstände liegen über der Gewässersohle der Elz, welche als hier als Vorflut mit Drainage wirkt und es herrschen entsprechend exfiltrierende Verhältnisse. Die Gewässersituation der Elz und der Lossele wird in Abbildung 15 verdeutlicht.

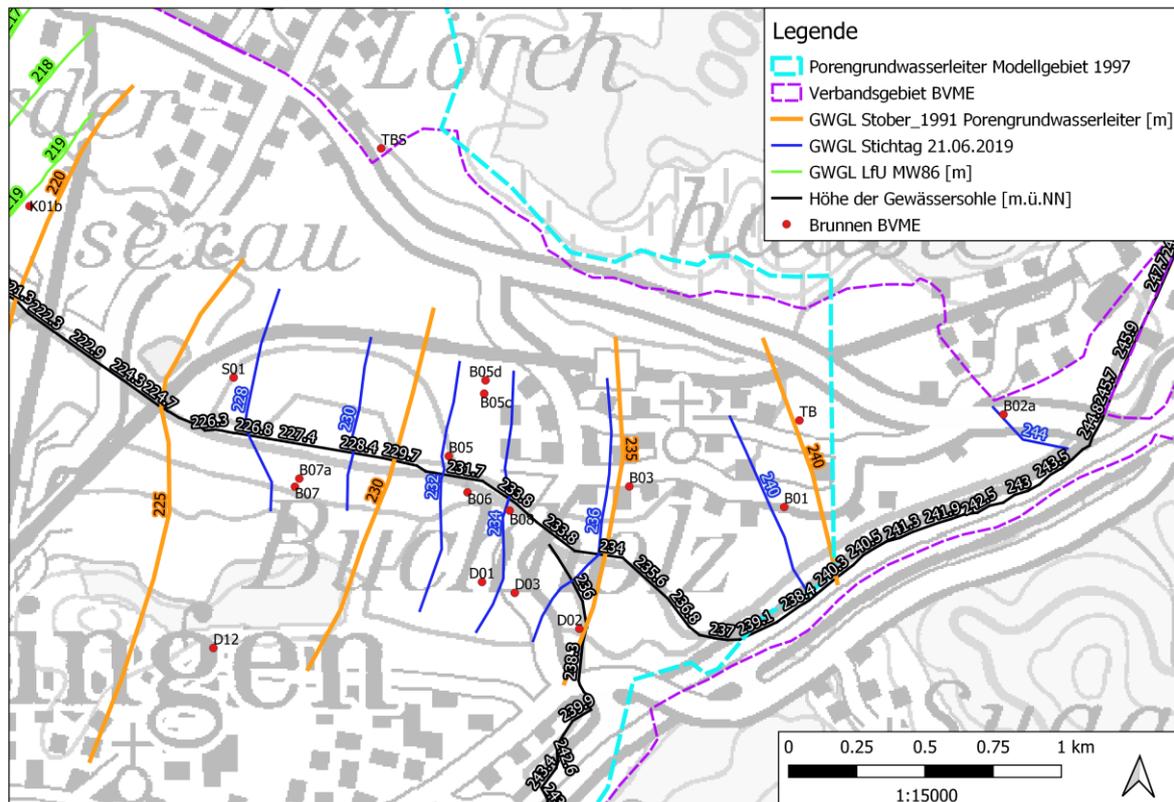


Abbildung 15: Gewässersituation der Elz und Lossele bei Buchholz mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.

Aus Augenschein Grundwassergleichen nördliches Elzufer eher exfiltrierende Verhältnisse, am südlichen Ufer eher infiltrierende Verhältnisse, aber je nach Abflusssituation bzw. Grundwassersituation auch wechselnde Verhältnisse zu erwarten

Die Beregnungsbrunnen B01, B02a, TB, B03, B05, S01, B05c und B05d beziehen ihr Grundwasser somit hauptsächlich aus dem Grundwasserzustrom aus dem Elztal und den nördlichen Randzuströmen von den Hängen und Tälern (vergleiche Abbildung 15). Eine relevante Beeinflussung der Elz durch Minderung der Exfiltrationsraten aufgrund der bisherigen lokalen Grundwasserentnahmen ist

jedoch in diesem Bereich in Anbetracht der o.g. Brunnencharakteristiken wahrscheinlich nicht zu erwarten.

Diese Erwartung bzw. Bewertung der hydraulischen Situation sollte durch ein geeignetes Monitoring zukünftig noch abgesichert und hydraulisch bewertet werden.

Die Lossele weist in ihrem gesamten Gewässerverlauf infiltrierende Verhältnisse auf, die sich mit den Randzuströmen überlagern und es ist zu erwarten, dass ein Teil südwestlich den Mauracher Berg umströmt, während der nordöstliche Teil den Mauracher Berg in nordwestlicher Richtung umströmt (vergleiche Abbildung 15).

In diesem (relativ steiles Gefälle) Abstrombereich befinden sich die Beregnungsbrunnen D01, D02 und D03. Während der Brunnen D02 in unmittelbarer Nähe der Lossele noch einen direkten hydraulischen Einfluss auf die die Lossele erwarten lässt, kann eine solche Beeinflussung bei den Brunnen D01 und D03 in einer Entfernung von mehr als 250 m abstromig mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden. Ebenso ist für alle Brunnen aufgrund Ihrer Einzugsgebiete (Zustrombereiche), der großen Entfernung zur Elz und den Grundwasserspiegellagen oberhalb der Gewässersohle der Elz ein signifikanter Einfluss auf die Elz mit großer Sicherheit auszuschließen.

Der TBS (Sexau) liegt in großer Entfernung zu den Fließgewässern und beeinflusst diese nicht (vergleiche Abbildung 15)

Die südlich der Elz gelegenen Brunnen B08, B06, B07 und B07a befinden sich in einem Abstand von weniger als 150 m zur Elz und lassen grundsätzlich einen hydraulischen Anschluss / Beeinflussung und damit eine Wechselwirkung mit dem Gewässer Elz erwarten (vergleiche Abbildung 15).

Ansatz:

Das Grundwasserniveau wurde bei der Stichtagsmessung geringfügig höher als die Gewässersohle gemessen. Bei niedrigeren oder schwankenden Grundwasserständen kann es aufgrund der Nähe zur Elz und den vergleichbaren Wasserständen zu einer Interaktion mit der Elz kommen.

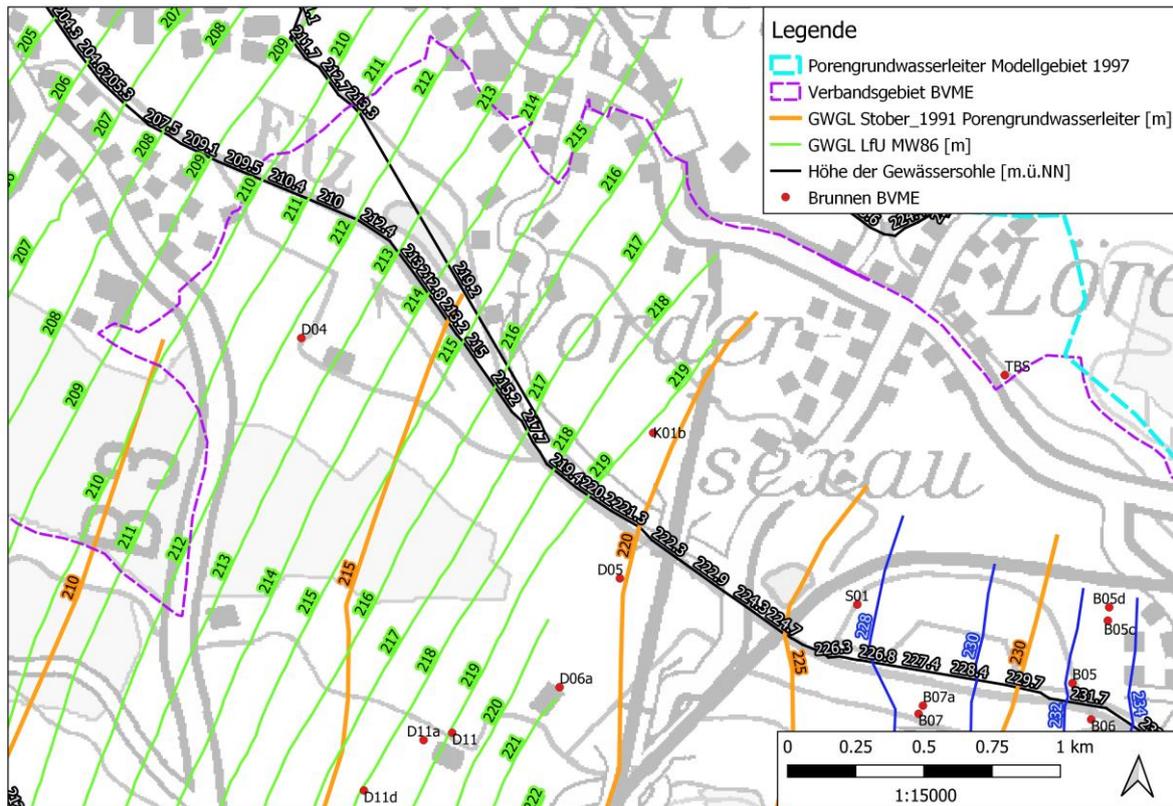


Abbildung 16: Gewässersituation der Elz westlich der Bahnlinie mit Grundwassergleichen und Gewässersohlhöhen.

Westlich der Bahnlinie Freiburg Offenburg ist die Gewässersituation in Abbildung 16 dargestellt. Dort ist der Grundwasserflurabstand sehr gering. Dadurch kann es abhängig vom Grundwasserstand zu einem hydraulischen Kontakt zwischen Grundwasser und Elz kommen. Die Brunnen D05, K01b und D04 können durch den Betrieb einen Einfluss auf die Elz haben, welcher durch die zunehmende Entfernung der Brunnen abnimmt.

Der weit entfernte Brunnen D4 > 500m Abstand zur Elz hat eher keinen direkten Einfluss auf das Gewässer. K01b hat eher auch keinen direkten Einfluss, da die Anströmung Elz-parallel aus südöstlicher Richtung stattfindet. Kritischer ist Brunnen D05, welcher etwa 175 m von Elz entfernt ist, jedoch liegt dieser etwa 500 m oberhalb des Kollmarsreuter Wehr.

7 Einschätzung der Versickerung am Hanswinkelhof

Im Wasserecht von 2003 wurde wasserrechtlich angeordnet, dass über den Graben, Flurstück-Nr. 3074 (Gemarkung Denzlingen), beim Hanswinkelhof eine Versickerung von 85 000 m³/Jahr aus dem Schwan als Ausgleichsmaßnahmen für die genehmigten Grundwasserentnahmen durchgeführt werden soll. Dies entspricht einer Versickerung von knapp 3 l/s über eine Grabenfläche von 10 ar.

Im Vergleich hierzu beträgt die Infiltration aus Oberflächengewässer im Verbandsgebiet ca. 105 l/s insgesamt, die flächenhafte Grundwasserneubildung ca. 230 l/s bei einer Summe der positiven Bilanzglieder von 362 l/s, so dass der quantitative Beitrag für das Verbandsgebiet mit ca. 1%, als gering einzustufen ist und nur einen entsprechend geringen und kleinräumigen Beitrag zur Stützung der Grundwasserstände zu leisten vermag und somit keinen relevanten Einfluss diesbezüglich auf die Trinkwasserbrunnen TB1 und TB 2 des WVV Mauracher Berg leisten würde.

Unter dem Aspekt eines qualitativen Beitrags ist hier jedoch die Wirkung etwas anders zu werten: Die flächenhafte Grundwasserneubildung beträgt für das Verbandsgebiet ca. 8 l/s*km² so dass diese Ausgleichsmaßnahme im günstigsten Fall in Ihrer Wirkung für die Grundwasserneubildung einer Fläche von ca. 0,5 km² extensivem Grünland entsprechen würde. Dies wäre der Fall bei einer kontrollierten Beschickung mit gering an Nitrat (6 -14 mg/l) sowie anderen anthropogenen Einträgen nahezu unbelastetem Wasser.

Für die Brunnen TB1 und TB 2 vom Mauracher Berg, die ihr Grundwasser aus dem Porengrundwasserleiter beziehen und würde diese im Zustrom zu Ihrem Einzugsgebiet gelegen zusätzliche Versickerung durchaus einen kleinen Beitrag zur Sicherung / Verbesserung der qualitativen Situation leisten.

Aussagen zu dieser Maßnahme treffen vergleichbar auch für all die anderen im Zustrom gelegenen, infiltrierenden Abschnitte der Gewässer und Grabensystem zu, - mit einer in der Summe deutlich größeren Beitrag.

Eine Zunahme der flächenhaften Versickerung in untere Grundwasserstockwerke durch diese Grundwassererhöhung ist nicht zu erwarten.

Als Fazit kann zusammengefasst werden, dass die angeordnete Versickerung von 3 l/s im Graben, Flst.Nr. 3074 (Gemarkung Denzlingen), beim Hanswinkelhof quantitativ und qualitativ durchaus einen positiven Effekt auf den Porengrundwasserleiter hat, jedoch dieser als sehr gering einzuschätzen ist. Vielmehr sollte auch in Zukunft sichergestellt werden, dass das gesamte Grabensystem im Elz-Glotter-Schwemmfächer gepflegt wird und kontrolliert mit geringbelastetem Wasser aus den Oberflächengewässern beschickt wird.

8 Ergebnisse und Fazit

Im Folgenden werden zuerst die Ergebnisse zu den einzelnen Aufgaben- bzw. Fragenstellungen zusammengefasst und dann abschließend in einer synoptischen Bewertung zusammengefasst.

8.1 Ergebnisse zu Ermittlung und Bewertung der Wasserbilanz und des nutzbaren Grundwasserdargebotes

Auch nach aktueller Kenntnislage können die bisherigen Vorstellungen zu den Bilanzgliedern des Porengrundwasserleiters sowohl in der Bilanzsumme mit ca. 674 l/s, als auch bezüglich der einzelnen Bilanzglieder weitgehend bestätigt werden.

Eine Ausnahme bildet hierbei jedoch die sowohl aus isotopischer, bilanzieller und hydraulischer Sicht begründete Annahmen (siehe Kapitel 4):

- Die Bedeutung der bisher angenommene flächenhafte Zusickerung aus dem Porengrundwasserleiter in den unterliegenden Kluftgrundwasserleiter über vermutete geologische Fenster in der Trennschicht sowie im nördlichen Ausstreichbereich des Muschelkalkes, die von bisher unplausiblen 215 l/s auf ca. 75 l/s reduziert werden muss. -> MVZ von 10 bis 20 Jahren
- Die begründete Annahme eines bedeutenderen Verlustes an den Kluftgrundwasserleiter im Bereich der südlich des Mauracher Berges gelegenen Schwarzwaldrandverwerfung, sowie auch (vermutet) auch über den anschließenden östlichen Teil der Holzhausen – Reute Verwerfung (s. auch Erläuterungen Kap. 4.2) aufgrund des deutlichen Bilanzüberschusses von ca. 75 l/s im östlich der Schwarzwaldrandverwerfung gelegenen Verbandsgebiet des BVME (s. Kap. 4.1) und aufgrund der zu erwartenden Fließ- und Verweilzeiten der isotopisch älteren Grundwasserkomponente mit MVZ von 10 bis 20 Jahren zugeordnet werden können

Die flächenhafte Grundwasserneubildung bildet mit ca. 68% Anteil der positiven Bilanzglieder des Grundwasserhaushaltes die maßgebliche Steuergröße für den Speicherzustand und die Grundwasserstände in der Gesamtfläche und bestimmt maßgeblich in Ihrer großen jährlichen Variabilität den Speicherzustand und Entwicklung der Grundwasserstände, gefolgt von den Gewässern (und Gräben), die mit ca. 173 l/s an Infiltration auf der positiven Seiten zu ca. 26% (aber auch mit ca. 249 l/s Exfiltration auf der negativen Bilanzseite) beitragen.

Die gesamthaften, direkten Grundwasserentnahmen aller Akteure aus dem Porengrundwasserleiter des gesamten Elz-Glotter-Schwemmfächers betragen aktuell maximal 75 l/s (bestehende Wasserrechte zzgl. Berücksichtigung der tatsächlichen Entnahmen der vergangenen Jahre durch den Beregnungsverband Mittlere Elz), so dass aktuell maximal ca. 11% des Wasserdargebotes entnommen werden (Wasserrechtlich genehmigt sind Stand 2018 63 l/s bzw. ca. 2 Mio. m³ p.a.)

Betrachtung: Berücksichtigte man zusätzlich zu den direkten Nutzungsentnahmen die kompletten direkten Verluste in Höhe von ca. 150 l/s an den unterliegenden Kluftgrundwasserleiter, - die zukünftig ggf. bis zu ca. 80% durch die Trinkwasserversorgungen genutzt werden könnten, - so erhöhte sich der Nutzungsanteil auf ca. 30%.

Die bilanzielle Betrachtung des Verbandsgebietes mit Fläche von 21 km² zeigt vergleichbare Anteile der Bilanzglieder bei einer Bilanzsumme von ca. 362 l/s; - die aktuellen, direkten Entnahmen (ca. 20 l/s) haben hier entsprechend einen Anteil von ca. 6%.

- ➔ Bei einer zukünftigen Entnahme in Größenordnung von 500.000 m³ pro Jahr des BVMEs aus dem Grundwasser würde sich dieser direkte Nutzungsanteil auf ca. 12% erhöhen (bzw. ca. 7% bezogen auf das Verbandsgebiet des BVME).
 - selbst unter Berücksichtigung der Wasserabgabe des Porengrundwassersystems an den Muschelkalk-Aquifer würde der Nutzungsanteil 30% kaum überschreiten.
- ➔ Es besteht ein insgesamt gut ausreichendes Grundwasserdargebot mit großen Reserven, das im Vergleich zu anderen Nutzungssituationen im Umfeld einen relativ geringen Nutzungsgrad ausweist.
- ➔ Das große, verbleibende, ungenutzt aus dem Gebiet sowohl unterirdisch als auch oberirdisch abströmende Grundwasserdargebot bedingt eine große Robustheit gegenüber der natürlichen jährlichen Variabilität der Randbedingungen (Bilanzglieder).
- ➔ In Bezug auf den Wasserhaushalt (Positive Bilanzglieder) insgesamt aber auch im Hinblick auf die Bilanzglieder flächenhafte Grundwasserneubildung durch Versickerung von Niederschlagswasser (ca. 230 l/s) und der linienhaften Grundwasserneubildung durch Infiltration der Oberflächengewässer (ca. 105 l/s) kommt dem Verbandsgebiet des BVME eine zentrale und maßgebliche Rolle zu. Hier entstehen auf den ca. 38 % der Fläche des

Elz-Glotter Schwemmfächers ca. 54 % des gesamthaften Grundwasserangebot des Porengrundwasserleiters sowie, - anzunehmend, - ebenfalls in Größenordnung von 50% des Grundwasserangebot des Kluftgrundwasserleiter entsprechend den hier dargelegten Bilanzgliedern beider Systeme.

- Dies bedingt eine entsprechende Verantwortung für die langfristige qualitative Entwicklung des Grundwassers im Gesamtsystem hinsichtlich anthropogener Belastungen.

8.2 Ergebnisse zu Auswirkungen der beantragten Gesamtentnahme auf den Grundwasserhaushalt

Die Auswertung der Grundwasserstandsmessungen über 30 Jahre hinweg zeigen, dass im Aquifersystem mehrjährige Phasen mit niedrigeren/hohen Grundwasserniveau auftreten können, ohne dass das System aus dem Gleichgewicht kommt. Kumulative Effekte können über mehrere Jahre auftreten, sowohl im positiven wie auch im negativen Sinne. Das Grundwasserniveau konnte sich bis jetzt immer von ungünstigen Klimabedingungen wieder innerhalb weniger Jahre regenerieren. Der Porengrundwasserleiter erweist sich als stabiles Wannensystem, gesteuert durch den Ausfluss an der Riegeler Pforte.

Anhand der systematischen Auswertung der Grundwasserstands-Daten im Kontext zu den Steuergrößen Grundwasserneubildung, Abfluss und Entnahmen über die vergangenen 30 Jahre hinweg für die 15 geeigneten, im Porengrundwasserleiter verfilterten Grundwassermessstellen lassen sich folgende Ergebnisse ableiten (s. Kap 5 und Anhang 5):

- Maßgeblich für das flächenhafte Niveau der Speicherfüllung, die Dynamik der Auffüllung (und Entleerung) und damit der flächenhaften Grundwasser- verhältnisse ist in erster Linie die flächenhafte Grundwasserneubildung in ihrer natürlich großen, jährlichen und innerjährlichen Variabilität.
 - Es sind mehrjährige Phasen niedriger, mittlerer oder hoher Speicherfüllungen zu erkennen, die direkt mit den Abfolgen jährlich unterdurchschnittlicher (mehrjährige Entleerungsphasen), mittlerer oder überdurchschnittlicher (Auffüllung) flächenhafter Grundwasserneubildung korreliert sind.
- Über den gesamten 30-jährigen Beobachtungszeitraum hinweg lassen sich jedoch insgesamt keine signifikant negativen Trends in den Grundwasserspiegellagen erkennen, die auf eine Übernutzung / Entleerung hindeuten

würden, - auch nicht in den vergangenen Jahren mit entsprechend bereits hohen Grundwasser-Entnahmeraten in der Größenordnung von 500.000 m³ pro Jahr.

- ➔ Bestätigung der Wirkung bzw. Bildung eines westlichen Beckens bzw. Wannensystems, das insgesamt auf eine Erhöhung der Entnahmen im Porengrundwasserleiter mit einer entsprechenden Verringerung der Entwässerung über die Oberflächengewässer zu Riegeler Pforte hin reagiert, - bei nahezu konstantem Potential am Abstromrand aufgrund einer auf ca. 200 l/s begrenzten hydraulischen Leistungsfähigkeit.
 - Es deutet sich an, dass eine vergleichbare, kleinere Wannens-Situation auch den westlich gerichteten Grundwasserabstrom des nordöstlichen Bereich des Verbandsgebiets im Bereich Landecker Verwerfung und Schwarzwaldrandverwerfung nördlich des Mauracher Berges mit einem relativ geringen Querschnittsdurchfluss (ca. 25 l/s) begrenzt und resultiert in den vermutlich sehr geringen mehrjährigen natürlichen Speicherschwankungen in diesem Gebiet und die kontinuierlich geringen Flurabstände in diesem Bereich.
 - *Es konnte noch Juni 2019 ein entsprechendes Exfiltrationsverhalten in diesem Bereich als Indiz hierfür beobachtet werden (s. auch Stichtagsmessungen Beregnungsbrunnen). Im Bereich Buchholz waren für Baumaßnahmen an einem Wohngebäude noch lfd. Wasserhaltungsmaßnahme mit Ableitung in den Graben zu beobachten.*
- ➔ Die beobachtete Dynamik der Grundwasserstände bzw. der Speicherfüllung und Entleerung ist maßgeblich durch die Wirkung der Randbedingungen Grundwasserneubildung und Wechselwirkung mit den Oberflächengewässern zu erklären und zeigt (erwartungsgemäß) nur einen geringen Einfluss der Grundwasserentnahmen im Verbandsgebiet
- ➔ Die maßgeblich durch Grundwasserneubildung gesteuerte, flächendeckend zu beobachtende Grunddynamik wird überprägt durch die Wirkung der Oberflächengewässer mit einem mit Entfernung zum Gewässer abnehmendem Einfluss.
- ➔ In Zeiten sehr geringer bis negativer Grundwasserneubildung sowie sehr geringen Abflüssen in den Oberflächengewässern bei gleichzeitig maximalen Entnahmen kommt es zu einer (maximalen) Entleerung des Grundwasserspeichers durch a) Grundwasserabstrom und b) Entnahmen mit Absenkungsraten von ca. -5 cm/Monat bis hin zu knapp -45 cm/Monat (je nach hydraulischen Gegebenheiten und Einfluss Oberflächengewässer),

wobei der wesentliche Absenkungsbetrag i.d.R. nicht entnahmebedingt ist (s. ergänzend Diskussion Entnahmebedingte Absenkungsanteile im Folgenden Kap. 6.4)

8.3 Ergebnisse zur Bewertung Infiltrationsmaßnahme Hanswinkler Hof

Entsprechend der Erörterung in Kapitel 8 können die Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden:

- ➔ Mit einer quantitativen Wirkung von max. 3 l/s (ca. + 105 l/s alle Gewässer im Verbandsgebiet) leistet diese Maßnahmen quantitativ einen geringen und lokalen Beitrag entsprechend auch ihrer Grabenstrecke von ca. 0,5 km im Vergleich zur gesamten Grabenstrecke der Grabensysteme im Verbandsgebiet. Eine wirksame Stützung des Grundwasserspiegels ist aufgrund des geringen und kleinräumigen Beitrages für die Trinkwasserbrunnen TB1 und TB 2 des WVV Mauracher Berg nicht zu erwarten.
- ➔ Aus qualitativer Sicht entspricht die Maßnahme in Ihrer Wirkung in etwa einer Fläche von 0,5 km² Grundwasserneubildung einer extensiv genutzten Wiesenfläche, - unter kontrollierter Bedingung einer Beschickung mit gering an Nitrat (6 - 12 mg/l) sowie anderen anthropogenen Einträgen nahezu unbelastetem Wasser, - ist diese Maßnahme mit Ihrem Beitrag und Ihrer Lage im Zustrom der im Quartär verfilterten o.g. Brunnen des WVV Mauracher Berg auf die Grundwasserqualität jedoch höher zu werten und sollte im Hinblick auf den damit verbundenen geringen Aufwand beibehalten werden.
 - Ein Monitoring zur Kontrolle erscheint angeraten.
 - Diese Aussagen gelten analog auch für andere Abschnitte mit infiltrierenden Verhältnissen des gesamten Grabensystems.

8.4 Ergebnisse Einfluss Grundwasserentnahmen, auch auf die Oberflächengewässer

Wie in Kapitel 6.5 ausführlich erörtert ist für die Mehrzahl der Beregnungsbrunnen des BVME im Förderbetrieb kein direkter hydraulischer Kontakt mit den zentralen Oberflächengewässern Elz, Glotter, Lossele oder Schwan bzw. Feuerbach gegeben bzw. zu erwarten. Die Gewässer Glotter, Lossele und nach Kenntnislage anzunehmen auch der Schwanen bilden zumindest für mittlere bis niedere Grundwasserstände schwebende, d.h. vom

Grundwasser hydraulisch entkoppelte Gewässer mit gravitativ, nur durch den Abfluss gesteuerten Versickerung. Dabei nehmen die Sohlabstände zum Grundwasser generell von in Fließrichtung von Ost nach West ab, so dass die benannten Gewässer erst etwa ab Bereich Westrand des Verbandsgebietes (*Gk3 Rechtswert 3415000*) dann zu grundwasserbeeinflussten Gewässern werden und im weiteren Verlauf zur Riegler Pforte dann als Drainage wirkend Grundwasser aufnehmen und damit maßgeblich zur Gebietsentwässerung beitragen.

- ➔ Mengenmäßig mit zumindest ca. 105 l/s aber insbesondere auch in qualitativer Hinsicht (Nitrat, etc.) kommt der linienhaften Grundwasserneubildung im Verbandsgebiet über die versickerungsfähigen Gewässer sowie zusätzlichen den zahlreichen Gräben eine ausgesprochen wichtige bzw. zentrale Rolle für das Gesamtsystem Elz - Glotter Schwemmfächer zu.
 - Die ganzjährige Infiltration wird im Grundwassersystem zwischengespeichert (jährliche Fließstrecke im oberflächennahen Grundwasser beträgt ca. 2 bis 3 km p.a. je nach Grundwassergefälle)
- ➔ Dies unterstreicht die Bedeutung der aktiven Pflege, Unterhaltung und Beschickung zu Zeiten ausreichender Abflussverhältnisse in Bereichen der schwebenden Gewässer südlich der Elz auch bzw. insbesondere auch zu Zeiten ohne Beregnungsbedarf, - mit großer Bedeutung auch für die abstromig gelegenen Trinkwasserversorgung(en) sowohl aus dem Poren-, als auch dem Kluftgrundwasserleiter, zur langfristig nachhaltigen qualitativen Sicherung der bewirtschafteten Grundwasservorkommen.

Hinsichtlich der Auswirkungen der geplanten Grundwasserentnahmen wurden nachfolgende zwei Einflussarten unterschieden und, - sofern zutreffend, jeweils im Hinblick auf eine zukünftige Bewässerung aus dem Grundwasser in Größenordnung von jährlich 500.000 m³ bzw. einer maximalen Monatsentnahme von bis zu 145.000 m³ analysiert und bewertet:

- a) Die Bewertung der möglichen Beeinflussung der Oberflächengewässer für die einzelnen Beregnungsbrunnen (Kap. 6.5)
- b) Das nutzungsinduzierte Absenkungsverhalten des Systems in Zeiten von Niedrigwasserabflüssen und ohne Grundwasserneubildung durch Entnahme von Beregnungswasser im Verbandsgebiet gegenüber der natürlichen Speicherentleerung des Grundwassersystems (Kap. 6.4)

8.5 Bewertung der möglichen Beeinflussung der Oberflächengewässer durch die einzelnen Beregnungsbrunnen

Die Ergebnisse aus Kapitel 6.5 zur Bewertung der einzelnen Beregnungsbrunnen hinsichtlich ihres potentiellen Einflusses bei Niedrigwasserabflüssen in den Gewässern und Gräben können wie folgt zusammengefasst werden:

- ➔ Aufgrund Ihrer Brunnencharakteristiken und der hydraulischen Eigenschaften des erschlossenen quartären Grundwasserleiters zeigen die Beregnungsbrunnen im Betriebszustand nur geringe Absenkungen von i.d.R. $\leq 0,5\text{m}$ und weisen damit einen maximalen Wirkradius ihres Absenkungs-trichters von 40 m bis 70 m auf.
- ➔ Die meisten Beregnungsbrunnen insbesondere im relevanten Bereich mittlerer bis niedrige Grundwasserstände (mit Ausnahme der im Folgenden explizit genannten) lassen mit großer Sicherheit keinen relevanten hydraulischen Einfluss auf die Oberflächengewässer Elz, Lossele, Schwanen, Feuerbach sowie die Glotter im Verbandsgebiet erwarten, - d.h. o.g. entnahmebedingte lokale Absenkungen in den Brunnen führen zu keiner hydraulischen Wechselwirkung mit den Oberflächengewässern. Sofern im Wirkungsbereich der Absenkung der Brunnen Gräben gelegen, lokal begrenzt direkte hydraulische Wechselwirkungen auftreten, die insofern jedoch nicht dazu führen die Gräben direkt „leerzupumpen“.
- ➔ Für die südlich der Elz gelegenen, Elz-nahen Beregnungsbrunnen B08, B06, B07 und B07a, sowie ggf. den Brunnen D02 in direkter Nähe zur Lossele ist ein hydraulischer Anschluss (bzw. Wechselwirkung) anzunehmen. Ebenso für die Beregnungsbrunnen D06a, D11 und D11a im Bereich des (Graben-systems) des Feuerbaches nördlich und nordöstlich des Mauracher Berges (nicht jedoch im Bereich der Schwan), sofern ihre Wirkradien in den Bereich der Gewässer reichen.
 - aufgrund der geringen Absenkungen und jeweiligen räumlichen Begrenzung der Wirkungsradien der Brunnen-trichter und ist im resultierenden Verhältnis zwischen beeinflussten und unbeeinflussten Gewässerstrecken ist der zu erwartende Einfluss (Verstärkung der Gewässerinfiltration) jedoch als gering einzustufen, so dass ein „Leerpumpen“ der Gewässer bzw. des Grabensystems (nicht gestaut) nicht erfolgen und selbst ein relevanter Einfluss auf die Wasserführung durch den Einzelbrunnen nicht zu befürchtet ist.

8.6 Nutzungsinduzierte Absenkungsverhalten des Systems in Zeiten von Niedrigwasserabflüssen und ohne Grundwasserneubildung

- Wie zuvor und im Kapitel 6.4 dargestellt, erlaubt die Auswertung der Grundwasserdynamik für Phasen in denen a) mittlere Grundwasser-Verhältnisse und sowohl Niedrigwasserabflüsse herrschen und gleichzeitig keine nennenswerte Grundwasserneubildung stattfindet sowie b) sowohl Zeitabschnitte mit hohem Beregnungsbedarf (Entnahmeeinfluss Größenordnung ca. 100.000 m³/Monat), gefolgt von Zeitschnitten ohne nennenswerten Beregnungsbedarf, wie im Zeitraum Juli 2015 bis ca. Mitte November 2015 zu beobachten BVME Jahresentnahme von 385.000 m³ p.a. davon in den Monaten Juli und August jeweils in der Größenordnung von 100.000 m³/Monat aus dem Grundwasser, Aussagen, über die durch Beregnungswasserentnahmen induzierte flächenhaft verstärkte Absenkungen an unterschiedlichen Beobachtungsstellen im Gebiet und damit die Abtrennung von der natürlichen räumlichen Speicherentleerung dem natürlichen Grundwassergefälle folgend. (mit Vorliegen der kompletten Daten würde sich auch das Jahr 2018 für eine solche Analyse zur Absicherung anbieten) lassen sich folgende Ergebnisse ableiten bzw. abschätzen (s. Anhang 6): Der entnahmebedingte Anteil im Zeitraum Mitte Juli bis Ende September (BVME Beregnung ca. 100.000 m³/Monat zzgl. WR Sportplatz Waldkirch-Buchholz mit ca. 20.000 m³/ Monat) an der monatlichen Grundwasserabsenkung beträgt im südlichen Verbandsgebiet an der (Messstelle 136/119-5) ca. -14 cm/Monat (bei -30 cm/Monat insgesamt), ca. -21 cm/Monat (bei -49 cm/Monat insgesamt) für die Messstelle 139/119-9 bis zu geringen ca. -3 cm/Monat (bei -30 cm/Monat insgesamt) für die Messstelle 124/119-0 nahe des süd-südöstlichen Gebietsrandes.
- im nördlich des Mauracher Berges bis zur Elz gelegenen, westlichen Verbandsgebiet des BVME erlaubt bedauerlicher Weise nur die Messstelle 102/119-0 eine entsprechende Auswertung zeigt jedoch das systembedingt erwartbare Verhalten mit einer sehr geringen entnahmebedingten Absenkung von ca. -6 cm/Monat (bei geringen -12 cm/Monat insgesamt). Ein vergleichbares Verhalten ist auch in den südlich der Elz gelegenen östlichen Verbandsgebiet zu erwarten, für das jedoch (bisher) keine geeigneten Aufzeichnungen der Grundwasserdynamik bestehen.
- auch für das nördlich der Elz gelegen Verbandsgebiet besteht kein geeignetes Grundwassermonitoring für gesicherte Aussagen, - allerdings wirkt das Nordufer hier als entwässernde Drainage, so dass auch hier die

nutzungsbedingt induzieren, flächenhaften Absenkungsraten eher vgl. gering ausfallen dürften.

- aufgrund der geringen und zeitlich (innerjährlich) begrenzten Absenkungswirkung der Entnahmen zu Beregnungszwecken in Größenordnung von 500.000 m³, sowie des nach Westen in Abstromrichtung hin generell abnehmenden Einflusses (siehe Messstellen von Ost nach West) ist für die Trinkwasserversorgung aus den Brunnen im Quartär der WVV Mauracher Berg wenn überhaupt, dann nur ein geringer Einfluss (Absenkung) zu erwarten, so dass die Förderleistung der Brunnen und deren Grundwasserdargebot sehr wenig bis nahezu nicht beeinträchtigt werden.
 - aufgrund der weiträumig gespannten Verhältnisse im Kluftgrundwasserleiter würde eine Druckentlastung durch Förderung zu einer raschen Vergrößerung der bestehenden Potentialdifferenz zwischen Kluft und Porengrundwasserleiter führen und damit den Zustrom über alle hydraulischen Ränder und Fenster (insbesondere auch aus dem überlagernden Porengrundwasserleiter) verstärken. Gespannte Grundwasserleiter senken deutlich stärker und weiträumiger als ungespannte ab.
- eine Wirkung der Entnahmen auf das Grundwasserdargebot der für die Trinkwasserversorgung im Muschelkalk verfilterten Trinkwasserbrunnen über die hydraulischen Ränder und langen Fließwege, sowie großen Potentialunterscheide hinweg, ist nach Kenntnislage jedoch mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auszuschließen, - zumindest so lange die Speicherfüllung im Porengrundwasserleiter bzw. im Verbandsgebiet keinen langjährig signifikanten negativen Trend aufweisen.
 - In diesem hypothetischen Fall würde jedoch auch die Mehrheit der Beregnungsbrunnen ihre Leistungsfähigkeit einbüßen.
- In Anbetracht der aus gutachterlicher Sicht durchaus vertretbaren, geringen entnahmebedingten monatlichen Absenkungsraten bei monatlichen Entnahmen von ca. 100.000 m³ erscheint aus hydrologisch, hydraulischer Sicht (s. o.g. Reaktion des Kluftgrundwasserleiter auf Druckentlastungen) auch im Hinblick auf die Sicherheit der öffentlichen Trinkwasserversorgung eine einzelmonatliche Spitzenentnahme von bis zu 150.000 m³/ Monat nach aktuellem Kenntnisstand als unbedenklich.
- Aus Grundwasserschutzsicht sind unkontrollierte Nährstoffüberschüsse, wie Sie z.B. in Zusammenhang dem Versagen der landwirtschaftlichen Kultur (z.B. durch Trockenheit) durch die anschließende Auswaschungsgefahr ein

erhebliches Problem und sollte gegen den Einfluss der erforderlichen Entnahmen zu Bewässerungszwecke abgewogen werden.

8.7 Synopse

- ➔ Für jährliche Entnahmen zu Beregnungszwecken in einer Größenordnung von 500.000 m³ pro Jahr im Verbandsgebiet des BVME verfügt das Grundwassersystem über nachhaltig ausreichende Kapazitäten lässt mit großer Sicherheit keine quantitative Beeinflussung bestehender Wasserrechte bzw. Nutzungen zu erwarten. Auch sind die ausgewiesenen langjährigen verbleibenden Überschüsse, die über die Oberflächengewässer aus dem System des Elz-Glotter-Schwemmfächer Grundwassersystems entwässern, mit aktuell ca. 250 l/s so groß, dass erhebliche Reserven für eine erwartbare weitere Steigerung der Trinkwassergewinnung ausgewiesen sind.
- ➔ Sowohl der Kluft- als auch der Porengrundwasserleiter sind als robuste, auf verstärkte Entnahmen hin selbstregulierend wirkende, robuste Beckensystem.
- ➔ Monatlichen Entnahmen zu Beregnungszwecken aus dem Grundwasser im Verbandsgebiet von bis zu ca. 100.000 m³ lassen, wie dargelegt aus hydrologisch-hydraulischer Sicht auch im Hinblick auf die Sicherheit der öffentlichen Trinkwasserversorgung mit großer Sicherheit keine direkten Auswirkungen auf das Grundwasserdargebot der öffentlichen Trinkwasserversorgung erwarten, - sofern die Entnahmen aus dem Grundwasser in etwa wie bisher auch, in der Fläche verteilt erfolgen.
 - Auch einzelmonatliche Spitzenentnahmen von bis zu 150.000 m³/Monat erscheinen nach aktuellem Kenntnisstand innerhalb des o.g. Gesamtrahmen als unbedenklich.
- ➔ Aufgrund der Bedeutung des Verbandsgebietes als wichtiges Neubildungsgebiet (mit Transportzeiten von 10 bis 25 Jahren) im Einzugsbereich für die durch die Trinkwasserversorgung genutzten Grundwasservorkommen im Muschelkalk und Quartär, kommt dem flächendeckenden nachhaltigen und langfristig konsequenten Immissionsschutz bzw. Eintragsmanagement (Landwirtschaft, Siedlung Gewerbe, Verkehrsflächen, sowie bei Bewirtschaftung der Oberflächengewässer eine wichtige Rolle zu. Dies betrifft insbesondere das südlich der Elz gelegenen Verbandsgebiet, sowie auch die Emmendinger Vorbergzone im Bereich Kollmarsreute (s. auch LGRB 2010 Ausweisung Wasserschutzgebiet).

- Zur Minderung des Anteils (unvermeidbarer) anthropogener Einträge kommt der langfristigen Pflege und Bewirtschaftung, sowie kontrollierten Beschickung des Grabensystems mit anthropogen gering belastetem Oberflächenwasser für die langfristige qualitative Entwicklung eine wichtige Rolle zur Sicherung der Grundwasserqualität bewirtschafteten Grundwasservorkommen eine wichtige Bedeutung zu.
- Mit einem erweiterten, ganzjährigen Grundwassermonitoring könnte mit relativ geringem Aufwand z.B. von zeitnah jeweils die Auswirkungen der Beregnungsentnahmen bewertet, eine solide Bewertungs-, Planungs- (Optimierung) und Steuerungsgrundlage gewonnen und die Nachhaltigkeit und Verträglichkeit der Beregnungsnutzung kontinuierlich und transparent nachgewiesen werden.
- Für den durch die Trinkwassergewinnung bewirtschafteten Muschelkalk ist eine Abwirtschaftung (Aufbrauch) der alten (>50Jahre alten) unbelasteten, endlichen Wasserkomponente und damit einhergehend ein Ersatz durch Bezug jüngere Grundwässer aus dem Porengrundwasserleiter eine unvermeidbare Entwicklung.

Freiburg, den 26.07.2019



Stephen Schrempp
GIT HydroS Consult GmbH



Bearbeiter: M.Sc. Hydrologie Joscha

Anhang 1: Stellungnahme

Ergänzende Stellungnahme zu den zu klärenden Punkten lt. Protokoll des Termins 19-06-2019 (Aktenzeichen U1800114):

- zu Punkt a): Die kompletten Folien sowie zusätzlich alle 30-jährigen Auswertungen zu den Grundwasserbeobachtungen wurden dem Büro Fritz und allen Beteiligten zur Verfügung gestellt (s. auch Punkt h).
- zu Punkt b): Lt. hydrogeologischem Abschlussgutachtens seitens des LRGB zur Überprüfung und Neuabgrenzung der Wasserschutzgebiete (Bauer, 2010) bildet die Holzhausen-Reute Verwerfung einen hydraulischen Rand des Kluftgrundwasserleiter, - anhand eines Pumpversuches an der Messstelle MB11 wurde nachgewiesen, dass hier auf Höhe Reute im Abstand von ca. 1km zur Hauptverwerfung bereits als hydraulischer Rand wirksam wird, trotzdem belegt das Gutachten einen Zustrom aus Süden und Südosten und beziffert den lt. isotopischer Betrachtung bei Gesamtförderung von 80 l/s (d.h. ca. 30% des Grundwasserangebot im Muschelkalk für den TB 3 und TB Allmend in der Summe einen Beitrag von 21 l/s der <50 Jahre alten Wasserkomponente. Aus der überschlägigen Hochrechnung von insgesamt 70% nicht durch die Förderung erfasstem Grundwasserangebot ergibt sich insofern eine Abschätzung der Größenordnung von ca. 70 l/s Zustrom aus dem Süden und Südosten in den Muschelkalk-Kluftgrundwasserleiter. Vergleichbare Überlegungen (die nachfolgend weiter plausibilisiert wurden) waren auch Ausgangspunkt und Begründung für die anderen Bilanzglieder des Kluftgrundwasserleiter.
- Eine Abstimmung / Bewertung der Betrachtung mit dem Büro Fritz und dem LRGB steht noch aus (war urlaubsbedingt in der Kürze der Zeit leider nicht möglich) und wird für den anstehenden Wasserrechtsantrag nachgeholt. Im Hinblick auf die für den durch den BVME bewirtschafteten Porengrundwasserleiter und seiner Wechselwirkung mit dem Kluftgrundwasserleiter würde eine ggf. resultierende Reduzierung der ausgewiesenen Süd- und Südost-Komponente außer einer entsprechenden Erhöhung der Anteile der anderen Komponente keine Auswirkungen haben.
- zu Punkt c): Herr Klemm wies hier einen zukünftigen erwartbaren Bedarf seitens des WVV von bis zu 3 Mio. m³ p.a. aus.
- zu Punkt d): Die Überprüfung mit dem Sachbearbeiter ergab, dass aktuell für die fehlenden Talbereiche am Ostrand des Verbandsgebiets (Bereich Elztal ca. 0,85 km² und Bereich Glottertal (ca. 0,55 km²) keine Boden- und Nutzungsdaten zur Modellierung direkt

vorliegen. Insofern wurden diese Teilbereiche bei der Berechnung der Grundwasserneubildung mit den Werten der angrenzenden Bodenflächen berücksichtigt. Eine zukünftige Ergänzung der Datengrundlagen aus den Daten des Landes ist aber möglich und könnte, sofern gefordert, für das kommende Wasserrechtsverfahren ergänzt werden.

zu Punkt e) die kleinräumigere Wasserbilanz liegt anstelle für das Verbandsgebiet (Bewirtschaftungsraum des Antragsstellers) vor, - bisher jedoch noch nicht (- und war auch nicht vorgesehen) für das Gesamtwasserschutzgebiet. Sofern diese Auswertung seitens des LRA für den Wasserrechtsantrag für erforderlich gehalten wird, könnten wir diese erstellen.

Zu Punkt f) Der scheinbare Widerspruch erklärt sich durch den unterschiedlichen Raumbezug der Betrachtung. In der Bilanz für das Verbandsgebiet kann das Verlustglied der flächenhaften Zusickerung aus dem Porengrundwasserleiter in den Muschelkalkaquifer auf ca. 45 l/s abgeschätzt werden. Bei Betrachtung des gesamten Schwemmfächers kommen weitere Bereiche (z.B. Emmendingen - Wasser) mit erwarteter Zusickerung hinzu, so dass sich dann dieses Verlustglied zu insgesamt dann ca. 75 l/s abschätzen lässt (45l/s+30l/s zusätzlich).

Zu Punkt g) Die Begründung für das gewählte Vorgehen für alle Messstellen (analog zum Elzpegel) die für das Gebiet aus den einzelnen Bodentypflächen flächengewichtet gemittelten Grundwasserneubildungsraten einheitlich in der gewählten Darstellung aufzuführen liegt die Überlegung zugrunde, dass die lokale Grundwasserneubildung zur Erklärung des Systemverhaltens weniger aussagekräftig wäre (lokaler Punkt), eine auf Grundlage der Ausweisung individueller ggf. etwas aussagekräftigere Auswertung zwar auf der bestehenden Datengrundlage realisierbar, der hierfür aber erforderliche Aufwand im aktuellen Auftragsrahmen nicht zu leisten war und als Anforderung auch nicht üblich, - gerne stehen wir jedoch für eine gemeinsame Erörterung hinsichtlich Wasserrechtsantrag zu Verfügung. Ergänzende Auswertungen für die einzelnen Bodentypflächen, wie für die 30jährige, mittlere Neubildung für das Gutachten ausgeführt, wären jedoch eher noch mit vertretbarem Aufwand realisierbar und ebenfalls aussagekräftig.

- Zu Punkt h) Die kompletten Graphiken zu den 15 GW-Messstellen wurden allen Beteiligten bereits zur Verfügung gestellt.
- Zu Punkt i) -
- Zu Punkt j) nach unserer Kenntnis wirken altquartäre Schotter, insbesondere bei diesen Mächtigkeiten, als durchaus nennenswerter Matrixspeicher, der jedoch weitgehend immobil ist und nicht wirksam am Grundwasserumsatz teilnimmt. Diesen Widerspruch würden wir erst einmal gerne einfach so stehen lassen, insofern sich die im Gutachten getroffenen Aussagen nicht auf diese Eigenschaften stützen oder begründen und würden dies ebenfalls zur Einschätzung seitens des RP (LGRB) mitnehmen.

Anhang 2: Literaturliste

Bauer [2006], LGRB: Hydrogeologisches Zwischengutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Tiefbrunnen „Teninger Allmend TB1 und TB2“ der Städte Emmendingen und Teningen, Az. 4763.1//06 1668

Bauer [2010], LGRB: Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Überprüfung und Neuabgrenzung der Wasserschutzgebiete für die Tiefbrunnen III, IV, V, VI des Wasserversorgungsverbandes Mauracher Berg und für die Tiefbrunnen Allmend-1 und -2 der gemeinsamen Wasserversorgung der Städte Emmendingen und Teningen (Landkreis Emmendingen)

Hydroisotop [2006], Dr. Heinz, Binder, Eichinger: Ergebnisse der hydrochemischen und isotopehydrologischen Untersuchungen in der Teninger Allmend, Untersuchungsprogramm im April 2006

Hydroisotop [2009], Dr. Heinz: Wasserversorgungsverband Mauracher Berg, Neuer Brunnen 6, Ergebnisse der GW-Untersuchungen von 2008/2009 mit Auswertungen zur GW-Altersstruktur

IHF [1996a], Leibundgut, Bakenhus: Grundwassermodellierung Mauracher Berg. Stationäre Modellierung des Porenaquifers im Elz-Glotter-Schwemmfächer; Bericht Nr. 59, Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Auftraggeber: Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Freiburg

IHF [1996b], Leibundgut, Bakenhus: Untersuchungen zur Grundwasserneubildung aus Niederschlag; Bericht Nr. 65, Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Auftraggeber: Wasserversorgungsverband Mauracher Berg, Denzlingen

IHF [1996c], Leibundgut, Bakenhus: Grundwassermodellierung Mauracher Berg: Anwendung natürlicher Tracer zur Ermittlung der Randzuströme und Gewässerinfiltration; Bericht Nr. 66, Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Auftraggeber: Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Freiburg

IHF [1997], Leibundgut, Bakenhus: Grundwassermodellierung Mauracher Berg. Abschlussbericht, Teile 1-3; Bericht Nr. 77, Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. Auftraggeber: Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Freiburg

IHS [2019]: Daten von Ingenieurbüro Himmelsbach + Scheurer PartG mbB / Müllheim

LfU [2001]: Grundwasserüberwachungsprogramm. Grundwasseroberfläche im Oktober 1986, April 1988 und September 1991 im Oberrheingraben zwischen Karlsruhe und Basel. Erläuterungen und Karten, Grundwasserschutz 18. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

LGRB [2007]: Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Regierungspräsidium Freiburg

LUBW [2019a]: Gewässersohlhöhen Projekt GPro-PR, 13.04.2017 (Überarbeitung), Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Abteilung 4 – Wasser

LUBW [2019b]: Downloadbereich der LUBW für Abflussdaten der Elz, <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/index.xhtml>

Morhard [2013]: Langzeitsimulation von Bodenwasserhaushalt und flächenhafter Grundwasserneubildung 1951-2010 für die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. GIT HydroS Consult GmbH, Freiburg

Nopper [2019], Bereitstellung der Wasserrechte im Elz-Glotter-Schwemmfächer, Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Landratsamt Emmendingen

RPF [2019], Abfrage der Grundwassermessstellen aus dem Landesnetz von Frau Turek, Regierungspräsidium Freiburg Abteilung 5 - Umwelt

Schrempp [1997]: Grundwassermodellierung Elz-Glotter-Schwemmfächer: Erstellung eines Modells für den Kluftgrundwasserleiter, Diplomarbeit

Sass [2007]: Bau und Bemessung von Brunnen für geothermische Anlagen, Prof. Dr. Ingo Sass, Präsentation, Fachgebiet Ingenieurgeologie und Geothermisches Labor, Institut für Angewandte Geowissenschaften Tu Darmstadt

Stober [1991]: Abschlußgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Tiefbrunnen I und II und die Tiefbrunnen III und IV des Wasserversorgungsverbandes Mauracherberg, GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG

Stober [1999], LGRB: Hydrogeologisches Gutachten zu der neuen Erschließung von Grundwasser aus dem Muschelkalk in der nördlichen Freiburger Bucht für die Gemeinden Teningen und Emmendingen, Az. 0784.03/99-4763 Stober

WaBoA [2007]: Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. Herausgegeben vom Umweltministerium Baden-Württemberg und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Anhang 3: Wasserrechte Porengrundwasserleiter

GW Nummer	Bezeichnung	Wasserrecht	Nutzung 2017	Nutzung 2018	Nutzung
		[m³/Jahr]	[m³/Jahr]	[m³/Jahr]	
393/119-9	TB 2 Mauracher Berg, Denzlingen	500000	157699	170951	Öffentliche Wasserversorgung
719/119-0	TB 1 MAURACHER BERG, DENZL.		145426	186372	Öffentliche Wasserversorgung
269/119-5	TB 1 KRANKENHAUS EMMENDINGEN (Weichwasserbrunnen ZPE)	100000			Öffentliche Wasserversorgung
270/119-2	TB 2 KRANKENHAUS EMMENDINGEN (Weichwasserbrunnen ZPE)		54179	36835	Öffentliche Wasserversorgung
54/118-4	TB 3 KRANKENHAUS EMMENDINGEN (Hartwasserbrunnen ZPE)		21732	17752	Öffentliche Wasserversorgung
180/068-2	TB 3 GEMEINDE EMMENDINGEN	450000	352885	387630	Öffentliche Wasserversorgung
53/118-9	TB 1 GEMEINDE EMMENDINGEN	20000	6436	15066	Öffentliche Wasserversorgung
181/068-8	TB 2 GEMEINDE EMMENDINGEN	4000	3470	3090	Öffentliche Wasserversorgung
272/119-3	TB GEMEINDE SEXAU -TB Lörch	5000	33420	13754	Öffentliche Wasserversorgung
78/068-2	TB 1 GEMEINDE TENINGEN	15000			Öffentliche Wasserversorgung
79/068-8	TB 2 GEM. TENINGEN, TENINGEN	0		0	Öffentliche Wasserversorgung
12/119-0	TB 2 BUEHLER VOERSTETTEN		0		Andere Beregnungsverbände
302/119-6	TB 1498, Leimenstoll, Vörstetten	65000		53872	Andere Beregnungsverbände
6804/119-2	Beregnungsverb. Untere Glotter, TB 3 Die				Andere Beregnungsverbände
6805/119-8	Beregnungsverb. Untere Glotter, TB 4 Sch				Andere Beregnungsverbände
6806/119-3	Beregnungsverb. Untere Glotter TB 5, Mal				Andere Beregnungsverbände
9202/069-6	Beregnungsverb. Untere Glotter TB Siegel				Andere Beregnungsverbände
9203/069-1	Beregnungsverb. Untere Glotter, TB 2 Die				Andere Beregnungsverbände
3074/068-5	BR ... WBV Nördl Breisgau 2614/9Schmelzer, Nimburg		0		Andere Beregnungsverbände
2009/068-0	TB Ehrler Wasser-u.Bodenv. Nördl		0		Andere Beregnungsverbände
10/118-7	TB GAERTNEREI WITT TENINGEN	22400		2554	Weitere Grundwassernutzungen
167/068-8	TB 2 GIBSON TENINGEN	5200			Weitere Grundwassernutzungen
58/118-6	TB Wolfspurger Textilpflege (ehemals MERK), EMMENDINGEN	95000	68587	64273	Weitere Grundwassernutzungen
2751/068-9	TB 3 neu Tscheulin, Teningen Schachtbrunnen für Brauchwasser, TKW	450000	376648	250738	Weitere Grundwassernutzungen
2815/068-2	Transportbeton GmbH	16000	14109		Weitere Grundwassernutzungen
2818/068-9	TB Harrei, Spedition, Teningen	2640			Weitere Grundwassernutzungen
2876/068-6	TB Gärtnerei Müll, Nimburg	20000	11709	13687	Weitere Grundwassernutzungen
2877/068-1	TB Menton-Enderlin Emmendingen-Mundingen	4000			Weitere Grundwassernutzungen
388/119-0	TB WILLI VOERSTETTEN	25200			Weitere Grundwassernutzungen
6807/119-9	TB Bürgerhaus Denzlingen	8000			Weitere Grundwassernutzungen
74/068-0	TB SCHWIMMBAD TENINGEN	50000	25478	30033	Weitere Grundwassernutzungen
6837/119-8	TB Tennisclub Denzlingen e.V.	3000	1477	1062	Weitere Grundwassernutzungen
68/068-6	TB SCHMIDT TENINGEN	5500			Weitere Grundwassernutzungen
6856/119-5	TB EWW+3 Bühler GbR, Vörstetten	15000			Weitere Grundwassernutzungen
2876/068-6	TB Gärtnerei Müll, Nimburg	20000			Weitere Grundwassernutzungen
67/068-0	TB GWV Birkenhof und Südhof Teningen	3000			Weitere Grundwassernutzungen
65/118-6	BBR Firma Schwaab, Emmendingen	200			Weitere Grundwassernutzungen
2004/119-1	TB Rüb Sportplatz Waldkirch-Buch	85000	271370	496857	Beregnungsverband Mittlere Elz
2021/119-8	Versuchsbrunnen 2 Schwaehr Waldk				Beregnungsverband Mittlere Elz
2071/118-7	TB K2 BV Mittlere Elz				Beregnungsverband Mittlere Elz
306/119-8	TB B5c Beregnungsverband Mittlere Elz (Schwehr, Georg)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6809/119-0	TB B1 Beregnungsverband Mittlere Elz (Dilger, Elisabeth)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6810/119-7	TB B3 Beregnungsverband Mittlere Elz (Blattmann, Hansjörg)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6811/119-2	TB B5 Beregnungsverband Mittlere Elz (Stadt Waldkirch)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6812/119-8	TB B6 Beregnungsverband Mittlere Elz (Herbstritt, Josef)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6813/119-3	TB B7 Beregnungsverband Mittlere Elz (Schwehr, Georg)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6814/119-9	TB B8 Beregnungsverband Mittlere Elz (Schätzle, Ulrich)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6815/119-4	TB S1 Beregnungsverband Mittlere Elz (Kury, Martin)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6816/119-0	TB Beregnungsverband Mittlere Elz (Stadt Waldkirch)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6817/119-5	TB D1 Beregnungsverband Mittlere Elz (Gem. Denzlingen)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6818/119-0	TB D10a Beregnungsverband Mittlere Elz				Beregnungsverband Mittlere Elz
6819/119-6	TB D2 Beregnungsverband Mittlere Elz (Nopper, Franz)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6820/119-3	TB D3 Beregnungsverband Mittlere Elz (Gem. Denzlingen)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6821/119-9	TB D4 Beregnungsverband Mittlere Elz (Land BW)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6822/119-4	TB D5 Beregnungsverband Mittlere Elz (Schwehr-Schüssele)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6823/119-0	BBR D11a Beregnungsverband Mittlere Elz, Denzlingen				Beregnungsverband Mittlere Elz
6827/119-1	TB D8a Beregnungsverband Mittlere Elz (Schwaab, Walter)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6828/119-7	BBR D9b Beregnungsverband Mittlere Elz, Denzlingen				Beregnungsverband Mittlere Elz
6829/119-2	BBR D11b Beregnungsverband Mittlere Elz, Denzlingen				Beregnungsverband Mittlere Elz
6830/119-0	BBR D12 Beregnungsverband Mittlere Elz				Beregnungsverband Mittlere Elz
6831/119-5	TB B5c Beregnungsverband Mittlere Elz (Schwehr, Georg)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6844/119-8	TB BV Mittlere Elz D10b (K-J Kury)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6845/119-3	BBR Beregnungsverband Mittlere Elz (D11c) Otto Frey				Beregnungsverband Mittlere Elz
6848/119-0	TB B2a Beregnungsverband Mittlere Elz (Schwehr-Schüssele)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6849/119-5	TB D9a Beregnungsverband Mittlere Elz (Hoch, Markus)				Beregnungsverband Mittlere Elz
6856/119-5	TB EWW+3 Bühler GbR, Vörstetten				Beregnungsverband Mittlere Elz
6859/119-1	BR W1 BV Mittlere Elz, Waldkirch				Beregnungsverband Mittlere Elz
989/119-9	BBR 18 Krebsacker, Waldkirch-Buchholz				Beregnungsverband Mittlere Elz
986/119-2	SCHBR UMSPANNWERK BUCHHOLZ				Beregnungsverband Mittlere Elz
272/119-3	TB GEMEINDE SEXAU -TB Lörch				Beregnungsverband Mittlere Elz

Anhang 4: Wasserrechte Klufftgrundwasserleiter

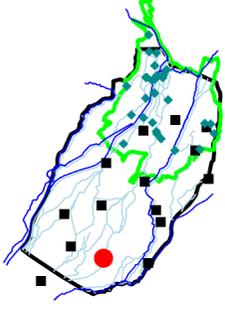
GW Nummer	Bezeichnung	Wasserrecht [m³/Jahr]	Nutzung 2017 [m³/Jahr]	Nutzung 2018 [m³/Jahr]	Nutzung
2000/119-0	TB 2 Hornwald I, Gemeinde Sexau (Horneck)	205000	96670	100612	Öffentliche Wasserversorgung
2008/118-0	TB 3 Hornwald II, Gemeinde Sexau	126000	102694	90221	Öffentliche Wasserversorgung
781/069-4	TB III Mauracher Berg, Reute	2350000	1212851	1353407	Öffentliche Wasserversorgung
782/069-0	TB IV MAURACHER BERG, DENZL.		177765	208672	Öffentliche Wasserversorgung
9212/069-2	TB VI Mauracherberg, Denzlingen		181264	211369	Öffentliche Wasserversorgung
2001/119-5	TB V Mauracher Berg, Denzlingen	250000	83235	93593	Öffentliche Wasserversorgung
2881/068-5	TB I (B2T) Allmend, Teningen/Emmendingen	1550000			Öffentliche Wasserversorgung
2882/068-0	TB II (B7T) Allmend, Teningen/Emmendingen	550000	596439	618454	Öffentliche Wasserversorgung

Anhang 5: Auswertung der Grundwassermessstellen: Beobachtungszeitraum

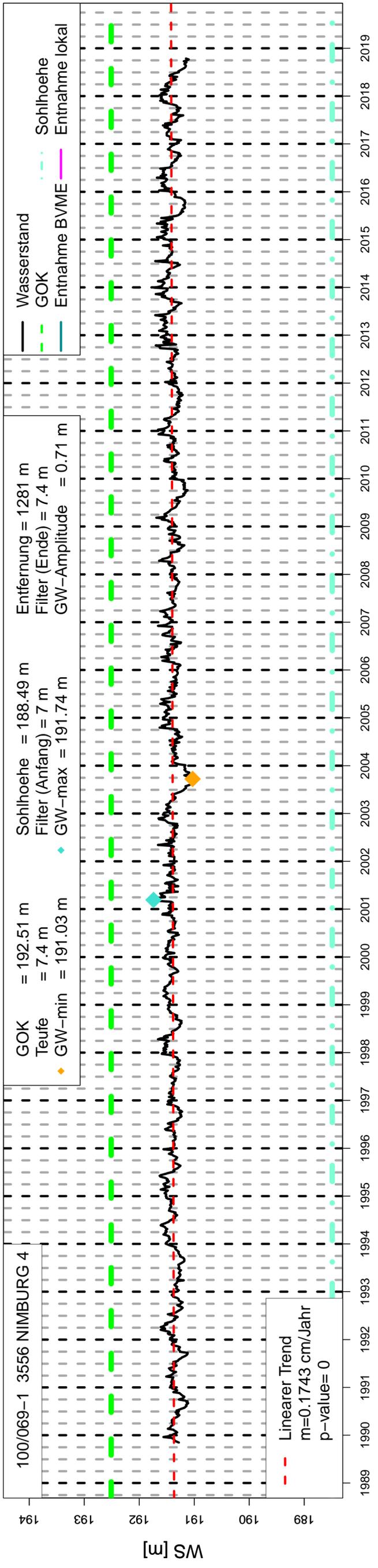
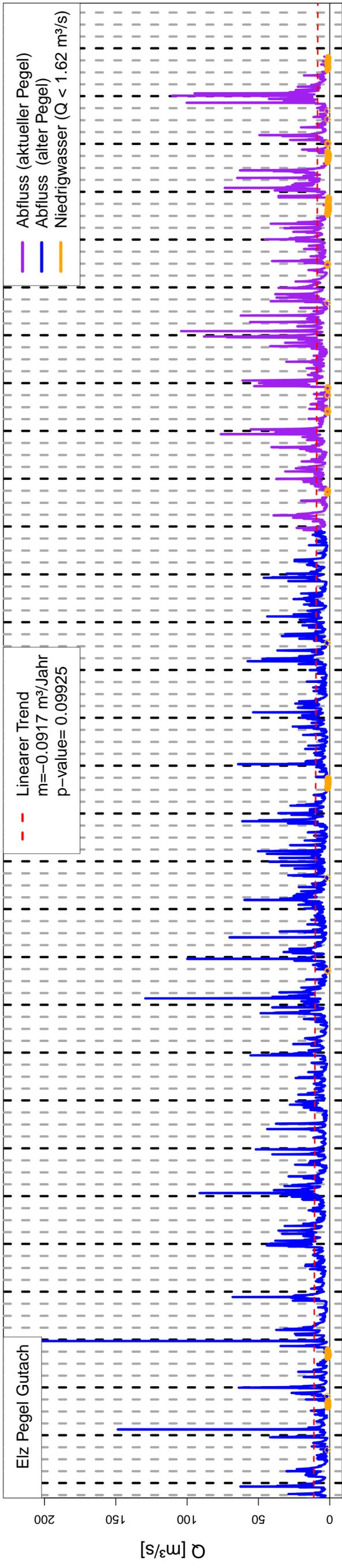
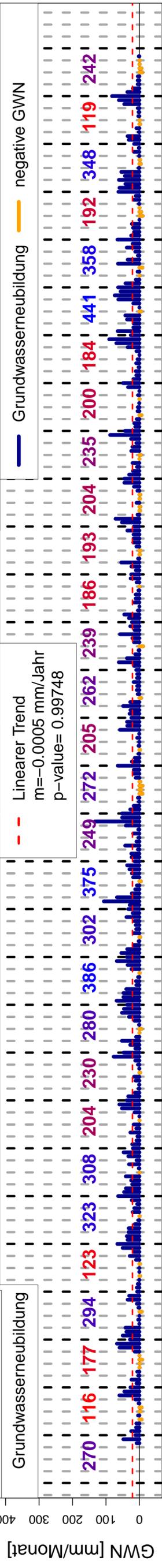
[einzelne PDF-Datei]

Anhang 6: Auswertung der Grundwassermessstellen: Natürliche Entleerung

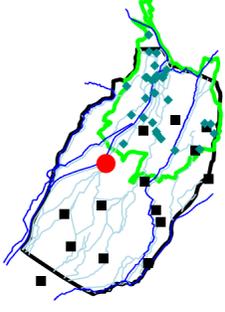
[einzelne PDF-Datei]



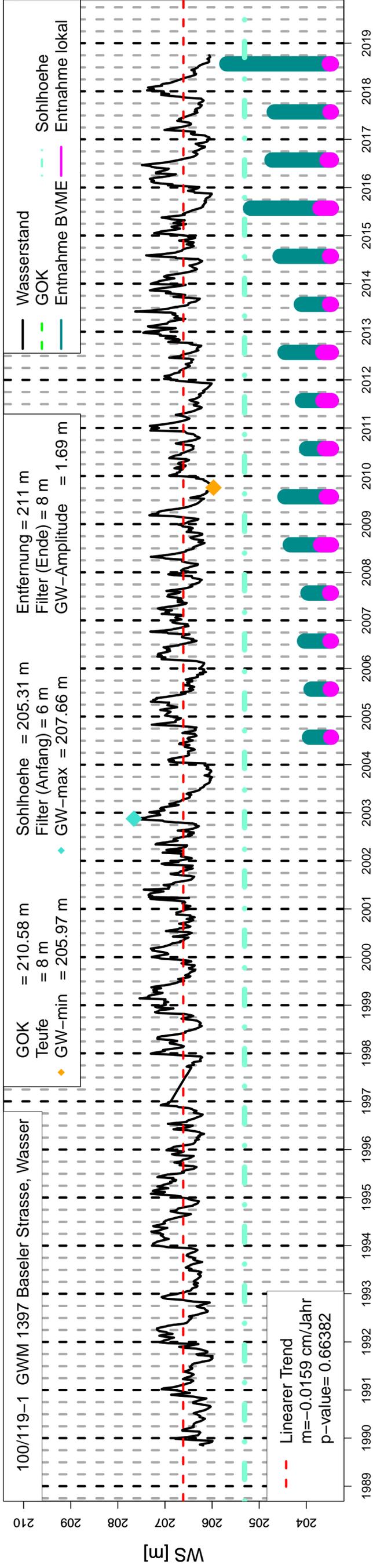
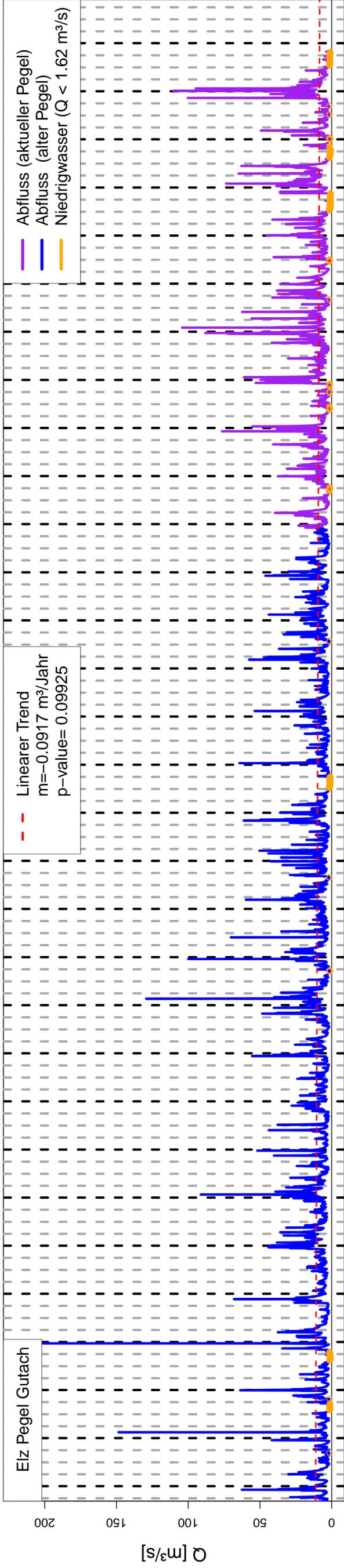
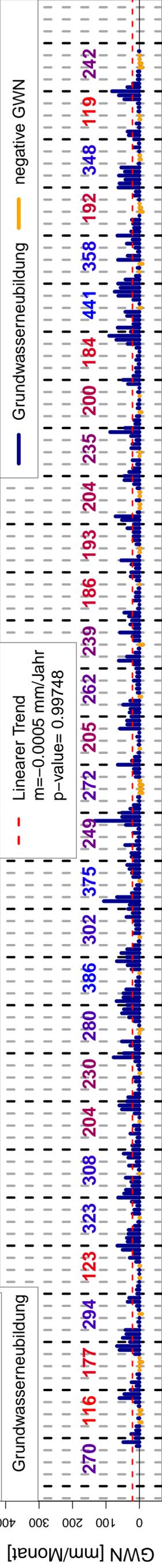
Anhang 5 : Plot 5.1

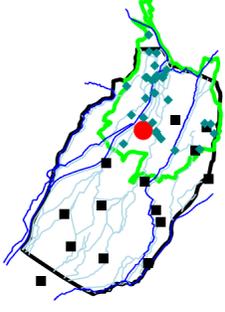


1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019

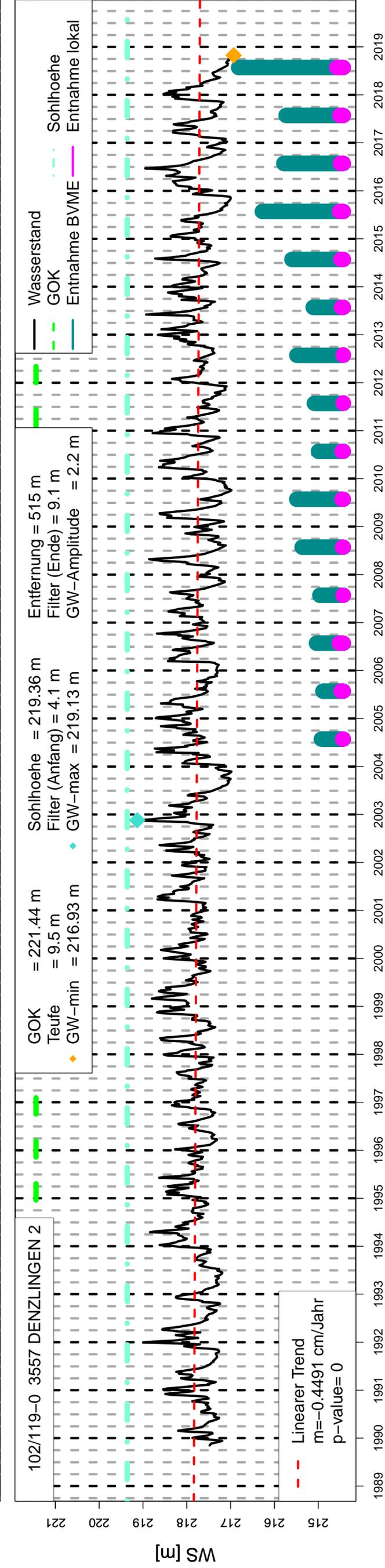
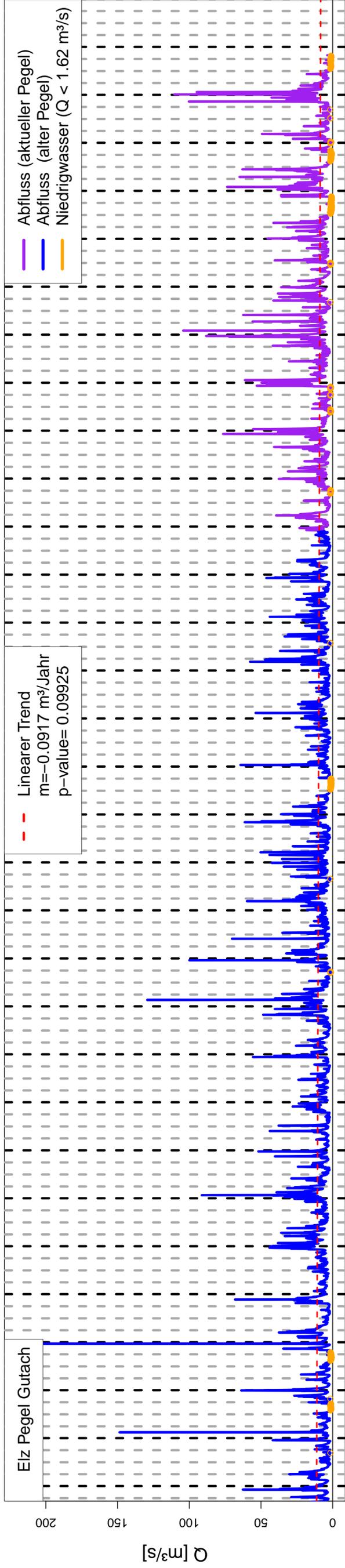
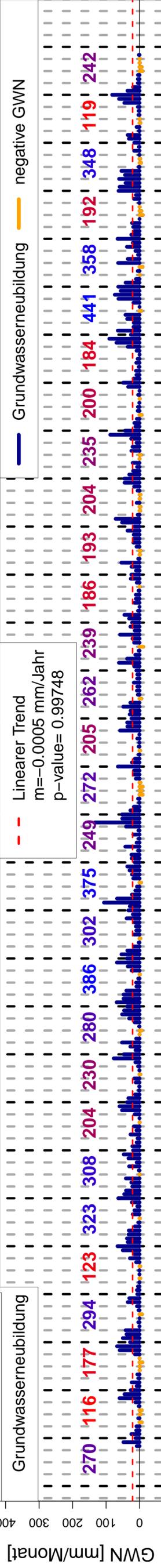


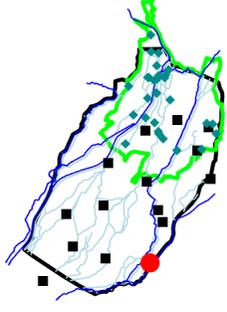
Anhang 5 : Plot 5.2



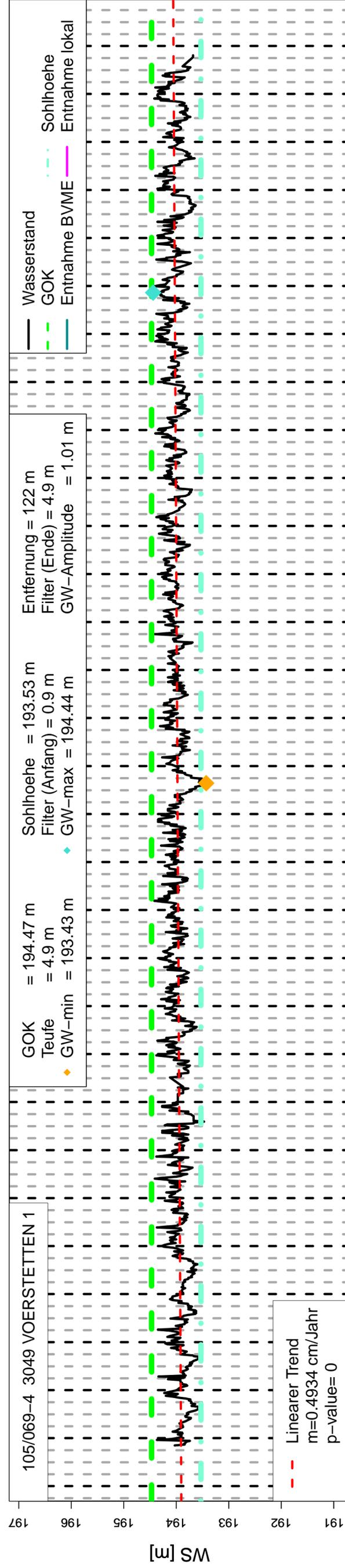
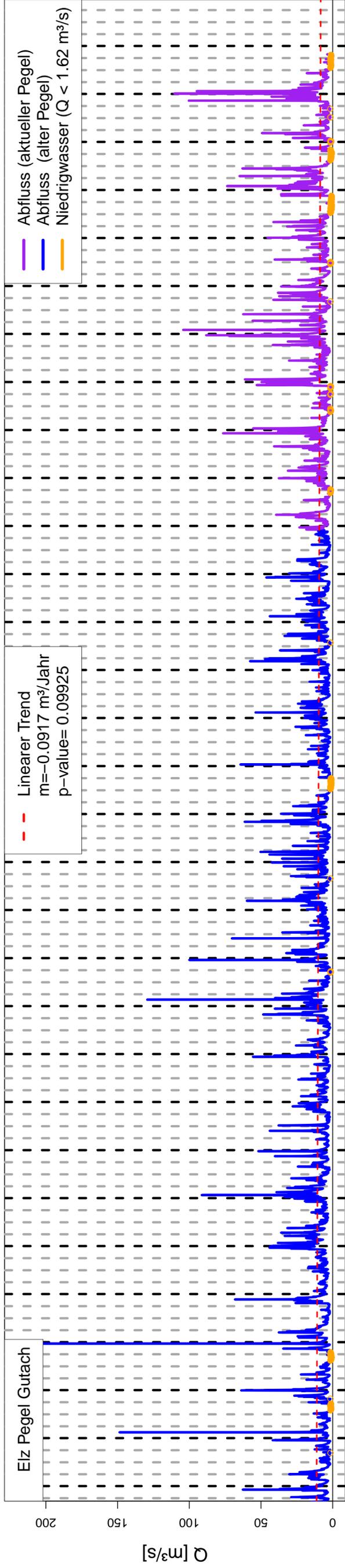
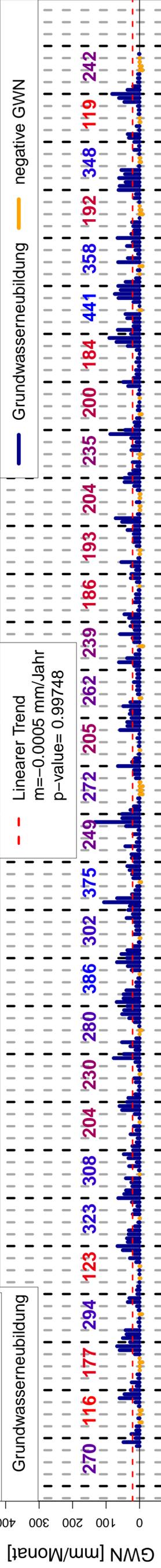


Anhang 5 : Plot 5.3

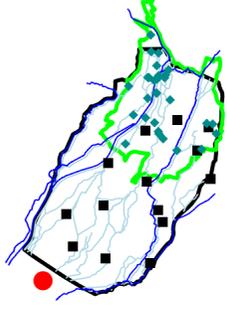




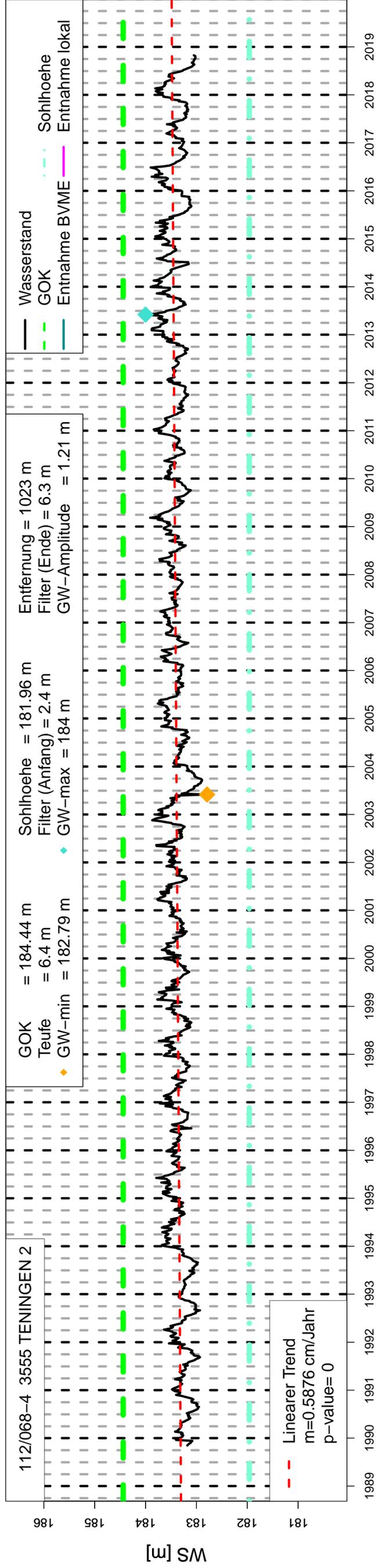
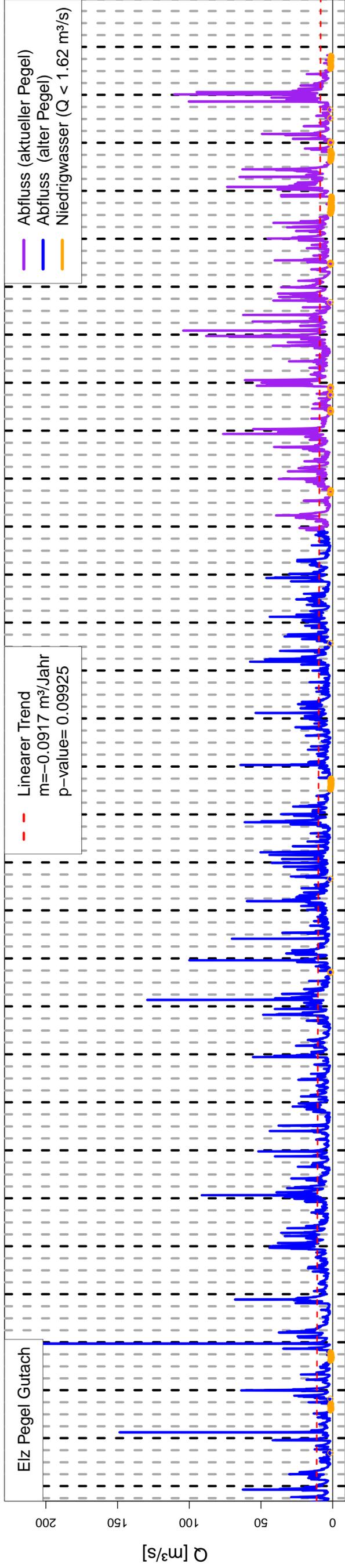
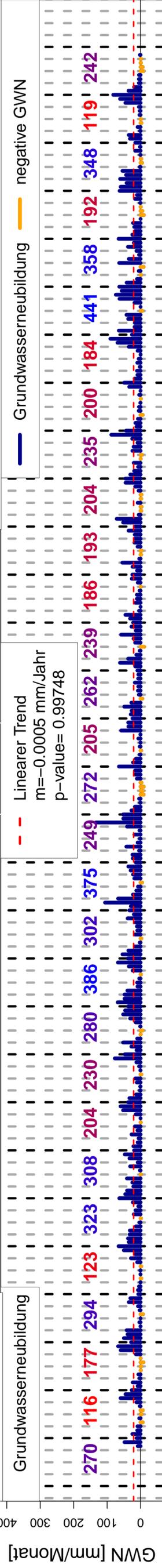
Anhang 5 : Plot 5.4



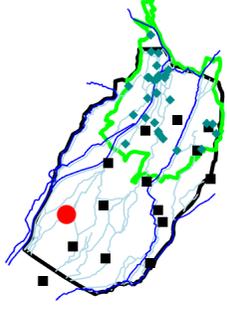
1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019



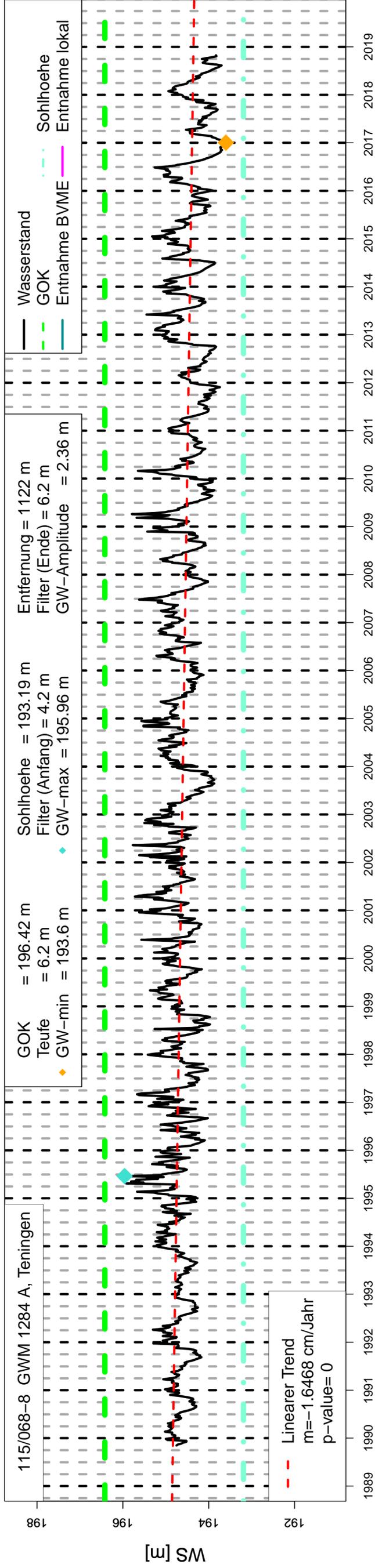
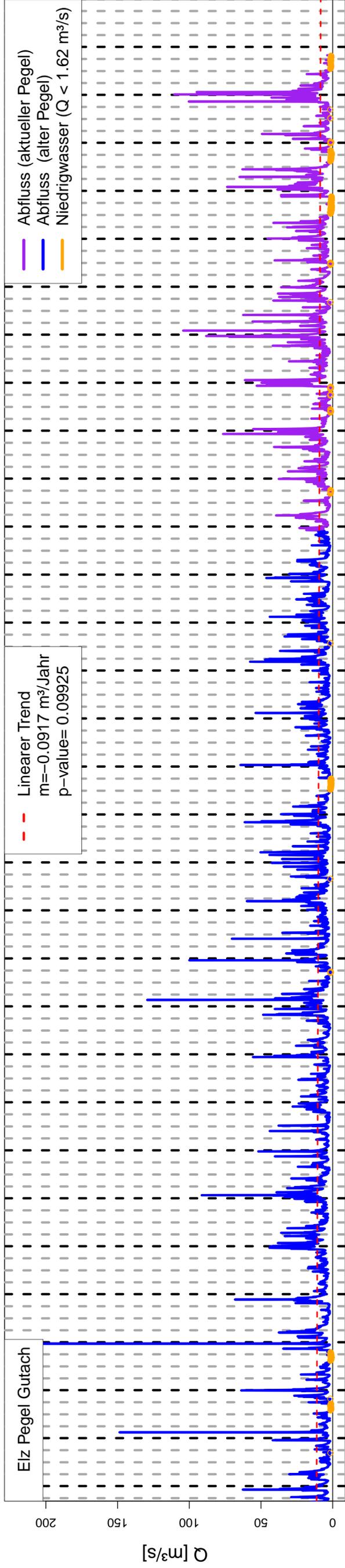
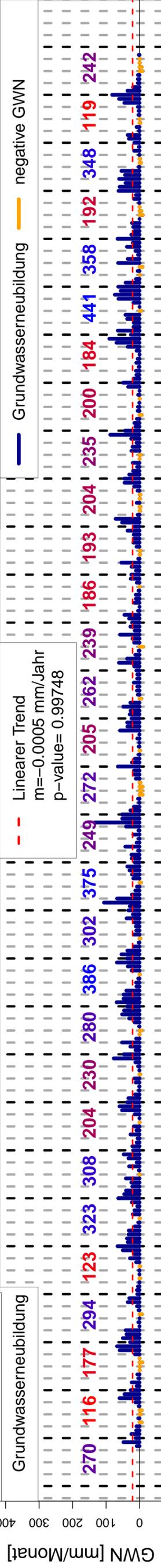
Anhang 5 : Plot 5.5

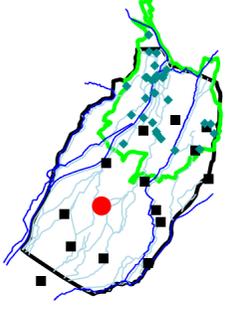


1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019

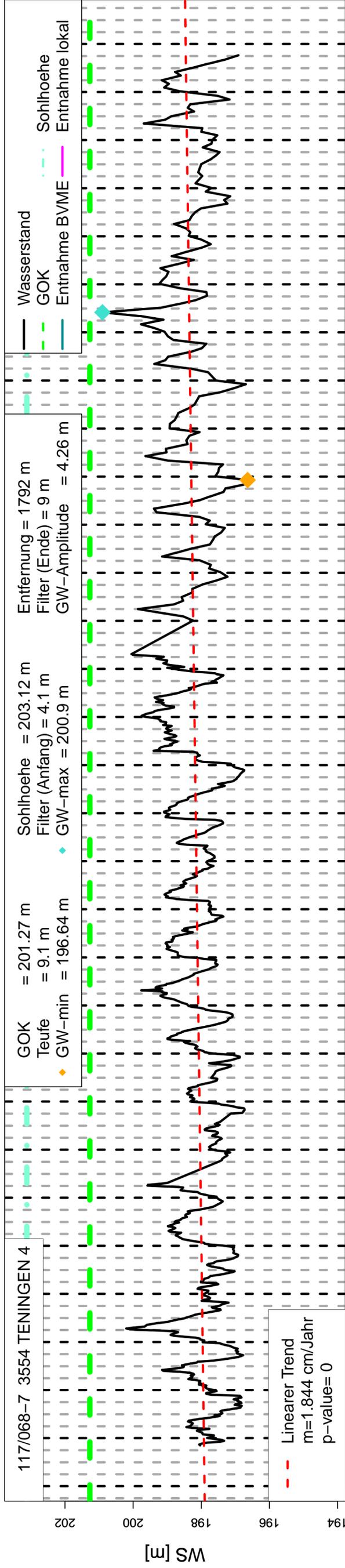
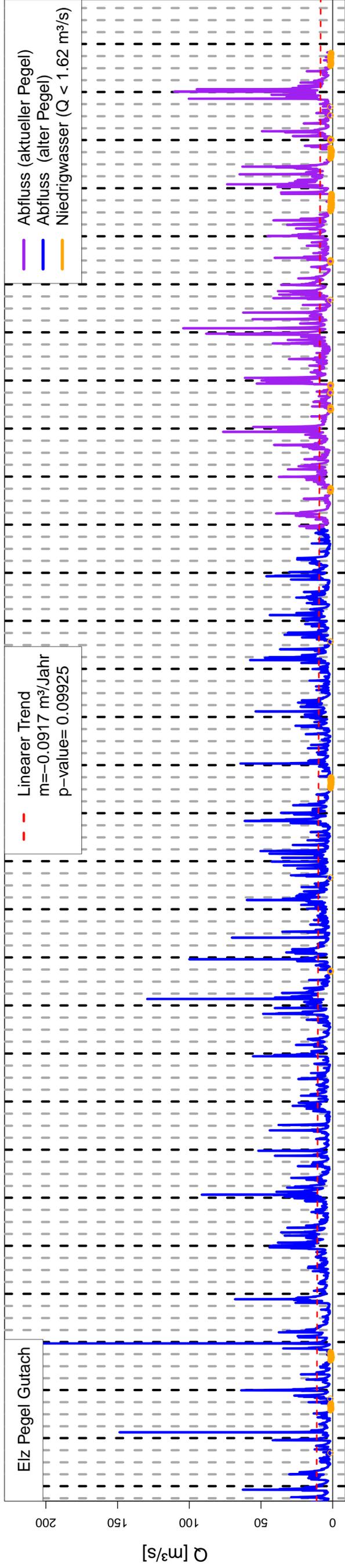
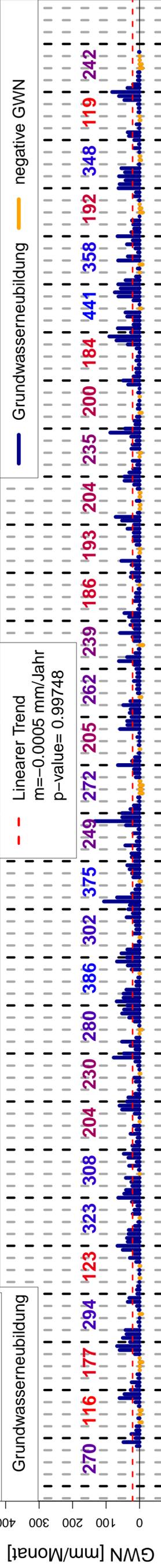


Anhang 5 : Plot 5.6

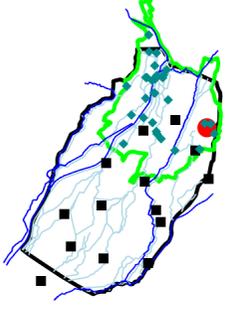




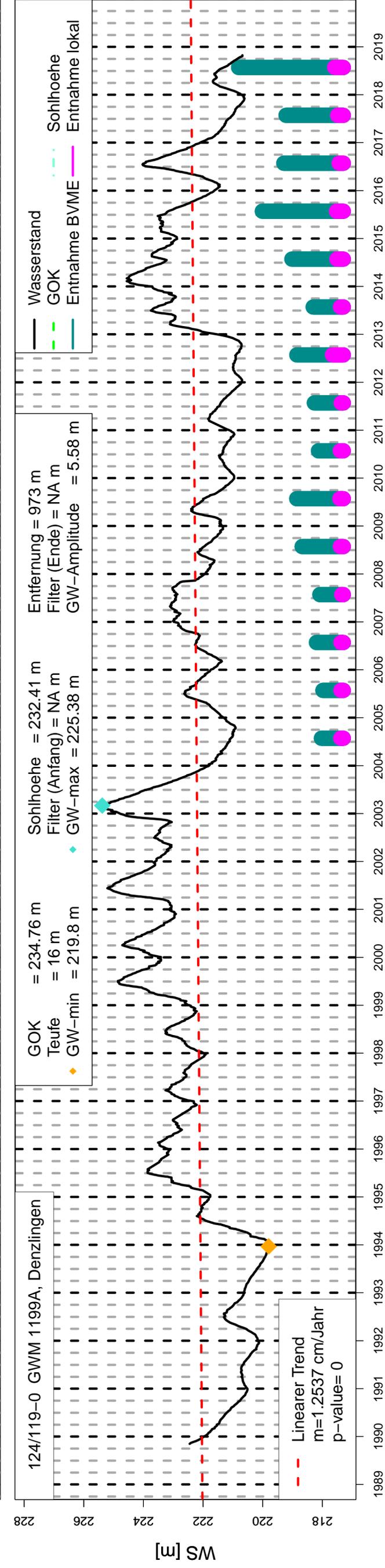
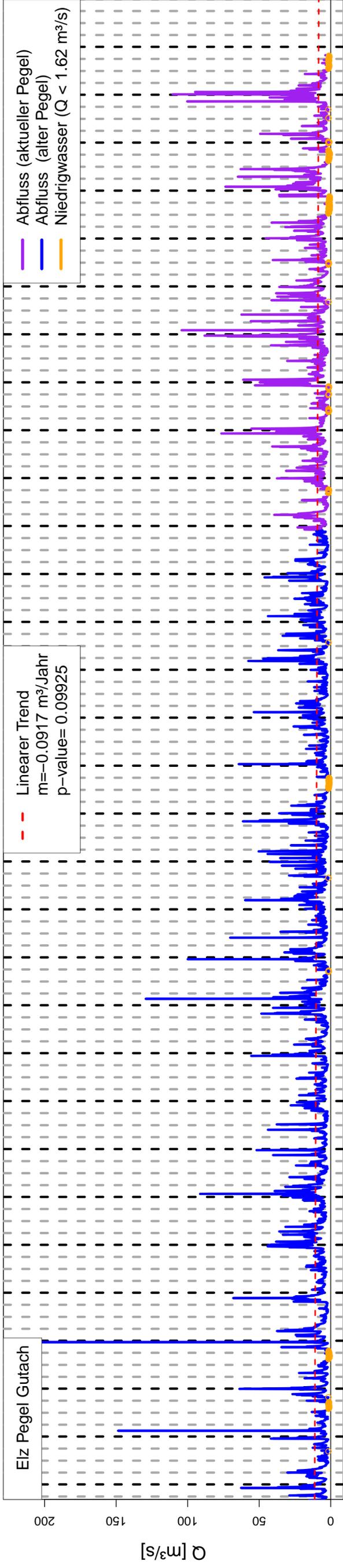
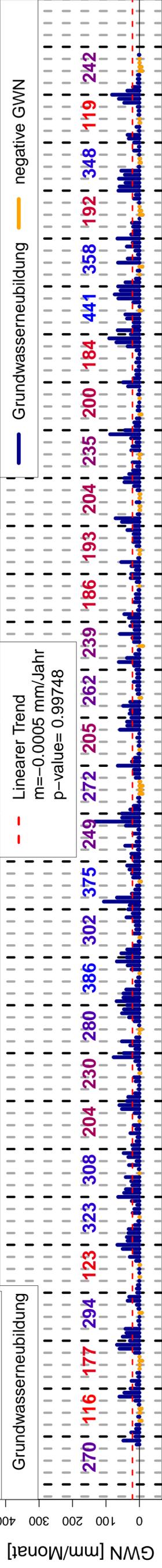
Anhang 5 : Plot 5.7

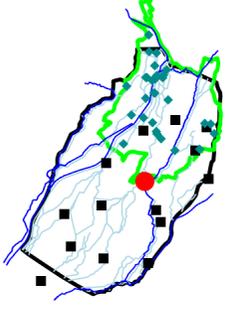


1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019

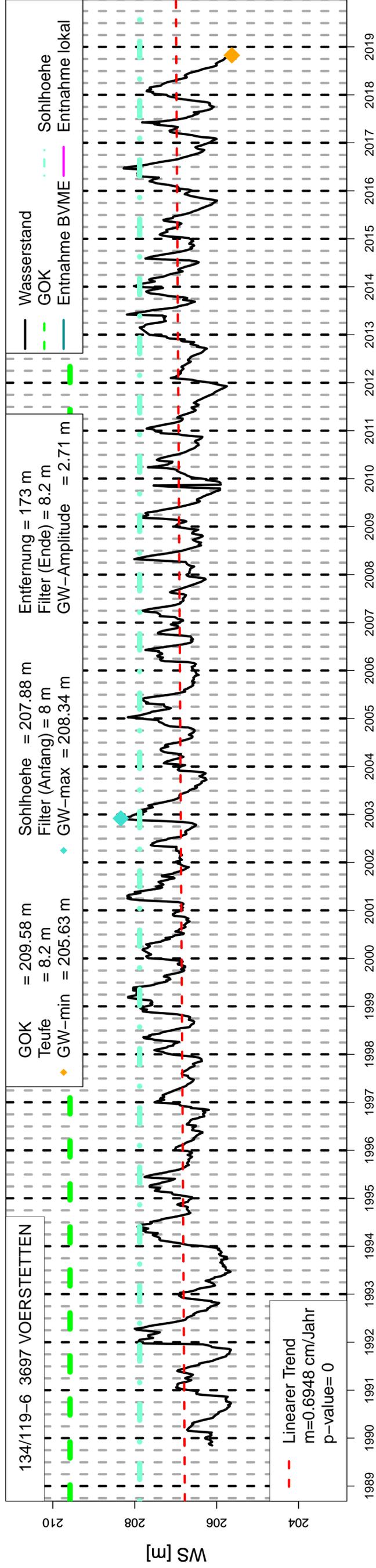
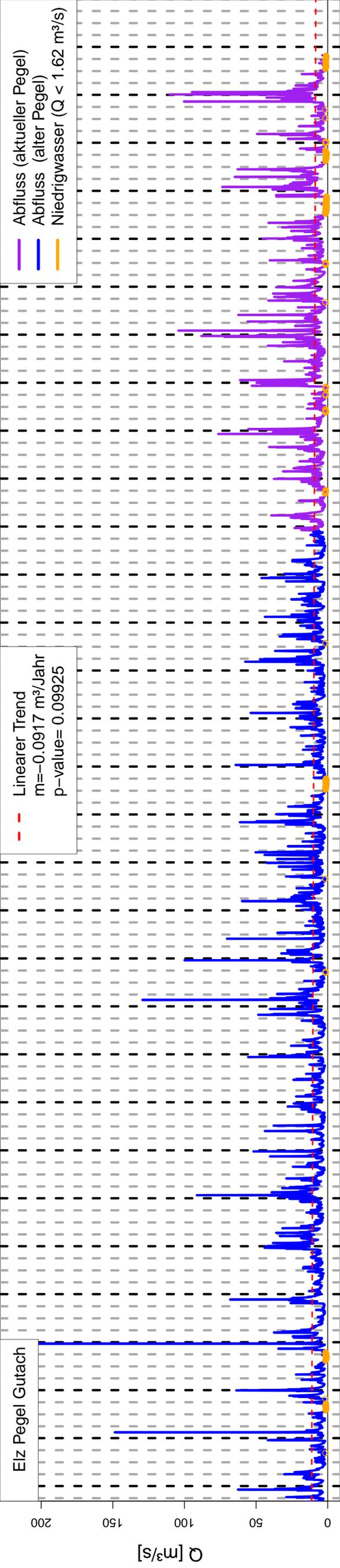
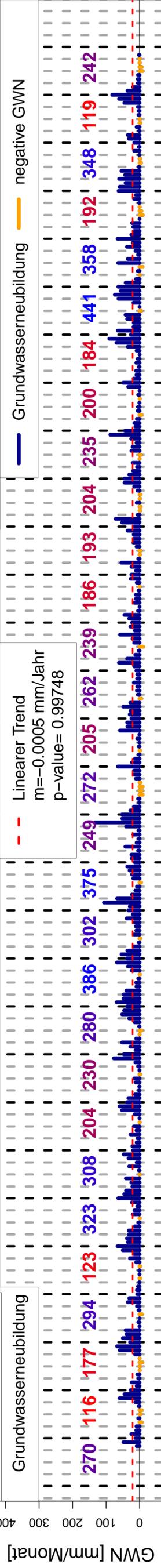


Anhang 5 : Plot 5.8

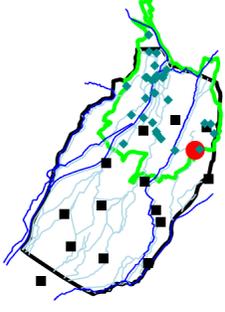




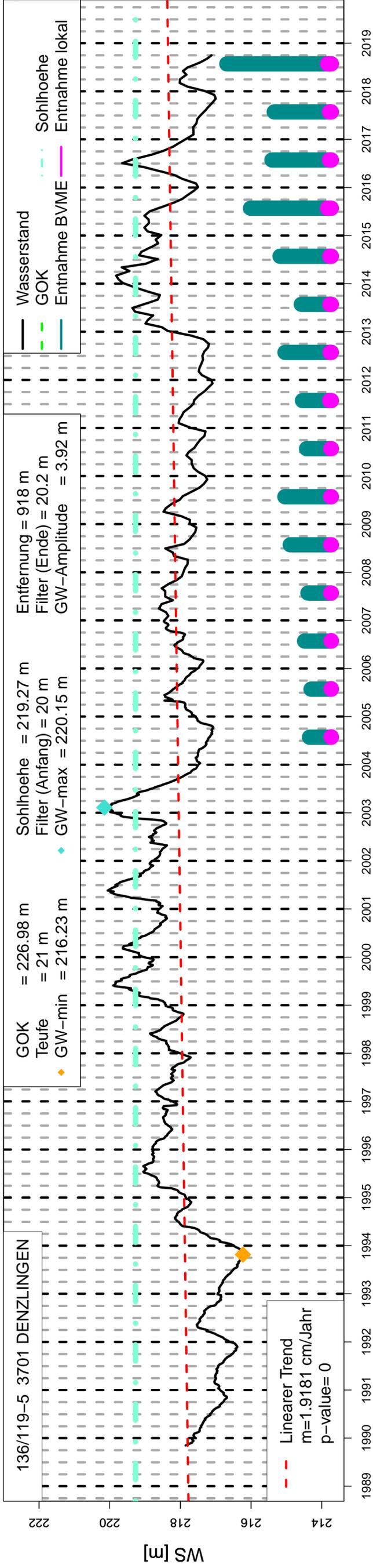
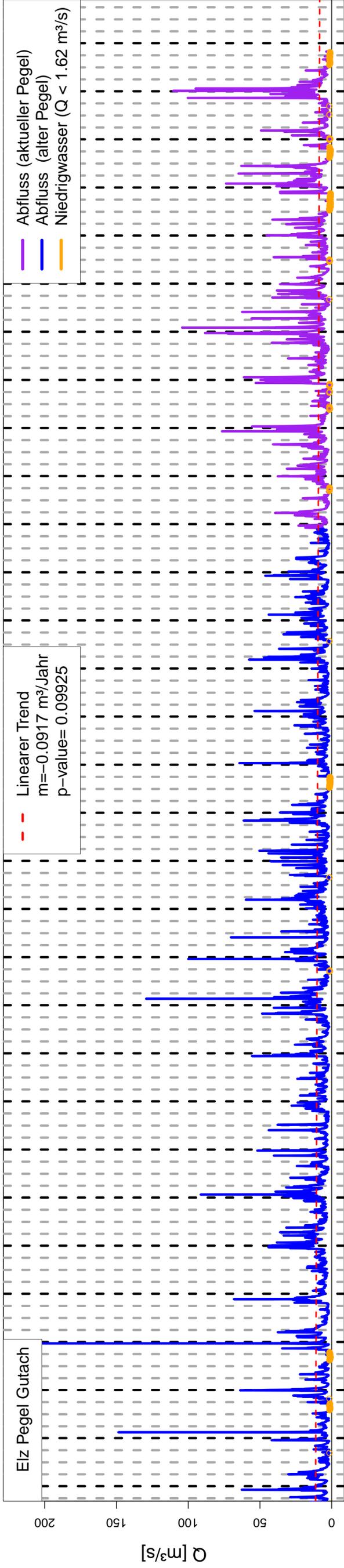
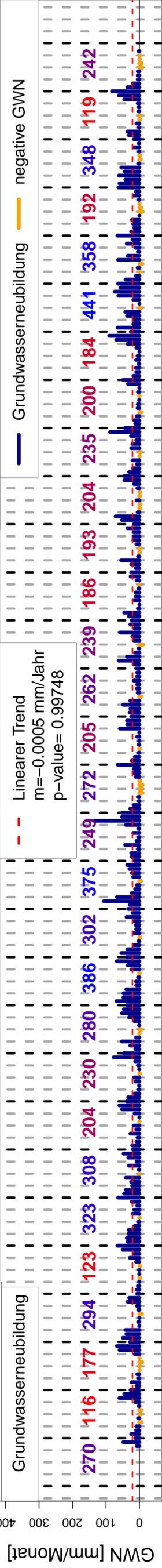
Anhang 5 : Plot 5.9

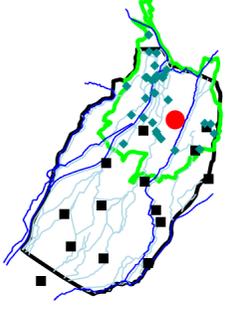


1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019

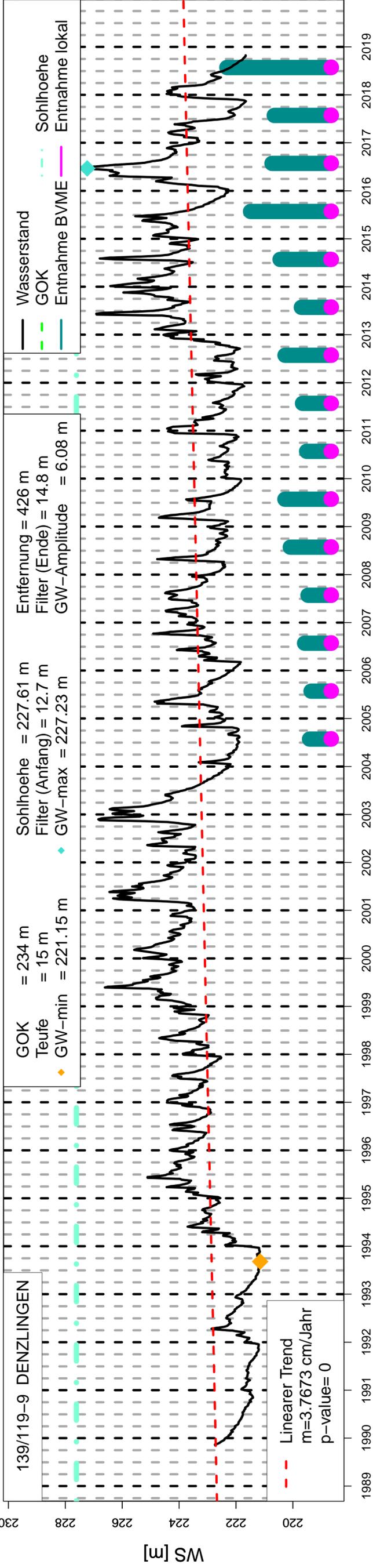
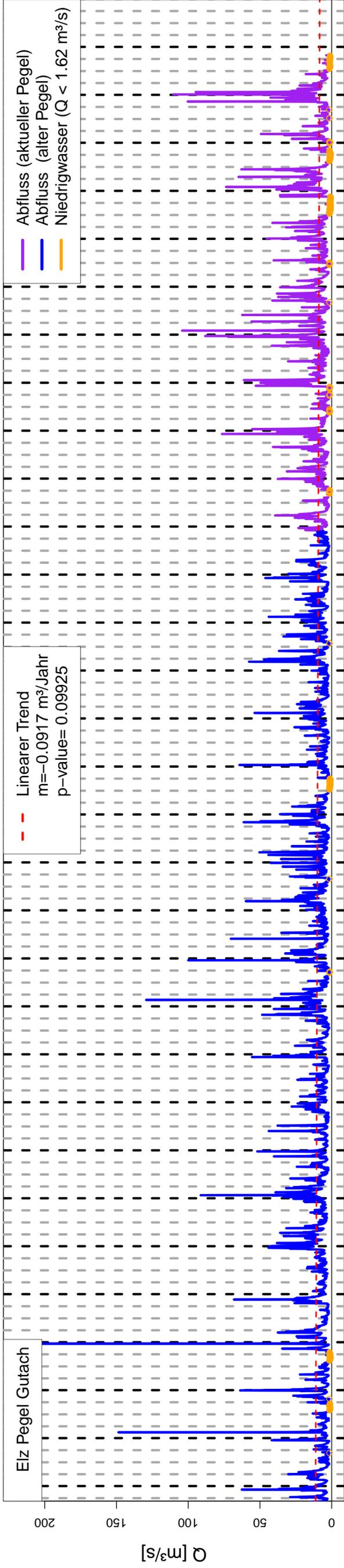
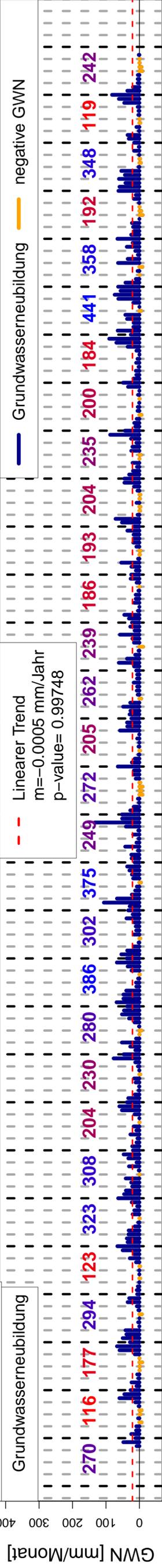


Anhang 5 : Plot 5.10





Anhang 5 : Plot 5.11



Porengrundwasserleiter
 Grundwassermessstellen

Verbandsgebiet
 Aktuelle GWM

Fließgewässer
 Brunnen BVME

Grundwasserneubildung
 negative GWN

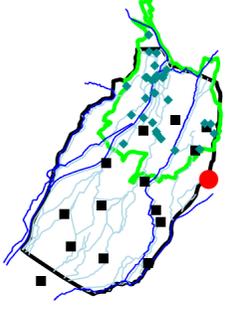
Abfluss (aktueller Pegel)
 Abfluss (alter Pegel)
 Niedrigwasser ($Q < 1.62$ m³/s)

Wasserstand
 GOK
 Entnahme BVME
 Entnahme lokal

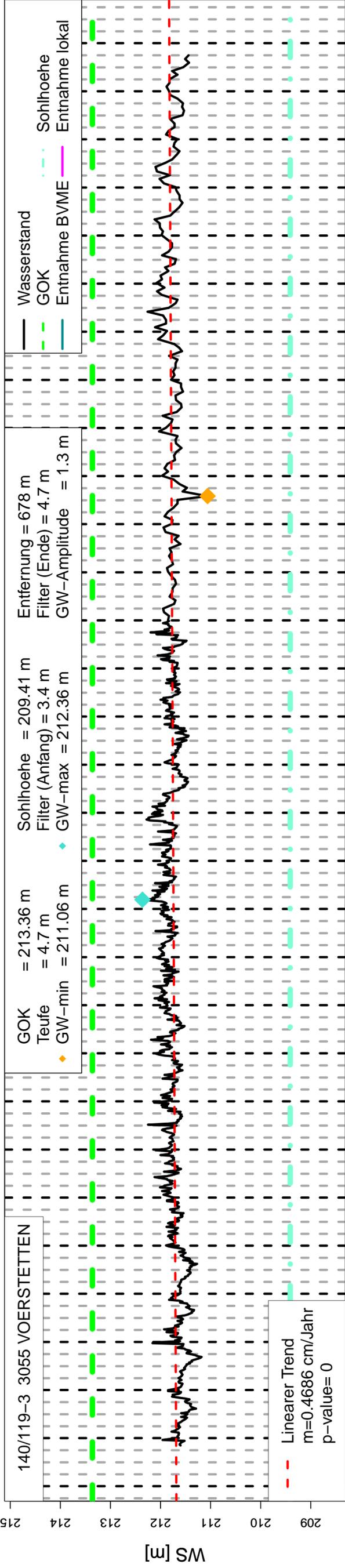
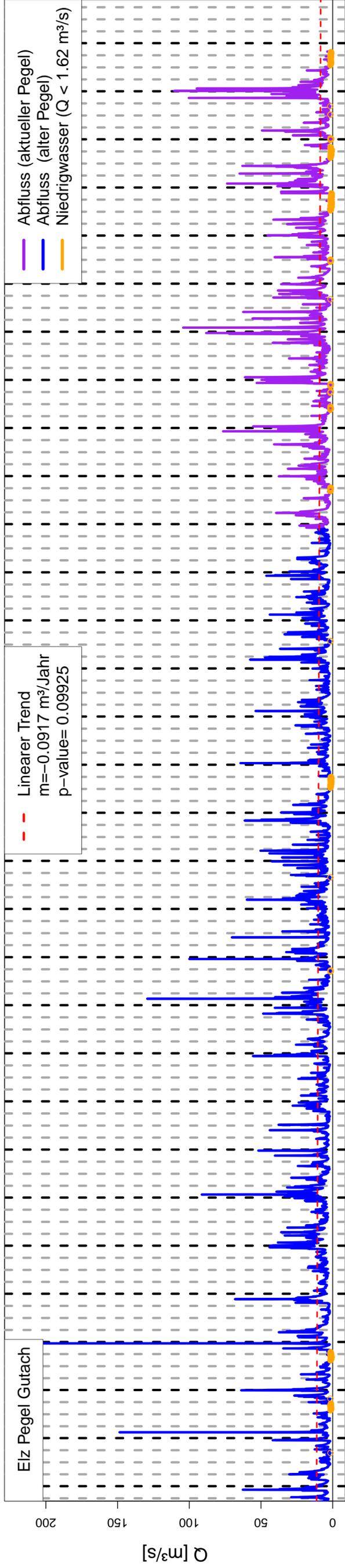
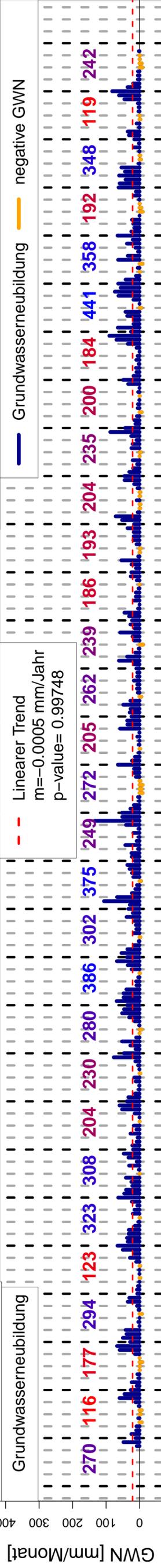
139/119-9 DENZLINGEN
 GOK = 234 m
 Teufe = 15 m
 GW-min = 221.15 m

Sohlhoehe = 227.61 m
 Filter (Anfang) = 12.7 m
 GW-max = 227.23 m

Entfernung = 426 m
 Filter (Ende) = 14.8 m
 GW-Amplitude = 6.08 m

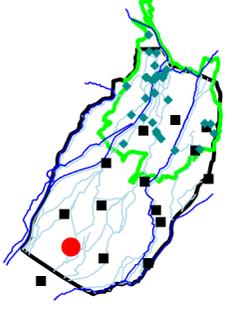


Anhang 5 : Plot 5.12

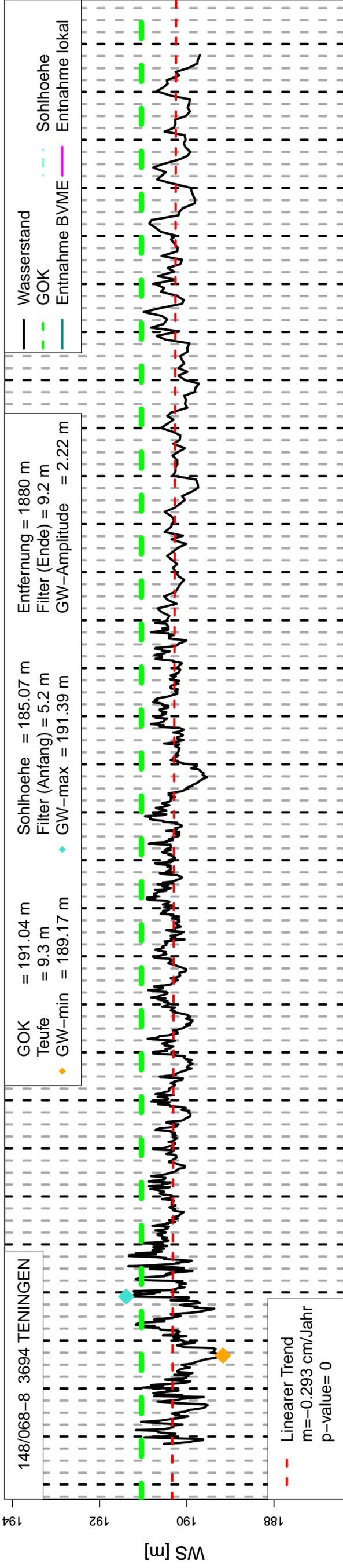
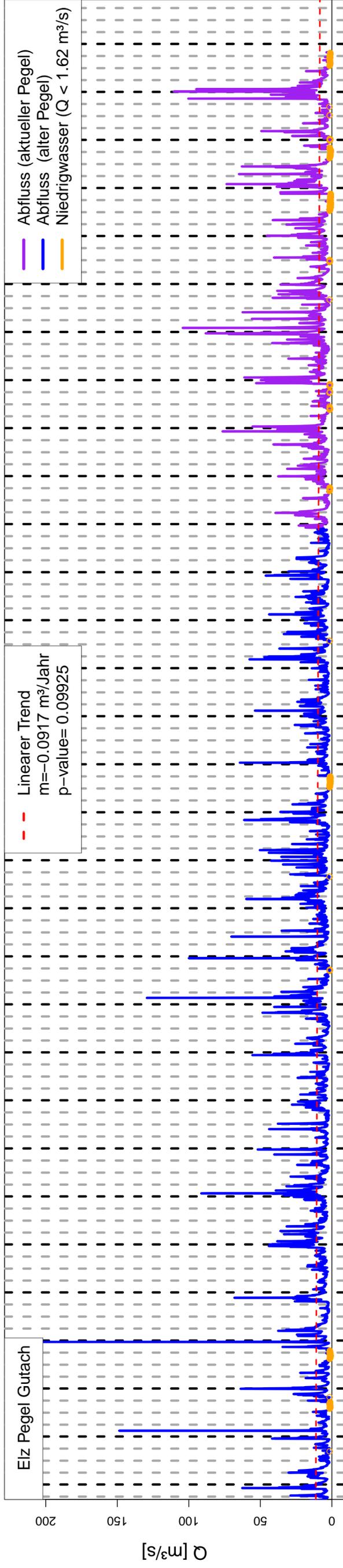
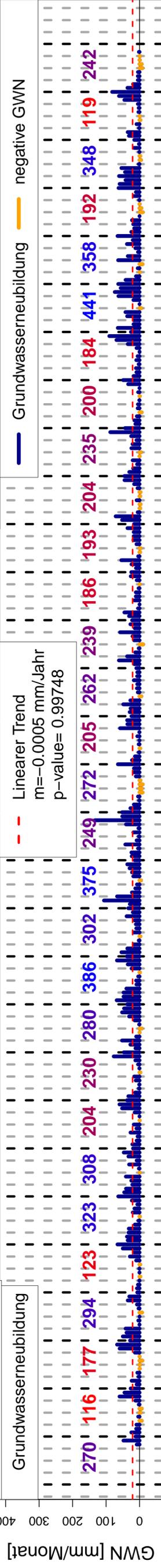


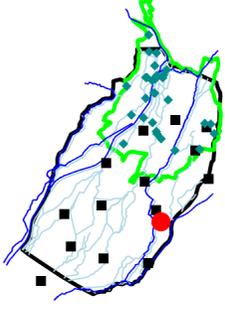
140/119-3 3055 VOERSTETTEN

GOK = 213.36 m Sohlhoehe = 209.41 m Entfernung = 678 m
 Teufe = 4.7 m Filter (Anfang) = 3.4 m Filter (Ende) = 4.7 m
 GW-min = 211.06 m GW-max = 212.36 m GW-Amplitude = 1.3 m

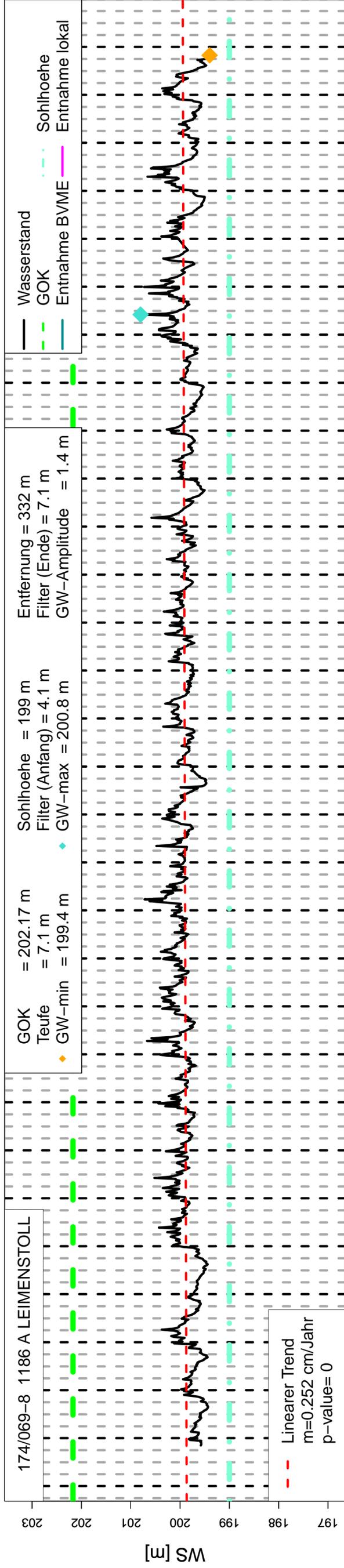
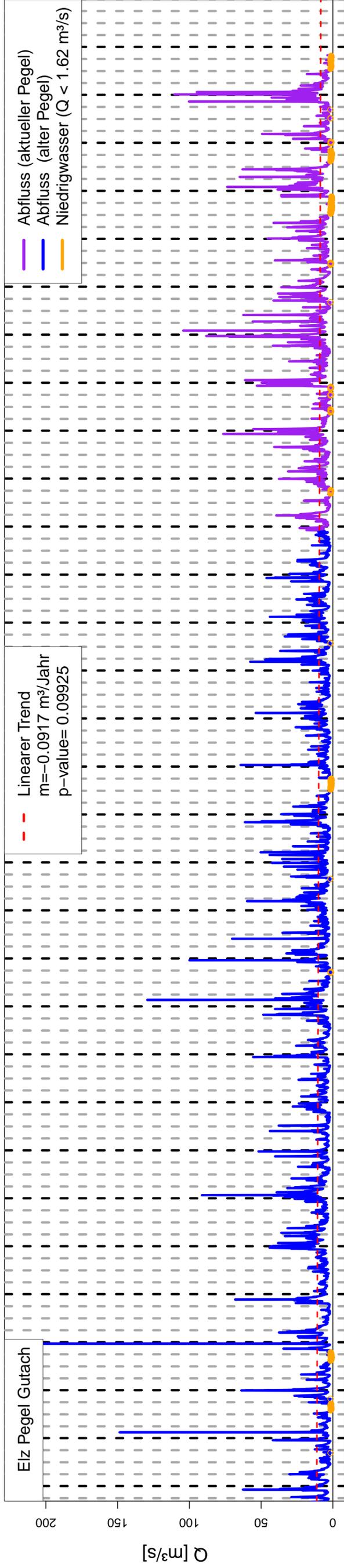
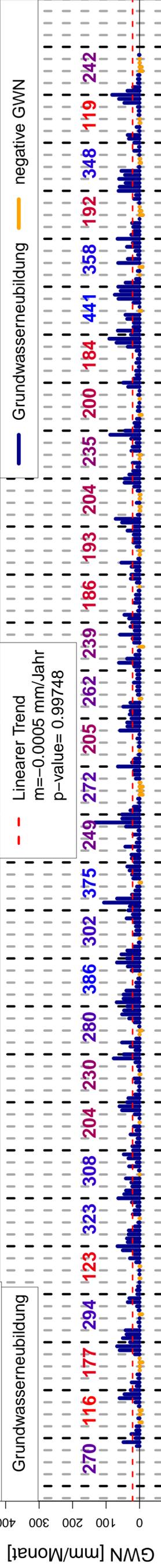


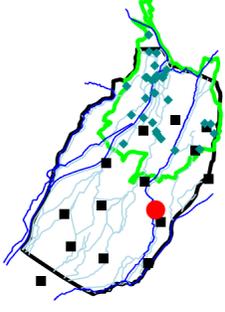
Anhang 5 : Plot 5.13



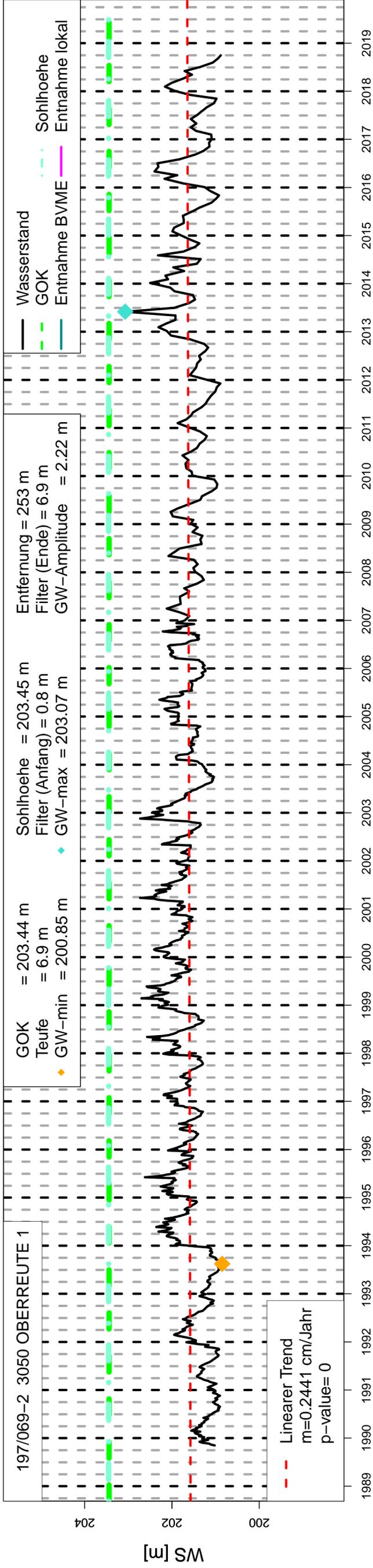
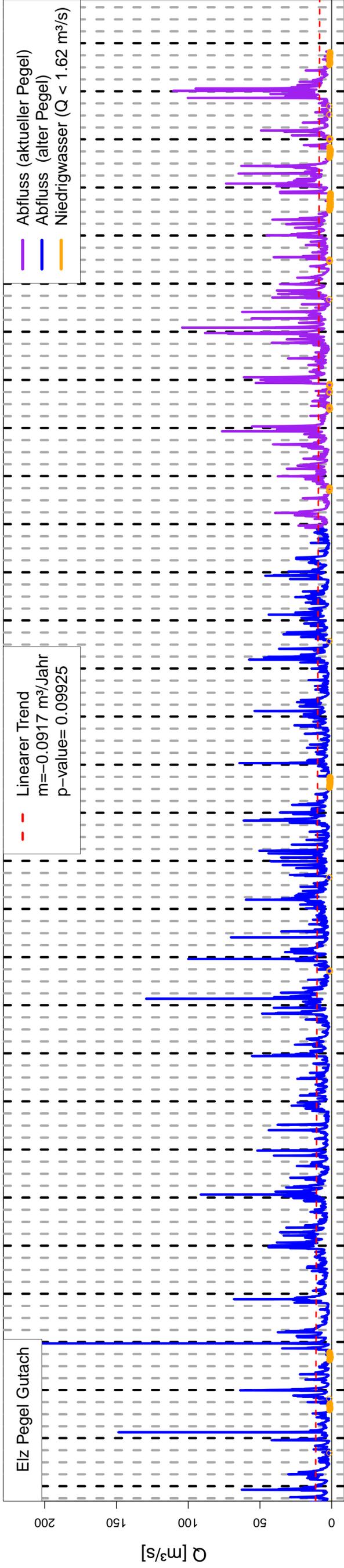
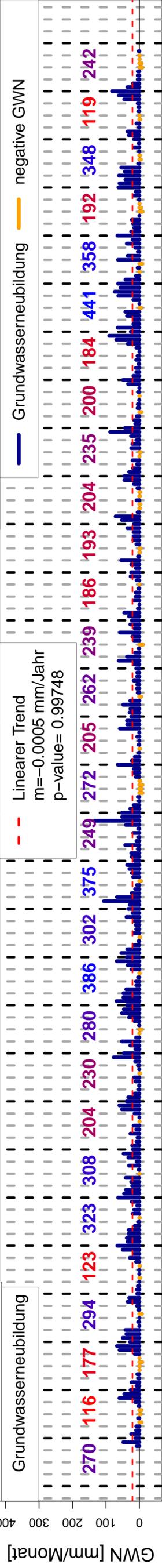


Anhang 5 : Plot 5.14

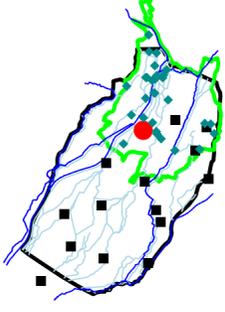




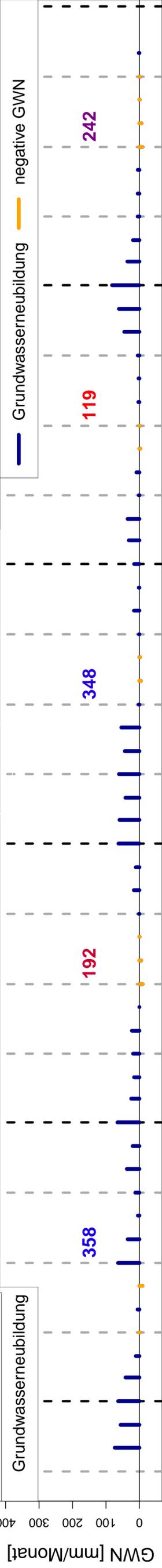
Anhang 5 : Plot 5.15



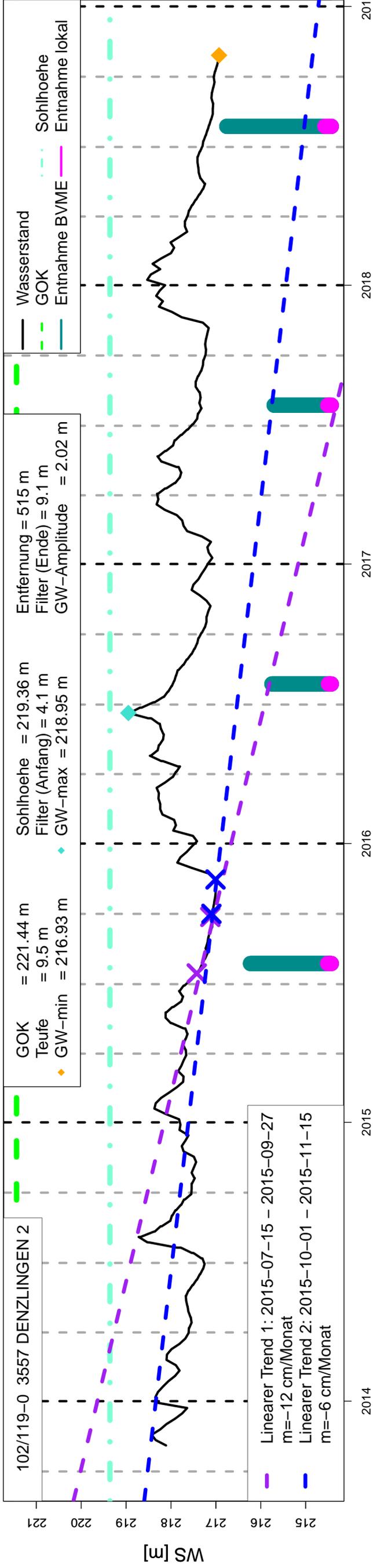
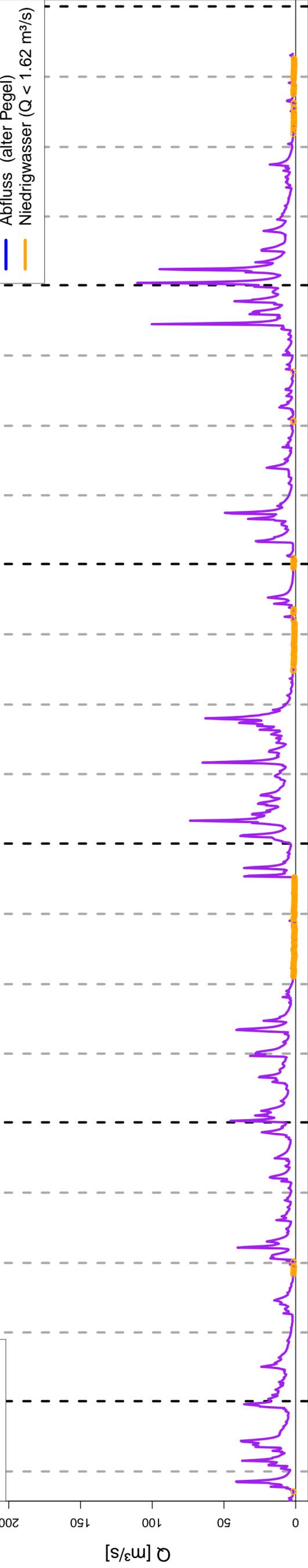
1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019

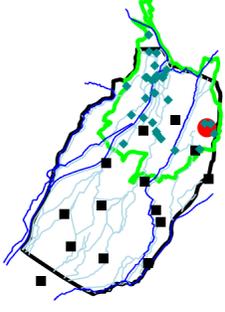


Anhang 6 : Plot 6.3

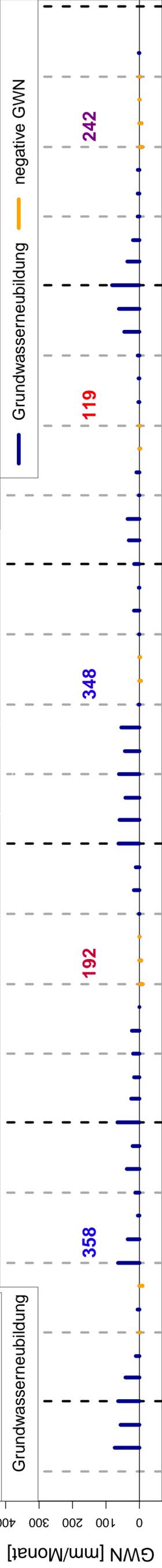


Elz Pegel Gutach

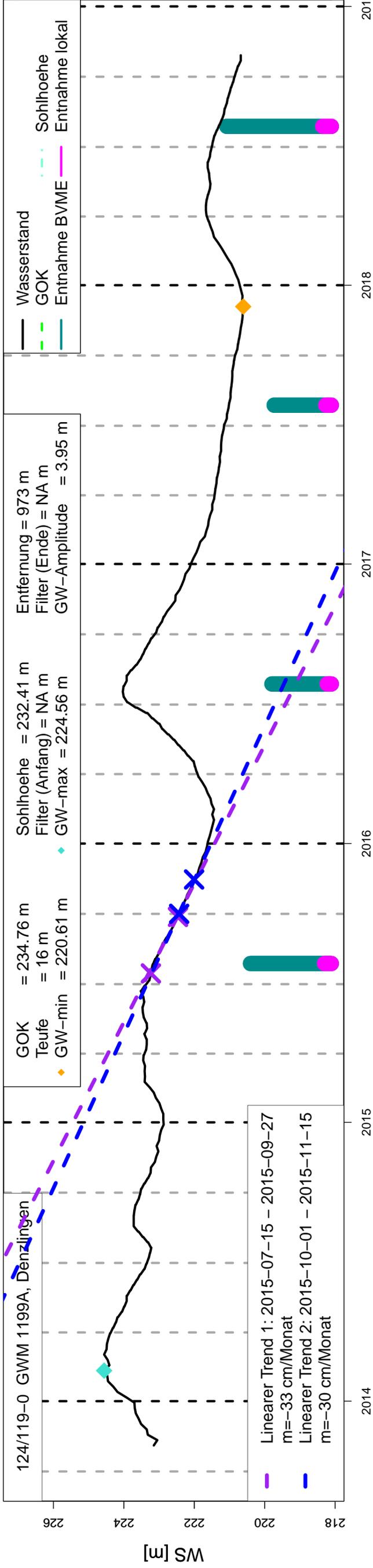
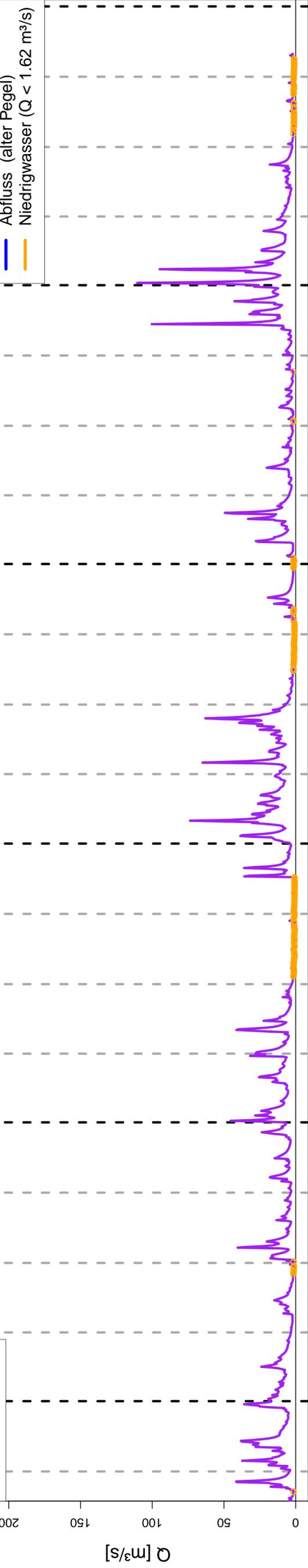


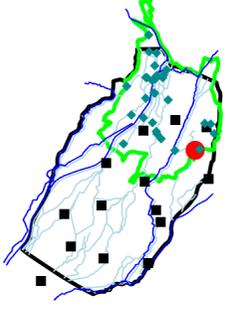


Anhang 6 : Plot 6.8

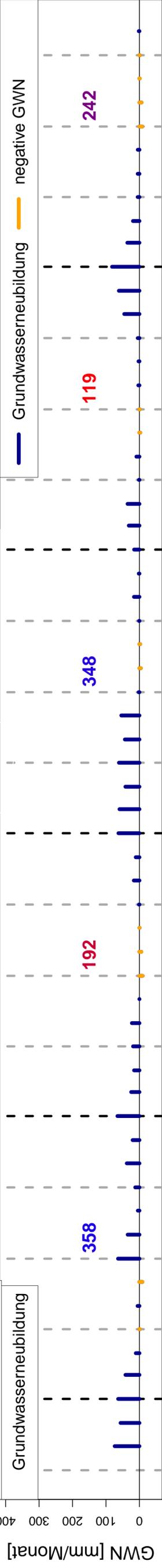


Elz Pegel Gutach

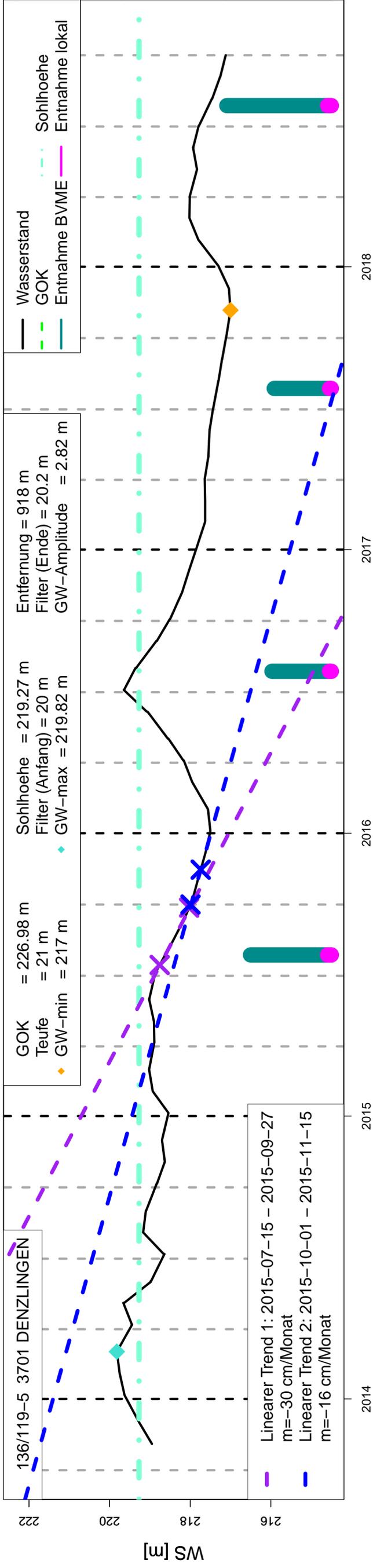
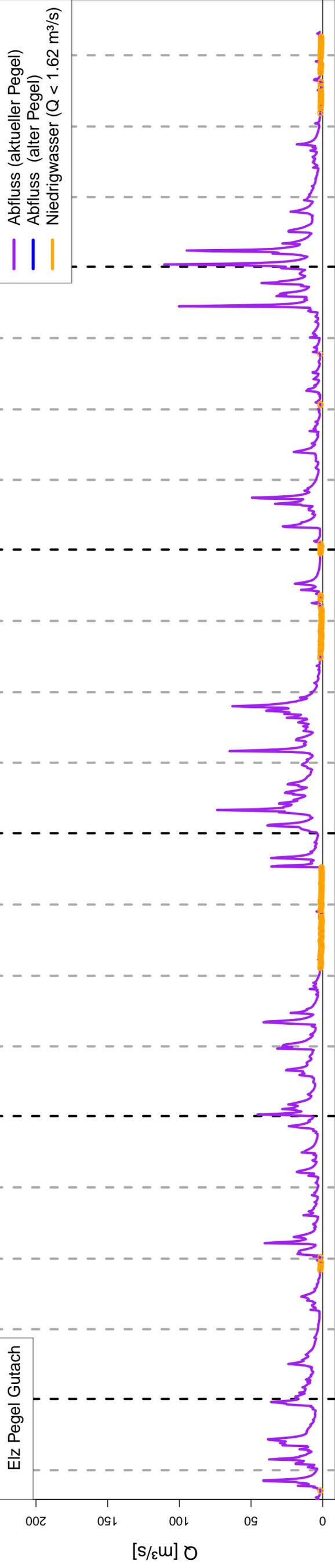


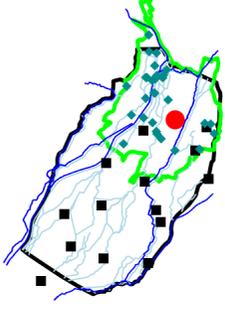


Anhang 6 : Plot 6.10

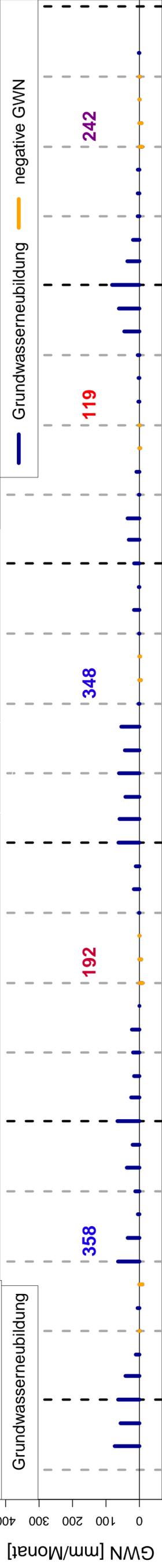


Elz Pegel Gutach





Anhang 6 : Plot 6.11



Elz Pegel Gutach

