DR. KÖHLER & DR. POMMERENING GMBH
Beratende Geologen, Hydrogeologen und Ingenieure

Ergänzungen zum Hydrogeologischen Gutachten

Süderweiterung des Steinbruchs Plettenberg der HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH

Projekt-Nr.: 214102
12. Oktober 2018

Gutachter:

Dr. Johannes Pommerening

Auftraggeber:

HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH
Dormettinger Straße 23
72359 Dotternhausen

DR. KÖHLER & DR. POMMERENING GMBH
Am Katzenbach 2
31177 Harsum
Tel.: 05127 / 90207-0
Fax: 05127 / 90207-29
E-mail: info@koehler-pommerening.de
Internet: www.koehler-pommerening.de

Geschäftsführung:
Dr. Johannes Pommerening
Thomas Hacke
Corinna Ahlers

Sitz der Gesellschaft: Harsum
Amtsgericht: Hildesheim
HRB-Nr.: HRB 202784
Ust-IdNr.: DE279818712

Inhaltsverzeichnis Seite

1 Einführung 3
2 Quellen am Plettenberg und hydrogeologische Zonierung 3
3 Markierungsversuch 7
4 Grundwasserstand und Ganglinien-Analyse 8
5 Hydrochemie 18
6 Wasser im Rückhaltebecken 19
7 Hydraulische Versuche und Pumpversuche 21
8 Berechnung zur Vulnerabilität – Schutzfunktion der Deckschichten 22
9 Auswirkungen auf die Oberflächenwasserqualität und –menge 24

Abbildungsverzeichnis Seite

Abb. 1: Gang der Grundwasserstände auf dem Plettenberg 11
Abb. 2: Niederschlags-Tagessummen Station Balingen-Heselwangen 11
Abb. 3: Gang der Grundwasserstände im unverritzten Gebirge südlich vom Abbaubereich 12
Abb. 4: Gang der Grundwasserstände im Abbaubereich 12
Abb. 5: Ganglinien der gemessenen Wasserstände und der Tagesniederschläge im Zeitraum vom 1.11. bis 20.11.2017 16
Abb. 6: Schemabild zur Reaktion geklüfteten Kalk- oder Mergelsteins auf Niederschlagsereignisse und Ausbildung einer durchgehenden Grundwasseroberfläche 17
Abb. 7: Gang der Grundwasserstände und des Wasserstandes im Rückhaltebecken 20
Abb. 8: Niederschlags-Tagessummen Station Balingen-Heselwangen 20

Tabellenverzeichnis Seite

Tab. 1: Auswertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung auf der Erweiterungsfläche 23
Tab. 2: Einteilung der Gesamtschutzfunktion nach Hölting et al. 1995 23

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Hydrogeologisches Modell Plettenberg - Profil West-Ost

1 Einführung

Zu dem mit Datum vom 30.01.2018 erstellten hydrogeologischen Fachgutachten zur Süderweiterung des Steinbruchs Plettenberg (Autoren : Pommerening, J.; Thiemann, P. & Nguyen, H.T.) wird mit dieser Stellungnahme eine fachliche Ergänzung vorgelegt. Dabei werden hydrogeologische Themenbereiche, die im Fachgutachten behandelt wurden, vertiefend erläutert und bewertet.

2 Quellen am Plettenberg und hydrogeologische Zonierung

Die Quellen am Plettenberg sind oberflächennah gefasst. Das Quellwasser entstammt aus unterschiedlichen hydrogeologischen Teilräumen im Einzugsgebiet der Quellen. Diese Teilräume umfassen einerseits Porengrundwasserleiter im Lockergestein des quartären Hangschutts und andererseits Kluftgrundwasserleiter im Impressamergel, der weit überwiegend nicht als Karstgrundwasserleiter ausgeprägt ist. Hinzu kommen die Deckschichten über dem Grundwasser. Aus diesen Teilräumen benötigt das Wasser bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten sehr unterschiedlich lange Zeiträume, um bis zur Quelle zu gelangen.

Zur Erläuterung und zur Darstellung der hydrogeologischen Verhältnisse am Plettenberg wurde am Beispiel der Hangquelle ein Profil des Einzugsgebietes mit den jeweiligen hydrogeologischen Teilräumen erstellt (s. Anlage 1). Diese Darstellung und die Bewertungen dazu sind generell auf alle Quellen am Außenhang des Plettenbergs übertragbar.

Die hydrogeologische Einstufung der einzelnen Zonen/Teilräume hinsichtlich des Gefährdungspotentials für die Quellen und des Quellenschutzes sowie die Auswirkungen des Gesteinsabbaus im Erweiterungsgebiet auf die hydrogeologischen Teilräume im Einzugsgebiet sind wie folgt zu beschreiben (Anlage 1):

<u>Zone 1</u>
<u>Lage:</u>
Direkter, quellnaher Zuflussbereich. Grundwasser-erfüllte Poren im Lockergestein der Hanglehme und Hangschuttmassen.
<u>Fließzeit zur Quelle:</u>

wenige Tage bis wenige Wochen.

Gefährdungspotential:

Von hier geht das höchste Gefährdungspotential für die Quellen aus, da das nach Niederschlägen dort versickernde Wasser meist nur wenige Tage bis Wochen bis zur Quelle im Boden zirkuliert.

Veränderung durch den Steinbruch und die Erweiterung:

keine.

Zone 2

Lage:

Wohlgeschichtete Kalke und Impressamergel oberhalb des Grundwassers. Nach Niederschlägen erfolgt eine Sickerwasser-Bewegung auf Klüften, Schichtflächen und anderen Trennflächen, in den Wohlgeschichteten Kalken auch in verkarsteten Bereichen, vorwiegend vertikal nach unten, im Bereich von Schichtflächen und über tonig-mergeligen Schichten auch horizontal.

Fließzeit zur Quelle:

Mehrere Tage bis Wochen (bei etwa direktem Weg), Wochen bis Monate bei Versickerung bis in das Grundwasser und anschließendem Abstrom in Grundwasserzone Richtung Quelle (Zone 3)

Gefährdungspotential:

Aus diesem Einzugsbereich (Sickerwasserzone oberhalb vom Grundwasser) kann ein kleinerer Teil des Sickerwassers über Klüfte und Trennflächen sowie auf stauenden Mergelschichten in dem oberflächennahen und aufgelockerten Gesteinsbereich relativ schnell und zum Teil horizontal abfließen und der Zone 1 und damit der Quelle zufließen. Das haben die Markierungsversuche mit den Tracerankünften und den geringen „Wiederfindraten“ von < 2% gezeigt.

Veränderung durch den Steinbruch und die Erweiterung:

Die Zone 2 im Einzugsgebiet der Quellen bleibt zu einem großen Teil erhalten (s. Profil Anlage 1). Von der Quelle entfernt gelegene Bereiche dieser Zone 2 werden im Steinbruch abgebaut. Das Regenwasser gelangt dort dann nicht mehr so schnell auf diesem direkten Weg über die Zone 2 in die Zone 1, sondern versickert zunächst in Zone 3b. Dort ist die Grundwasserfließgeschwindigkeit sehr viel langsamer s.u.). Das zeigen die hydraulischen Versuche in den Grundwassermessstellen und Bohrungen (kf <= $1*10^{-6}$ m/s). Eine schnelle Ausbreitung von Wasser über Klüfte im Bereich oberhalb des Grundwassers in Richtung Quellen wird durch den Gesteins-Abbau damit auf diesen Flächen un-

terbunden. Die hohen Abstandsgeschwindigkeiten nach den Markierungsversuchen können im Abbaubereich nicht mehr auftreten (s. Zone 3). Das Gefährdungspotential für Quellen wird daher durch den Abbau nicht erhöht. Im Abbaubereich auf der untersten Sohle ist das Gefährdungspotential für die Quellen eher gering, da versickerndes Wasser die Zone 3a und 3b durchströmen muss und die Ausbreitung des Wassers auf diesem Weg deutlich langsamer erfolgt (Fließzeit Monate-Jahre – Zone 3b). Eine Ausbreitung des Sickerwassers über die Zone 2 ist im abgebauten Steinbruch nur nach im Bereich der Steinbruchböschungen gegeben. Das Gefährdungspotential ist gegenüber dem aktuellen Stand betreffend die Ausbreitungspfade für Wasser generell nicht erhöht, bereichsweise (auf der Steinbruch-Sohle) auch verringert.

Zone 3

Lage:

Impressamergel, Grundwasser erfüllter Bereich. Grundwasser fließt in Richtung Plettenberg-Hang. Die Mergelstein-Schichten sind überwiegend bankig ausgebildet und nur wenig geklüftet. Sie sind insgesamt als Grundwassergeringleiter einzustufen (Plum, H.; Ondreka, J. & Armbruster V. 2008). Die Verzahnung der Mergelsteine mit Kalksteinen der mittleren Lochen-Schichten (joLOm) (Schwamm-Fazies) innerhalb der Schichtfolge ist gemäß der geologischen Karte bekannt (insbesondere an der südlichen Felswand) und auch in B2015-2 erbohrt. Die Schwamm-Fazies (Lochen-Formation) fungiert als Kluft- und/oder Karst-Grundwasserleiter (HGE 2004, Plum, H.; Ondreka, J. & Armbruster V. 2008). Allerdings ist diese Lochen-Formation im Bereich des Erweiterungsgebietes und des Steinbruches nicht flächenhaft nachgewiesen. Sie tritt nur lokal und nicht in größeren zusammenhängenden Arealen auf. Hydrogeologisch und hinsichtlich der Fließgeschwindigkeiten im Grundwasser ist daher die gebankte Fazies mit den Mergelsteinen mit Kalk- und Kalkmergelsteinbänken für die gesamte Formation des Impressamergels bestimmend.

Das zeigen die hydraulischen Versuche an den Bohrungen und Messstellen, die kf-Werte von $1*10^{-6}$ m/s und weniger erbrachten (Dokumentation dazu in Anlage 11 des hydrogeologischen Gutachtens). Auch die Ganglinien der Grundwassermessstellen weisen in ihren Verläufen, mit kurzzeitigen Wasserstandsspitzen während Regenfällen, auf eher geringe Durchlässigkeiten im Umfeld hin (s. Kap 7 in diesem Text).

Zu unterteilen ist in eine Zone 3a, die stärker entfestigt und verwittert, da näher an natürlicher Geländeoberfläche ist und eine etwas höhere Durchlässigkeit aufweist als Zone 3b, die unverwittert und kompakter ist und den zentralen Bereich des Plettenberges bestimmt.

Gefährdungspotential: Gering, Grundwasserströmung Richtung Quellen erfolgt sehr langsam.
Fließzeit vom Abbaubereich zur Quelle: Monate bis Jahre
Veränderung durch den Steinbruch und die Erweiterung:
Zone 3a bleibt unverändert und vom Abbau nicht beeinflusst. Das Gefährdungspotential ist unverändert.
Zone 3b gelangt durch Abbau der Deckschichten näher an die Geländeoberfläche. Der Gesteinsverbund wird etwas aufgelockert und verwittert über die kommenden Jahre stärker, was die Durchlässigkeit etwas erhöht (nähert sich Eigenschaften von Zone 3a an). Es verbleibt aber zwischen dem Steinbruch und den Quellen ein Teilbereich der Zone 3b, der unverändert durchflussmindernd wirksam bleibt, weil dort die Verwitterung und Entlastung nicht wirksam ist.

Durch den Gesteinsabbau wird die Zone 2 entfernt. Das Sickerwasser wird in verstärktem Maße in die Zone 3 gelangen, wo eine deutlich geringere Abstandsgeschwindigkeit herrscht und ausgedehnte Karstwasserwege fehlen.

3 Markierungsversuch

Das Gutachten zum Markierungsversuch, der von Prof. Dr. Wohnlich von der Ruhruniversität in Bochum und seinen Mitarbeitern durchgeführt wurde, ist als Anlage 12 des hydrogeologischen Fachgutachtens dokumentiert. Es enthält alle Messreihen der eingesetzten Tracer an den Messstellen. Im hydrogeologischen Gutachten sind die Ergebnisse dazu kurz zusammengefasst.

Die Eingabe des Tracers erfolgte über Bohrlöcher bis 30 m Tiefe, d.h. 20 bis 30 m oberhalb vom Grundwasser bis zur Geländeoberkante (in Zone 2 auf Anlage 1). Die Ausbreitung des Tracers erfolgte vorrangig und zuerst oberhalb vom Grundwasser im aufgelockerten geklüfteten Bereich (Zone 2) mit einer schnellen Verlagerung, überwiegend horizontal bis in die Zone 1 bis in das direkte Quellen-Umfeld. Ein Anteil von weniger als 2 % des eingegebenen Tracers gelangte auf diesem Weg in den Quellbereich (Sehr geringe Wiederfindrate 1% – 2 %).
Der Transport des Markierungsstoffes erfolgt in erster Linie und in geringer Menge und über die nur bei Niederschlägen hydraulisch aktivierten größeren Klüfte und Trennflächen im ungesättigten Bereich oberhalb vom Grundwasser, vorwiegend innerhalb der Wohlgeschichteten Kalke. Die mit < 2% sehr geringen Wiederfindraten sind so zu interpretieren.
Die übrigen Anteile des Tracers folgen dem längeren Sicker- und Grundwasserweg zur Quelle (über das Grundwasser im Impressamergel in Zone 3) oder der Tracer wird am Gestein adsorbiert bzw. im Kluftraum zurückgehalten. Auch die Ergebnisse der Markierungsversuche von 1987 sind in dieser Weise zu deuten.

4 Grundwasserstand und Ganglinien-Analyse

Zum erforderlichen Abstand zwischen der unteren Abbausohle und der Grundwasseroberfläche gilt in Baden-Württemberg entsprechend der Leitlinien „*LUBW (2004): Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft - Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaus von Kies und Sand“* sowie *GLA BaWü (1991): Informationen - Grundwasser und Gesteinsabbau*) ein Mindestabstand von 2 m zum höchsten Grundwasserstand.

In der fachlichen Praxis wird der höchste Grundwasserstand aus Messwerten und daraus erstellten Ganglinien abgeleitet. Hier wurden die Grundwasserstandsmessungen an mehreren Grundwassermessstellen mit automatisch aufzeichnenden Drucksonden mit Datensammlern und einem Messintervall von 1 Stunde zu Grunde gelegt.

Die Abb. 1, Abb. 2 und Abb. 3 zeigen die Ganglinien, die im Steinbruch und im unverritzten Gebirge südlich vom Steinbruch in Grundwassermessstellen aufgezeichnet wurden. Die Ganglinien zeigen, dass der Grundwasserstand im bestehenden Steinbruch bei 931 bis etwa 940 mNN, temporär auch bis knapp 941 mNN ansteigt. Das zeigen die Messstellen Gwm01, Gwm02, Gwm03 und Gwm09. Im Zeitraum 2015 bis 2017 traten neben Trockenphasen auch sehr niederschlagsreiche Phasen, wie im Frühjahr 2016 und im November und Dezember 2017, auf, so dass diese Messdaten aus gutachterlicher Sicht eine hinreichende Aussagekraft hinsichtlich der Festlegung des höchsten Grundwasserstandes besitzen.

Die Grundwassermessstellen südlich des bestehenden Abbaugebietes im Umfeld des Erweiterungsgebietes und im unverritzten Gebirge zeigen einen etwas anderen Verlauf der Grundwasserganglinien, die sich vor allem in sehr viel höheren Schwankungen und dabei vor allem in sehr viel höheren Wasserstandsspitzen während und nach Regenfällen zeigen.

Aus hydrogeologischer Sicht stellt sich dabei die Frage, ob diese mit Datenloggern in stündlichem Turnus aufgezeichneten Wasserstände in der Grundwassermessstelle zu jeder Zeit den Grundwasserstand auch für ein repräsentatives Umfeld der Messstelle wiedergeben, oder ob hier noch weitere Einflüsse und Randbedingungen während der Versickerung von Niederschlagswasser zu berücksichtigen sind.

In Kluftgrundwasserleitern und in Karstgrundwasserleitern werden in der Literatur unterschiedliche Wegsamkeiten beschrieben. Es wird dabei unterschieden zwischen dem feineren Kluftnetz, der sogenannten Matrix (hier auch „sekundäres Trennflächensystem"), und zum anderen den großen, ausgedehnten Klüften und Störungen bzw. den Karsthohlräumen, wenn vorhanden, als „primärem Trennflächensystem". Ausführliche Beschreibungen dazu finden sich z.B. in Strayle, G., Stober, I. & Schloz, W. (1994). Die Wegsamkeiten kommunizieren hydraulisch miteinander, allerdings mit deutlichen zeitlichen Verzögerungen, insbesondere im Nachgang der Grundwasserneubildung. Dazu gibt es eine Reihe von Untersuchungen (Bauer, S.; Liedl, R. & Sauter, M. 2005). Sauter (1992) hat auch den Epikarst für die Schwäbische Alb als weitere Leit- und Speicherschicht beschrieben (Bauer & Selg 2006). Dort wird das neugebildete Wasser oberhalb vom Grundwasser zwischengespeichert und fließt vorwiegend lateral, z.B. den Karststrukturen (Dolinen), nicht aber dem unterlagernden Kluftsystem zu (Sauter 1992). Vergleichbare Beobachtungen und Deutungen wurden beim Markierungsversuch auf dem Plettenberg vorgenommen (Wohnlich 2016). Auch sind im Steinbruch direkt derartige Wasserbewegungen zu beobachten (Köhler & Pommerening 2018, Abb. 5.2).

Der in den Grundwassermessstellen im unverritzten Gebirge gemessene Wasserstand gibt zu bestimmten Zeiten <u>nicht</u> den Grundwasserstand der Umgebung oder die Grundwasseroberfläche einer größeren Fläche, wie z.B. des Erweiterungsgebietes, wieder, sondern nur den „lokalen Grundwasserstand" im unmittelbaren Umfeld der Grundwassermessstelle. Das gilt vor Allem für die Zeit während Niederschlägen und bis mehrere Tage nach ergiebigen Niederschlägen, wenn bei entsprechender Versickerung von Regenwasser auf dem Plettenberg vertikale Fließbewegungen dominieren. Das versickernde Regenwasser benötigt mindestens mehrere Tage, eher einige Wochen, bis es sich auf alle Klüfte verteilt hat und sich eine durchgehende und für eine größere Fläche gültige Grundwasseroberfläche eingestellt hat. Dieses Phänomen ist in Kluft- und Karstgrundwasserleitern generell zu beobachten und häufig beschrieben (Strayle, G., Stober, I. & Schloz, W. 1994).

Das gilt auch bei einer ordnungsgemäß ausgebauten Grundwassermessstelle. Die überwiegend horizontale Wasserbewegung in der ungesättigten Zone, wie von Sauter (1992) beschrieben, begünstigt dabei zusätzlich auch den Zufluss über das angebundene Haupt-Trennflächensystem mit Großklüfte oder Karstsystemen zum Filterbereich der Grundwassermessstelle (s. Abb. 6). Unmittelbar während und kurz nach Niederschlägen

wird durch die einsetzende starke Grundwasserneubildung das Sickerwasser, mit vorwiegend vertikaler Fließbewegung, gemäß der Definition nach Mattheß (1983), dominiert quasi als „Momentaufnahme“ ein Wasserstand in der Messstelle angezeigt, der nur für die unmittelbare Umgebung der Grundwassermessstelle Gültigkeit besitzt. . Dieser temporär gemessene Grundwasserstand ist in dieser Phase nicht auf die weitere Umgebung der Messstelle übertragbar. Erst nach einigen Tagen gleichen sich die Wasserstände bzw. die Druckverhältnisse in den hydrogeologischen Systemen „Matrix“ und „Großklüfte“ sowie zusätzlich in der hydraulisch wirksamen ungesättigten Zone aus, so dass sich ein Grundwasserstand mit repräsentativer Gültigkeit für eine größeres Umfeld einstellt.

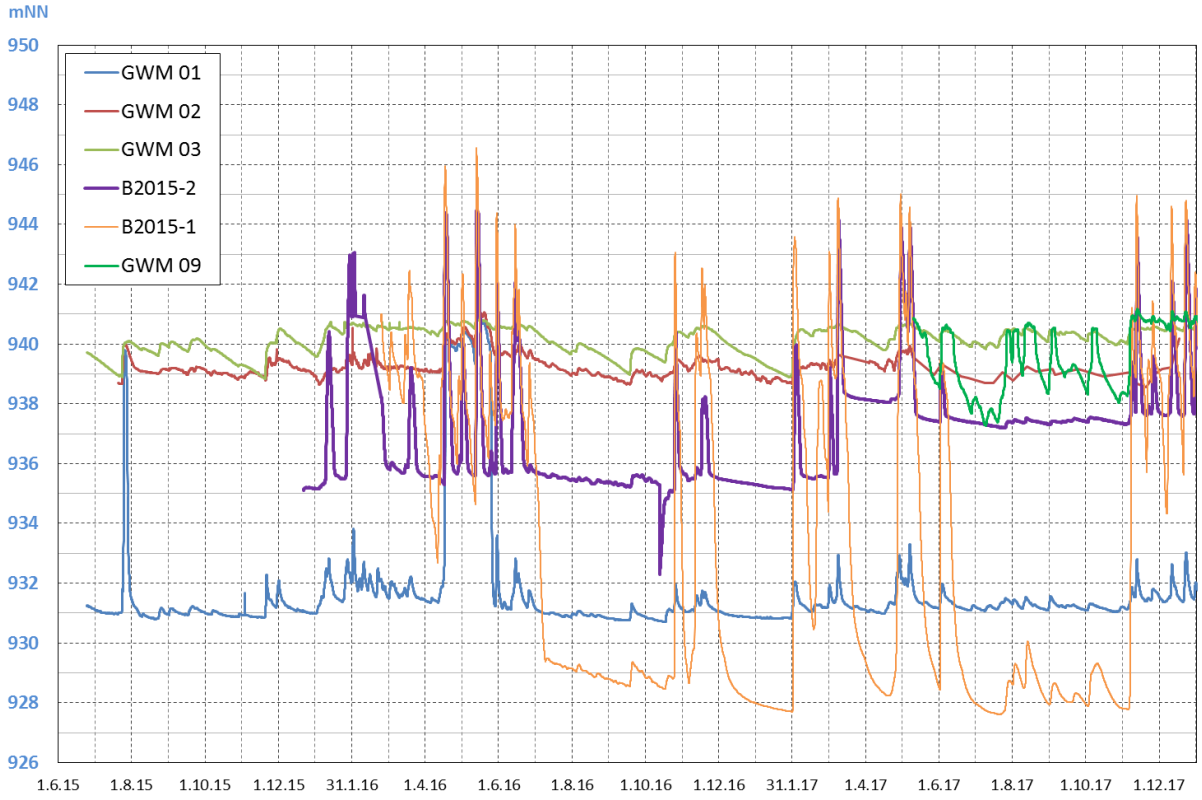

Abb. 1: Gang der Grundwasserstände auf dem Plettenberg

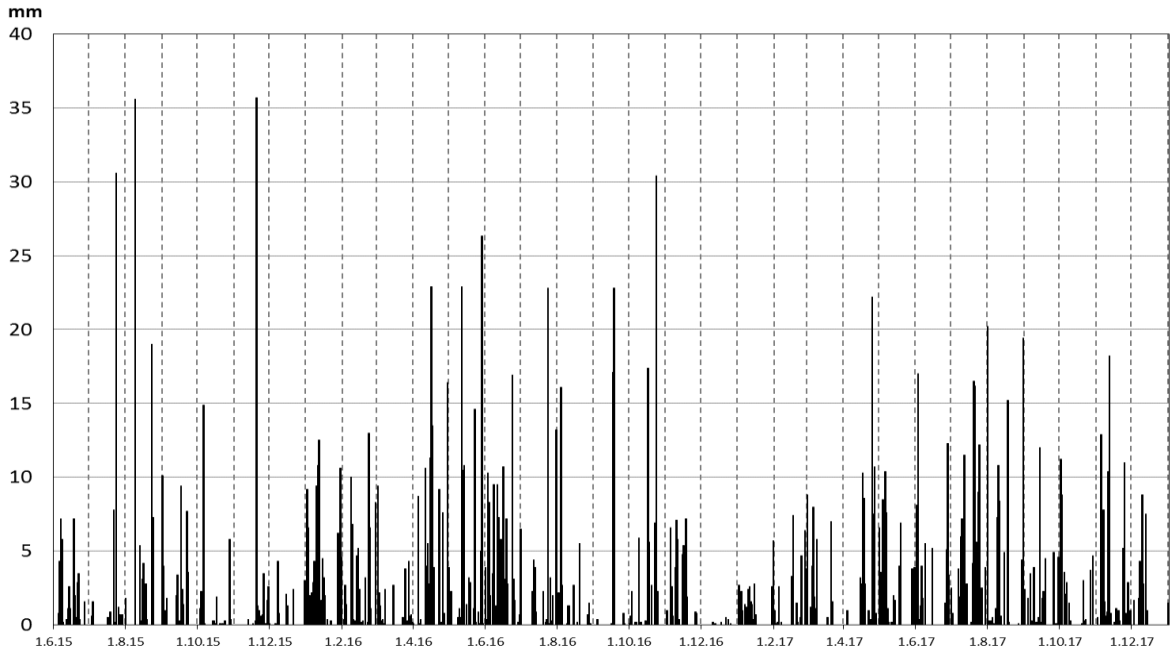

Abb. 2: Niederschlags-Tagessummen Station Balingen-Heselwangen

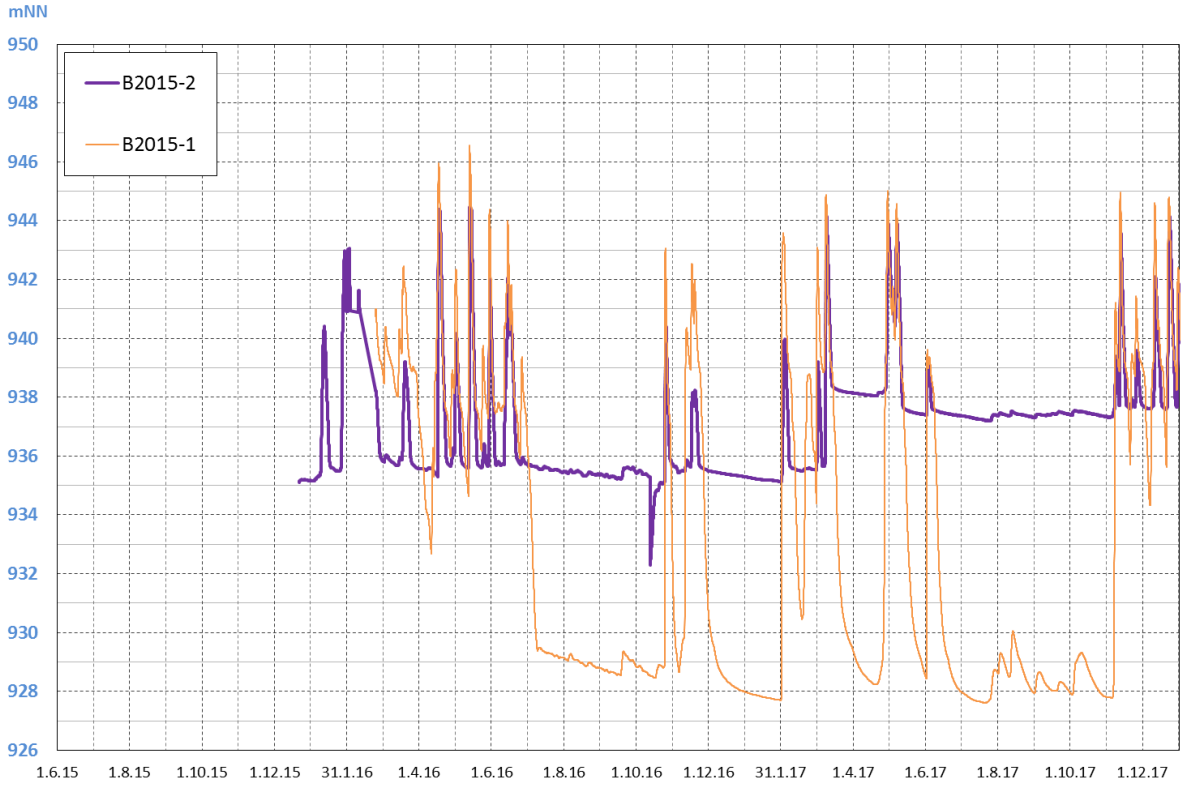

Abb. 3: Gang der Grundwasserstände im unverritzten Gebirge südlich vom Abbaubereich

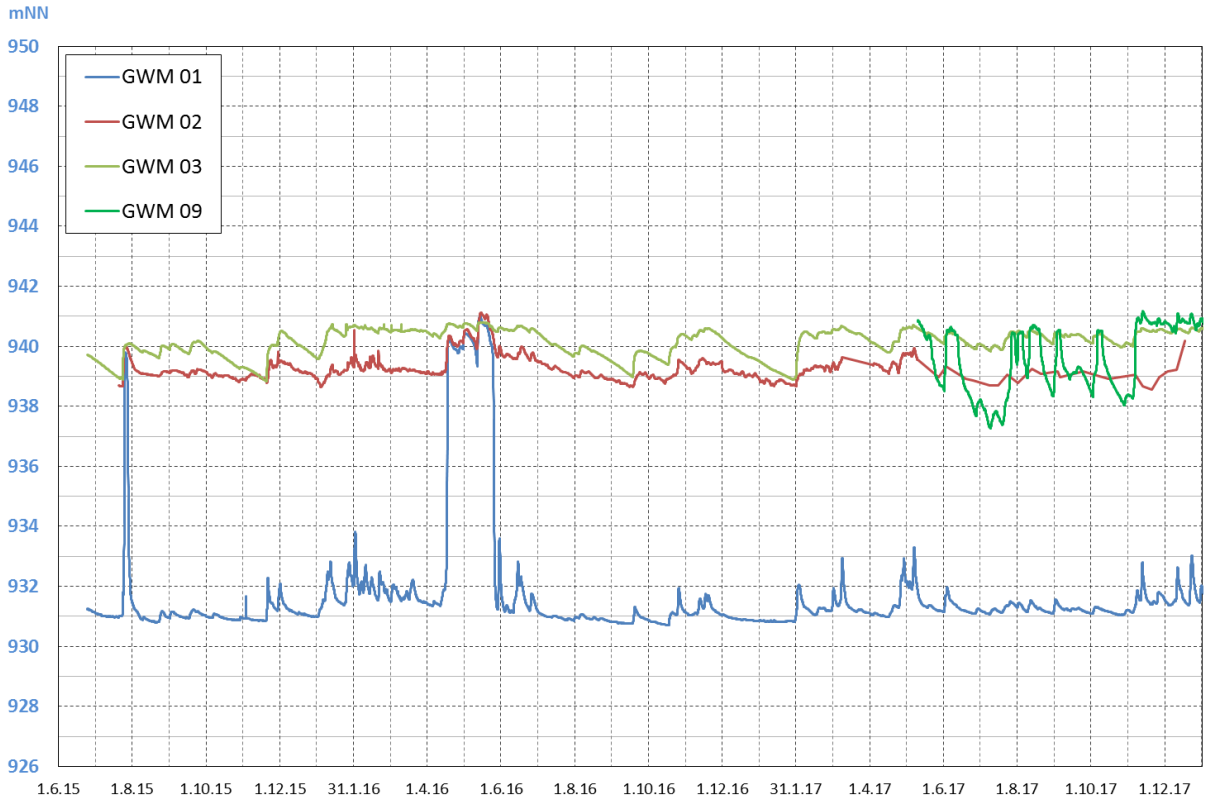

Abb. 4: Gang der Grundwasserstände im Abbaubereich

Am Beispiel der Grundwasserstandsdaten vom November 2017 wird im Folgenden eine Bilanzierung der Wasserbewegungen in der Folge von Grundwasserneubildungsereignissen vorgenommen.
Auf Abb. 5 sind die Ganglinien der Wasserstände in den Grundwassermessstellen in der Folge stärkerer Niederschläge ab dem 6.11.2017 nach vorangegangener längerer Trockenphase mit stündlicher Datenerfassung dargestellt. Vorausgegangen war bis zum 5.11. eine lange und sehr trockene Witterungsperiode, so dass sich niedrige Grundwasserstände eingestellt hatten. Vom 6.-8.11 fielen dann 21 mm Niederschlag an der Station Balingen-Heselwange. Vom 11. bis zum 13.11. fielen dann nochmal knapp 30 mm Niederschlag. Die Station Balingen-Heselwange liegt auf 571 mNN, auf dem Plettenberg wird der Niederschlag bei etwa 1.000 mNN um etwa 20 bis 30 % höher gewesen sein.

Die Ganglinien in den Messstellen B2015-1 und B2015-2 zeigen die Wasserstandsreaktion auf dem südlichen Plettenberg, nahe dem Erweiterungsgebiet.

Für das Regen- und Versickerungsereignis mit kurzem und starkem Regen von 21 mm[1] = 21 l/m² ergibt sich eine Wasserbilanz hierzu wie folgt:
Der Wasserstand in B2015-1 steigt in 36 h um mehr als 13 m an. Bei einem Kluftvolumen im Grundwasserbereich (Impressamergel etwa 1 %, maximal bis 2 %) kann die Versickerung von 21 l Wasser pro m² zu einer Füllung der Kluft-Hohlräume und damit zu einem Anstieg der Grundwasseroberfläche von etwa 0,5 m bis 1 m führen, was um den Faktor 12 bis 25 geringer ist als die Messwerte anzeigen. Als typisches Speichervolumen in den Kalksteinen des Weißen Juras Süddeutschland gilt nach GLA 1991 n_{sp} = 0,01 bis 0,04 an (1 bis 4 %). Mit Werten in dieser Spannbreite wird auch im Fachgutachten gerechnet, wobei für den Impressamergel mit fehlender oder nur geringer Verkarstung der untere Bereich bei 1-2% Kluftvolumen anzusetzen ist.
Für eine komplette Füllung der Kluft-Hohlräume im Impressamergel bis zu einer Höhe von 13 m in Folge des Niederschlages mit 21 l Wasser pro m² darf das Kluft-Volumen maximal nur 0,15 % betragen. Zudem muss das versickerte Niederschlagswasser im Zeitraum von Stunden komplett bis zum Grundwasserversickert sein. Ein derart geringes

[1] Wenn man berücksichtigt, dass der Niederschlag auf der Plettenberg-Hochfläche vermutlich etwa 20-30 % höher war als an der Messstelle Balingen, die Niederschlagsmenge aber nicht komplett versickert, sondern ein kleiner Teil abfließt, verdunstet, oder im Oberboden zwischengespeichert wird, passt der Wert von 21 mm als versickerungswirksamer Niederschlag für die Bilanzierung in der Größenordnung gut.

Kluft-/Porenvolumen ist im grundwasserfüllten Impressamergel nicht realistisch. Außerdem würde ein derart geringes Kluftvolumen eine nur geringe Vernetzung der Kluftzonen bedeuten und keine so schnelle Versickerung, Anstieg und Verteilung von Wasser zulassen können, wie es hier mit etwa 36 h gemessen wurde.

Das bedeutet, dass der Anstieg um etwa 13 m mit der gemessenen Spitze von etwa 941 mNN nur so erklärt werden kann, dass zu dem Zeitpunkt nur ein kleiner Teil der Kluftträume vom versickernden Wasser erreicht wurde, und dass der gemessene Wert von 941 mNN nicht die Grundwasseroberfläche zu diesem Zeitpunkt repräsentiert, sondern die Höhe, bis zu der das versickernde Wasser im geklüfteten, direkten nahen Umfeld der Messstelle 2015-1 ansteigt, bevor sich das versickerte Wasser anschließend erst auf das gesamte Kluftsystem und die kleineren Klüfte, bzw. die Matrix verteilen kann. Die Abb. 6 zeigt dazu ein schematisches Bild. Eine Grundwassermessstelle, der eine Bohrung vorausgegangen ist, hat dadurch zwangsläufig, auch bei einem ordnungsgemäßen Ausbau, Anschluss an wegsame Bereiche, auch in der ungesättigten Zone, mit hydraulischem Anschluss an größere Trennflächensysteme, so dass ein schnelles und eher punktuelles „Auffüllen“ mit versickerndem Wasser nach Niederschlägen aus dem Sickerwasser hier im besonderen Maße beobachtet werden kann.

Für den folgenden Ganglinien-Peak nach 30 mm Niederschlag vom 11.11. bis 13.11. ergibt sich ein vergleichbares Bild. Die Schlußfolgerungen gelten für alle kurzzeitigen Wasserstandsspitzen. Diese „Peaks“ geben nicht eine für größere Bereich gültige Grundwasseroberfläche im Grundwasserleiter wieder. Sie stellen vielmehr eine „Momentaufnahme“ zum Sickerwasser dar, bzw. zum Vorgang der Versickerung unmittelbar nach oder während des Regenereignisses. Erst nach einer Reihe von Tagen oder sogar Wochen strebt der gemessene Wasserstand einem Gleichgewicht mit seinem Umfeld zu und nähert sich dem Zustand, der eine aussagekräftige Grundwasseroberfläche darstellt.

Für das gesamte Erweiterungsgebiet wird daher ein repräsentativer Hochwasserstand der Grundwasseroberfläche, vergleichbar dem Hochwasserstand im bestehenden Abbaubereich von etwa 941 mNN prognostiziert.
Das Sickerwasser kann temporär während und kurz nach Niederschlägen zum Teil höher ansteigen. Das aber beschränkt sich auf größere Klüfte und Trennflächen (quasi als „Kluftwasser“). Für diese Phase aktiven Versickerns von Regenwasser über den Kluftraum kann das Wasser als Sickerwasser (gemäß Definition Mattheß 1983) oder als lokal

nur im direkten, nahen Umfeld der Messstelle gültiges Grundwasser angesprochen werden. Die Verteilung des Wassers auf das feinere Kluftsystem (Matrix) erfolgt verzögert über mehrere Tage. Dabei stellt sich dann ein durchgängiger Grundwasserstand ein. Dieser kann mit etwa 941 mNN als höchster Grundwasserstand für das Erweiterungsgebiet definiert werden, orientiert an den Basisverläufen der Ganglinien auf Abb. 3 (im unverritzten südlichen Abschnitt des Plettenbergs) und den Ganglinienspitzen auf Abb. 4 (im Steinbruch). Dieser angegebene höchste Grundwasserstand gilt vor allem auch für die Zeit des Abbaus im Bereich der Erweiterung Süd, wenn die Deckschichtenmächtigkeit verringert wird, das Gebirge entlastet wird und das kurzzeitige, temporär hohe Auffüllen von Klüften des primären Trennflächensystems nicht mehr so ausgeprägt auftreten kann.

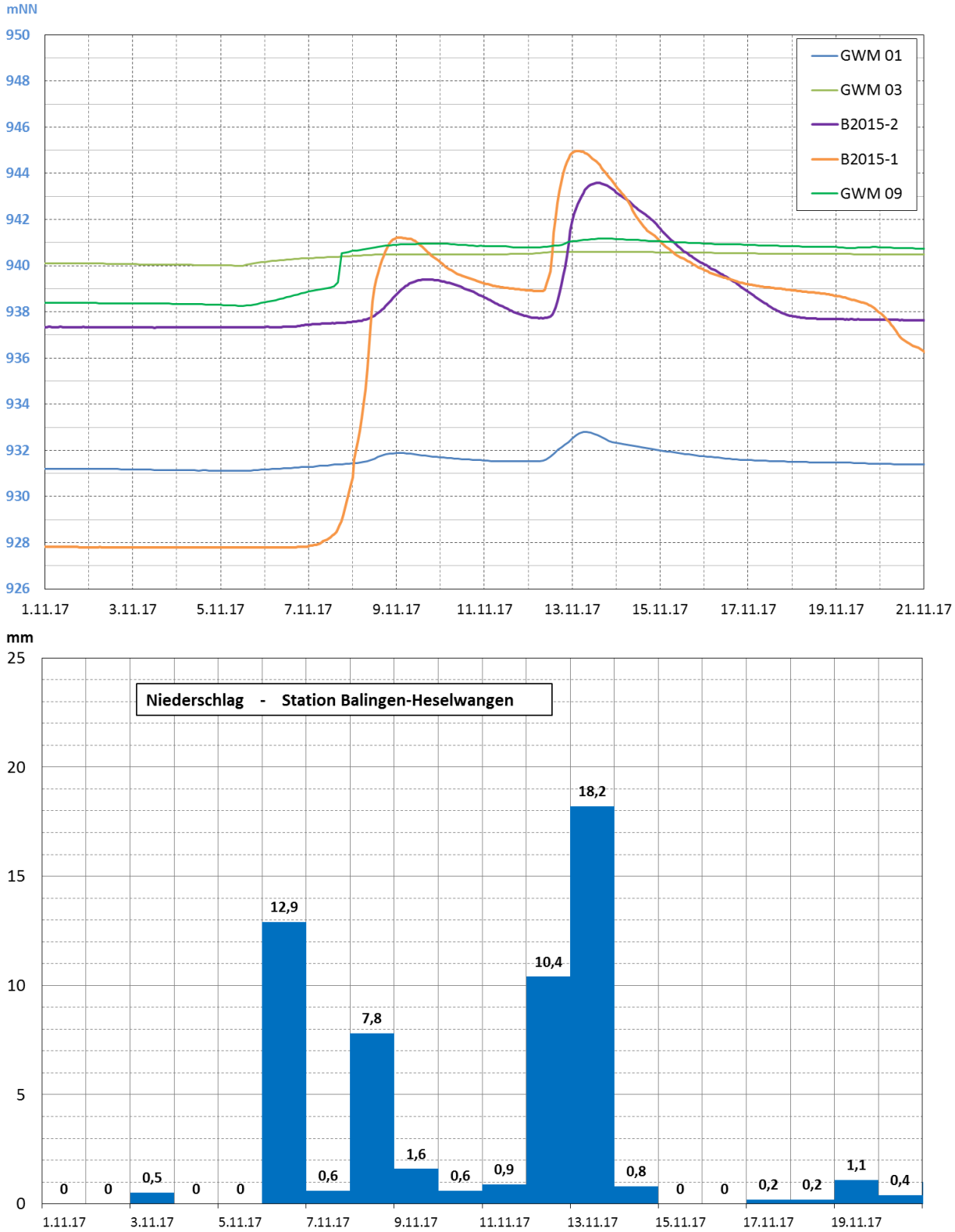

Abb. 5: Ganglinien der gemessenen Wasserstände und der Tagesniederschläge im Zeitraum vom 1.11. bis 20.11.2017

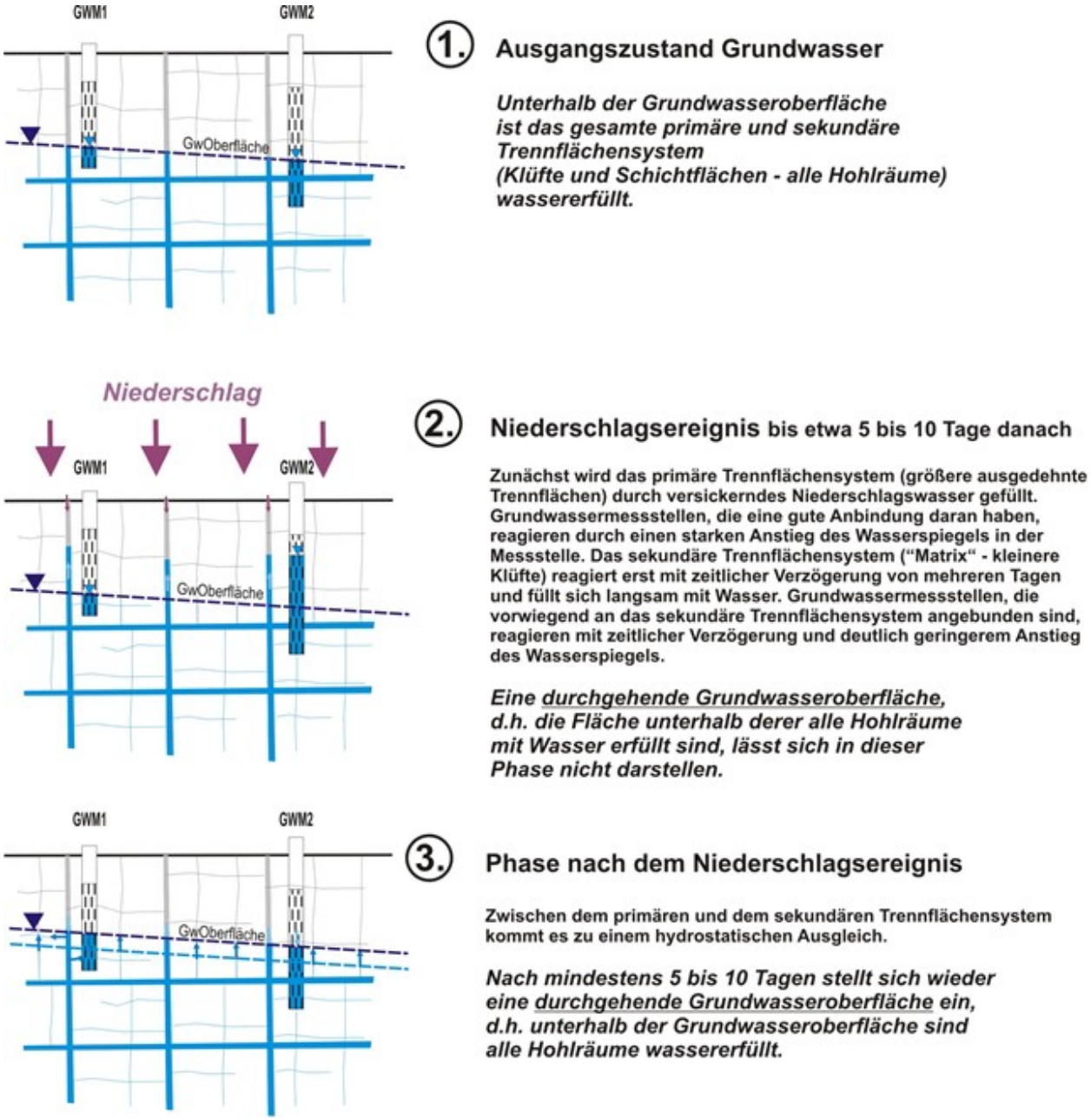

Abb. 6: Schemabild zur Reaktion geklüfteten Kalk- oder Mergelsteins auf Niederschlagsereignisse und Ausbildung einer durchgehenden Grundwasseroberfläche

5 Hydrochemie

Eine quantitative und auch eine qualitative Beeinflussung der am Plettenberg gelegenen Trinkwasser-Quellen wurden durch den seit Jahrzehnten bestehenden Steinbruch nicht festgestellt. Das zeigen die langjährigen Analysen der Quellwässer.
Die Analysen aus den Grundwassermessstellen und den Quellen im Jahr 2015 zeigen ebenfalls keine auffällig erhöhten Werte. Der Sulfat-Gehalt in der B 2015-3 von 203 mg/l ist, wie im Gutachten beschrieben, auf die Oxidation von schwefelhaltigen Pyrit-Mineralen (FeS2), die im Impressamergel vorkommen können, zurückzuführen (Geyer & Gwinner 2011). Es handelt sich um eine geogene Ursache für den Sulfatgehalt. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Sulfat (250 mg/l) wird nicht erreicht.
Bei fachgerechten Sprengungen im Steinbruch wird der Sprengstoff vollständig umgesetzt, so dass keine relevanten Rückstände oder Abbauprodukte verbleiben. Rückstände von Sprengstoffen wurden bei den Analysen im Grundwasser nicht gefunden, wie die Gehalte an Stickstoff-Parametern zeigen.

6 Wasser im Rückhaltebecken

Die Abb. 7 zeigt eine Ganglinie des Wasserstandes im westlichen Rückhaltebecken, wo eine Drucksonde mit Datenlogger installiert ist. Zum Vergleich sind die Ganglinien der Grundwassermessstellen im Steinbruch und südlich davon dargestellt. Die Abb. 8 zeigt die Niederschläge im dargestellten Zeitraum von August bis Dezember 2017.

Die Grundwassermessstellen zeigen in unterschiedlicher Ausprägung Reaktionen auf die Niederschläge und die damit verbundene Grundwasserneubildung. Die Ganglinie des Wasserstandes im Rückhaltebecken zeigt zunächst in den Monaten August bis Anfang November kaum Schwankungen und bis auf einen temporären Anstieg Anfang Oktober einen generell niedrigen Wasserstand. Die Grundwasserstände in der nahen Umgebung liegen entweder deutlich höher (Gwm02 und Gwm03) oder im Osten deutlich tiefer (Gwm01) als der Wasserstand im Rückhaltebecken.
Die Ganglinien zeigen, dass das Wasser im Rückhaltebecken nicht oder temporär nur in geringem Maße mit dem Grundwasser in der Umgebung wechselwirkt. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit im Grundwasser des Impressamergels (s. Kap. 7) mit kf-Werten von $1*10^{-6}$ m/s und zum Teil deutlich darunter, ist die mögliche Reichweite einer hydraulischen Beeinflussung auf das Grundwasser sehr gering und mit weniger als 10 m anzugeben.
Einige Messstellen, wie die Gwm09, zeigen auffällige „Plateaubildungen“ beim Wasserstand. Eine Beeinflussung durch das Rückhaltebecken als Ursache ist hierfür auszuschließen, da die Gwm09 mit etwa 250 m Abstand zum Becken zu weit entfernt liegt. Als Ursache ist die oberflächennahe Auflockerung und Aufweitung der Trennflächen des geklüfteten Impressamergels zu nennen. Durch die Druckentlastung nach dem Gesteinsabbau sind bis etwa 2 m unter der GOK die Kluftvolumina vergrößert gegenüber tieferen Bereichen. Während der Grundwasserneubildung wird daher in dieser Tiefe das weitere Ansteigen des Grundwasserstandes so stark verlangsamt, dass der Eindruck einer „Plateaubildung“ entsteht. Das versickernde Wasser kann sich dort auf den größeren Kluftraum verteilen.

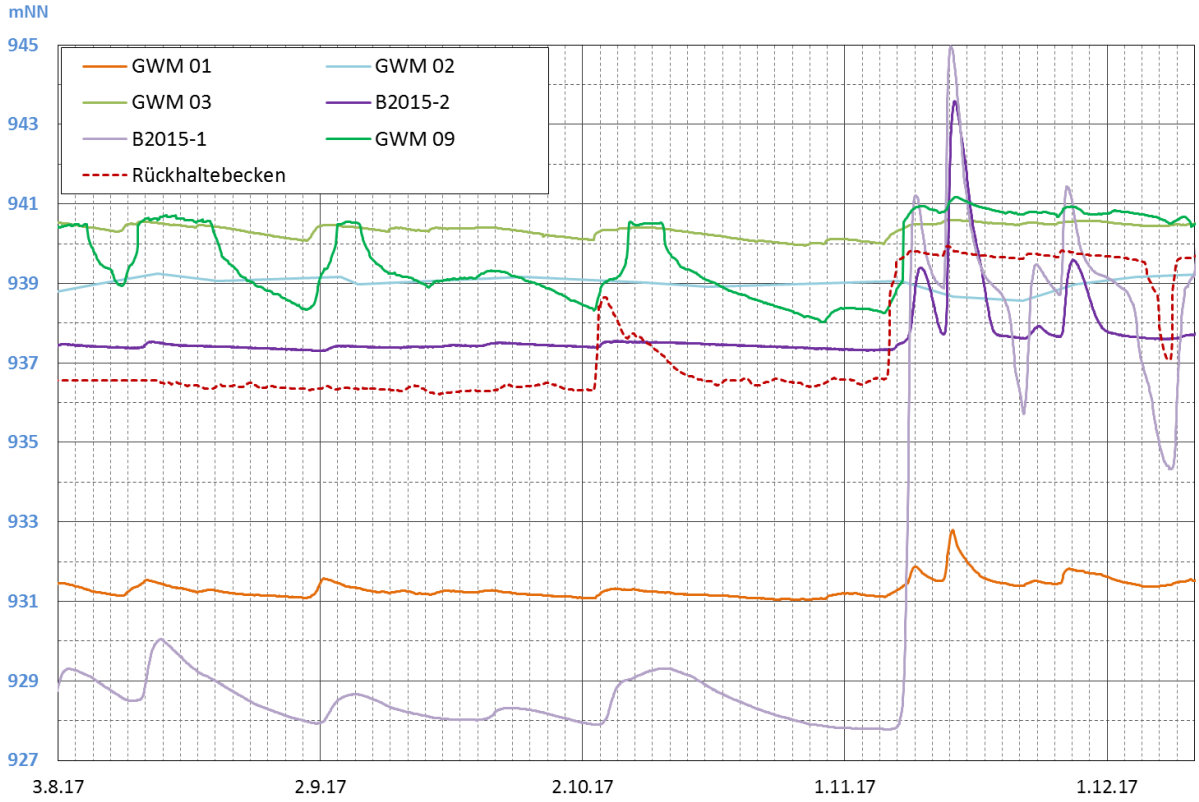

Abb. 7: Gang der Grundwasserstände und des Wasserstandes im Rückhaltebecken

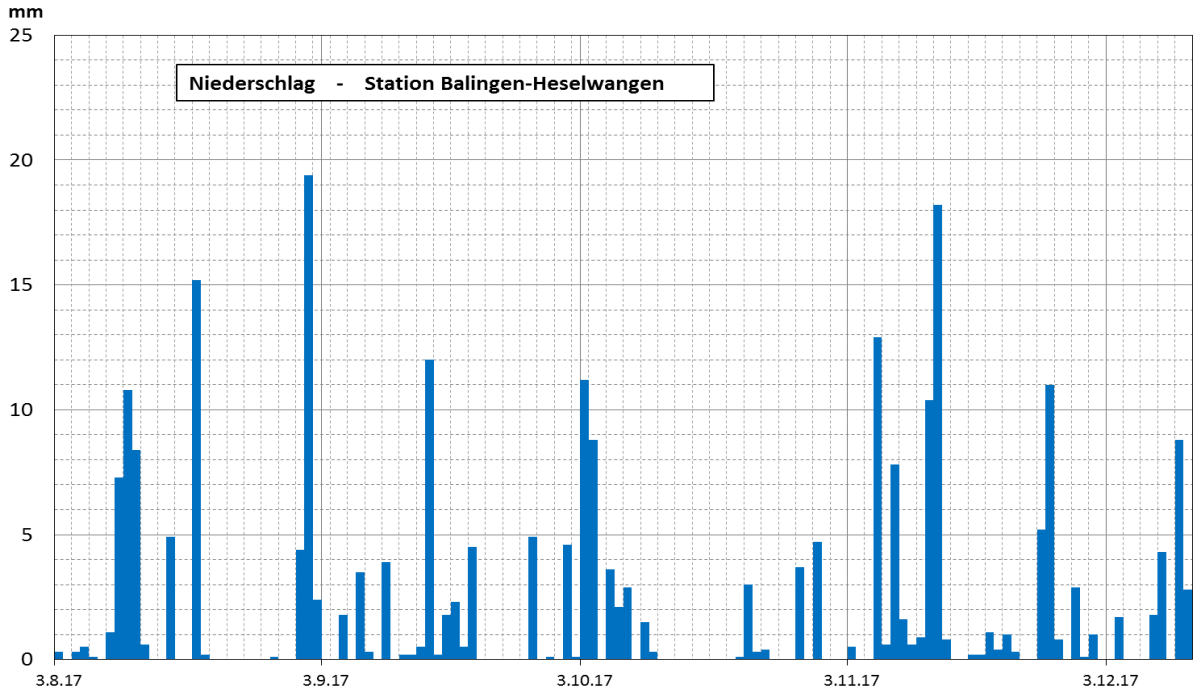

Abb. 8: Niederschlags-Tagessummen Station Balingen-Heselwangen

7 Hydraulische Versuche und Pumpversuche

In Anlage 11 sind die hydraulischen Versuche (Auffüllversuche) und Pumpersuche an den 3 dauerhaften Grundwassermessstellen und den temporären Grundwassermessstellen dokumentiert. Folgende Kennwerte wurden dabei ermittelt:

Gwm 01 = $3 * 10^{-7}$ m/s
Gwm 02 = $1 * 10^{-6}$ m/s
Gwm 03 = $4 * 10^{-6}$ m/s
Gwm 05 = $2 * 10^{-9}$ m/s
Gwm 06 = $6 * 10^{-8}$ m/s
Gwm 07 = $1 * 10^{-7}$ m/s
Gwm 08 = $2 * 10^{-7}$ m/s
Gwm 09 = $1 * 10^{-6}$ m/s
B 2015-01 = $2,2 * 10^{-7}$ m/s
B 2015-02 = $6,6 * 10^{-7}$ m/s
B 2015-03 = $4,2 * 10^{-7}$ m/s

Die Grundwassermessstellen B2015-01 und B2015-02 nahe dem Erweiterungsgebiet im Süden zeigen Durchlässigkeiten von kf = $2,2 * 10^{-7}$ bis $6,6 * 10^{-7}$ m/s (nach Pumpversuchen). Die übrigen Grundwassermessstellen liegen im bestehenden Abbaubereich. Im Steinbruch zeigt sich generell eine größere Streuung der Durchlässigkeitswerte. Im Mittel liegen hier die kf-Werte aber auch bei etwa $1 * 10^{-7}$ bis $1* 10^{-6}$ m/s.

Im Abbaubereich zeigen sich bei den Auffüllversuchen im oberflächennahen Abschnitt häufig etwas höhere kf-Werte als im tieferen Abschnitt. Durch die Entspannung des Gebirges nach dem Gesteinsabbau sind hier nahe der unteren Sohlen die kf-Werte gegenüber dem ursprünglichen Wert sicher etwas höher. Das wurde in der Auswertung berücksichtigt. In der Auflistung oben sind die Werte aus dem tieferen Abschnitt angegeben.

Die hydraulischen Versuche zeigen mit diesen Kennwerten die geringe Durchlässigkeit und bestätigen die Einstufung des Impressamergels als Grundwassergeringleiter. Generell ist von einer Durchlässigkeit von kf = $1 * 10^{-6}$ m/s oder geringer auszugehen.

8 Berechnung zur Vulnerabilität – Schutzfunktion der Deckschichten

Die bestehende Schutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Schichten für das geplante Erweiterungsgebiet Süd auf dem Plettenberg ist nach dem Berechnungsverfahren von Hölting et al. (1995) als sehr gering einzustufen (Sg = 267). In der nachfolgenden Tab. 1 und Tab. 2 sind die Berechnungen hierzu dokumentiert. In die Berechnungen gehen die Mächtigkeiten der unterschiedlichen Gesteine und deren Eigenschaften mit verschiedenen Punkten ein, insbesondere hinsichtlich der Versickerungsdauer oder der Verweildauer des Wassers. Der Ist-Zustand der grundwasserüberdeckenden Schichten basiert auf den Daten der beiden Kernbohrungen (B 2015-01 und B 2015-02) sowie weiterer Erkundungsbohrungen.
Mit dem Gesteinsabbau werden die Schichten der wohlgeschichteten Kalkformation und die oberen Schichten des Impressamergels des Oberen Jura (wβ) abgebaut, so dass als verbleibende Deckschicht nur der Impressamergel mit etwa 2 m verbleibt.

Mit der Rekultivierung werden wieder zusätzliche Lockergesteinsschichten aufgebracht. Diese haben eine geringere Mächtigkeit als das Festgestein zuvor, besitzen aber eine höherer Wertigkeit hinsichtlich der Verweildauer des Wassers. Insgesamt ergibt sich eine Kennzahl von Sg = 237, die von der ursprünglichen (Sg = 267) nur wenig abweicht und weiterhin als sehr gering einzustufen ist.

Angesichts der zum Teil groben Klassifizierung der einzelnen Werte zeigt sich, dass die Gesamtschutzfunktion nach Ende der Rekultivierung etwa wieder der aktuellen Schutzfunktion entspricht. Setzt man einen etwas höheren Anteil an schluffigem und tonigem Gestein in der Rekultivierungsschicht an, ergibt sich ein höherer Sg-Wert. Es bleibt aber im Rahmen der geplanten Rekultivierung nach Abbauende und Abschluss der Rekultivierung aufgrund der Mächtigkeiten und der erforderlichen Durchlässigkeit und des notwendigen Speichervermögens der Rekultivierungsschicht zumindest bei einer geringen Schutzfunktion der Deckschicht.

Tab. 1: Auswertung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung auf der Erweiterungsfläche

Rahmenbe-dingungen	Sickerwassermenge W	0,75 (*bei einer GWN von ca. 600 mm/a)*
	Zuschlag Q bei schwebenden Grundwasserstockwerken	0
	Zuschlag D bei artesischen Druckverhältnissen	0

		Böden	**Locker-gestein**	**Festgestein**			
		Nutzbare Feldkapazi-tät (nFK) Punktzahl B	**Punktzahl G_L pro m Schicht-mächtig-keit**	**Gesteins-art Punkt-zahl P**	**Strukturelle Eigenschaft Faktor F**	**Punkt-zahl G_F (P*F)**	**Mächtigkeit der Grund-wasserüber-deckung Faktor M**
Ist-Zustand	Mutterboden	10					0,3
	Kalkstein, ver-wittert		10				4
	Kalkstein (mittle-rer Verkars-tungsgrad und stark geklüftet)			5	0,4	2	33
	Impressamergel (mittel geklüftet)			20	1	20	12
Prognose *Nach Abbauende mit Rekultivierung*	Mubo	50					0,2
	Auffüllung U, t', s		160				1
	Auffüllung S, l', S, u, G, s, t,		65				1
	Impressamergel, mittel geklüftet			20	1	20	2

	Schutzfunktionswerte		
	*S1=B*W*	*S2=(G1*M1+G2*M2+…+Gn*Mn)*W+Q+D*	*Sg=S1+S2*
Ist-Zustand Erweiterungsbereich (B2015-2)	7,5	259,5	**267**
Prognose *Nach Abbauende mit Rekultivie-rung*	37,5	199,5	**237**

Tab. 2: Einteilung der Gesamtschutzfunktion nach Hölting et al. 1995

Gesamtschutzfunktion	**Punktzahl der Gesamtschutz-funktion S_g**	**Größenordnung der Verweildauer des Sickerwassers in der Grundwasser-überdeckung**
Sehr hoch	>4000	> 25 Jahre
Hoch	>2000-4000	10 – 25 Jahre
Mittel	>1000-2000	3 – 10 Jahre
Gering	>500-1000	Mehrere Monate bis ca. 3 Jahre
Sehr gering	<= 500	Wenige Tage bis etwa 1 Jahr, im Karst häufig noch weniger

9 Auswirkungen auf die Oberflächenwasserqualität und –menge

Die Gemeinde Dotternhausen hatte im Scoping-Termin auch um Aussagen zu den Auswirkungen der Steinbrucherweiterung auf die Qualität und Menge des Oberflächenwassers gebeten (Scoping-Protokoll S. 11). Dazu wird im Folgenden, ergänzend zum hydrogeologischen Fachgutachten Stellung genommen. .

Im hydrogeologischen Fachgutachten wurde in Kap. 4.3 zu Fließgewässern folgendes ausgeführt:

Auf der Hochfläche des Plettenbergs und an seinen steilen Böschungen existieren keine dauerhaften Fließgewässer. Die Quellen, die auf Geländehöhen von 870 bis 910 mNN etwa 100 m unterhalb der Hochfläche zu Tage treten, bilden den Ausgangspunkt der kleineren Fließgewässer am Plettenberg, sofern sie nicht für die Trinkwassergewinnung genutzt werden.

Das Hauptfließgewässer im Untersuchungsgebiet ist die Schlichem, die südlich vom Plettenberg in Richtung Westen bis Nordwesten abfließt (Anlage 2). Der östliche Teil des Plettenbergs einschließlich des gesamten Steinbruches entwässert nach Osten in den Waldhausbach, der wiederum in Hausen am Tann der Schlichem zufließt. Vom südlichen und südwestlichen Hang des Plettenbergs fließen kleinere Fließgewässer direkt der Schlichem zu. Der Abfluss am Westhang und Nordhang des Plettenbergs erfolgt über die Fließgewässer Steinach, Haugenbach und Wettbach, die im Gewässersystem der Eyach liegen

Das Oberflächenwasser tritt im Untersuchungsraum nur in Form der beschriebenen Fließgewässer auf. Die kleineren Fließgewässer werden durch die Quellen am Hang des Plettenbergs gespeist. Sämtliche Quellen wurden in den Untersuchungen erfasst und beschrieben. Die größeren Fließgewässer wiederum werden durch die kleineren Fließgewässer gespeist.

Für die Quellen am Plettenberg wurde auf Grundlage der Untersuchungen festgestellt, dass durch den Gesteinsabbau im Erweiterungsgebiet, wie im bestehenden Abbaugebiet auch, die Unbedenklichkeit für das Grundwasser sowohl hinsichtlich der Grundwasser-

qualität als auch hinsichtlich der Grundwassermenge gegeben ist. Die Grundwasserstände und das Strömungsfeld sowie die Qualität des Grundwassers werden nicht relevant verändert und beeinträchtigt.

Da eine Beeinträchtigung der Quellen am Plettenberg hinsichtlich Qualität und Menge durch die Abbauerweiterung auszuschließen ist, gilt das in gleichem Maße für die Fließgewässer, die von diesen Quellen gespeist werden. Es besteht somit durch die Abbauerweiterung keine Beeinträchtigung des Oberflächenwassers in Menge und Qualität.

J. Pommerening

Dr. Johannes Pommerening

Literatur

Bauer, M. & Selg, M. (2006): Altersstruktur und mittlere Verweilzeit im Grundwasser des Blautopfs und anderer Quellen und Brunnen im Oberjura-Karst Süddeutschlands.- Tübinger Geow. Arbeiten, TGA, C98.

Bauer, S.; Liedl, R. & Sauter, M. (2005): Modelling the influence of epikarst evolution on karst aquifer genesis.- Water Resources Research, Vol. 41.

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.) (1988): Hydrogeologisches Gutachten zu Markierungsversuchen auf dem Plettenberg im Jahr 1987.-

GLA (1995): Hydrogeologische Stellungnahme zum Wasserschutzgebiet Plettenberg.- Az.: 0810.01/95-4763; 15.03.1995

HGE (2004): Hydrogeologische Erkundung Baden-Württemberg – Mittlere Alb 2 – Grundwasserdynamik – Grundwassergleichen.

Hölting, B. & Coldewey.W. G. (2013): Hydrogeologie.- 8. Auflage.

Köhler & Pommerening (2018): Süderweiterung des Steinbruchs Plettenberg der Holcim (Süddeutschland) GmbH – Hydrogeologie und Ingenieurgeologie.- Fachgutachten.

Matthess, G. & Ubell, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt.- Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1.

Plum, H.; Ondreka, J. & Armbruster V. (2008): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg.- LGRB-Informationen, 20, 106 S., 79 Abb., 21 Tab, 1 Kt.

Sauter, M. (1992): Quantification and forecasting of regional groundwater flow and transport in a karst aquifer.- Tübinger Geowiss. Arbeiten, G13.

Strayle, G.; Stober, I. & Schloz, W. (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen.- 119 S.; LGRB Informationen 6.

Wohnlich, S. & Vaitl, T. (2016): Markierungsversuch am Plettenberg vom 21.09. bis 10.12.2015 in Dotternhausen.- Bericht vom 16.02.2016