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

Süderweiterung des Steinbruchs Plettenberg der HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH

Hydrogeologie und Ingenieurgeologie

Fachgutachten

Projekt-Nr.: 214102

01. Oktober 2018

Bearbeiter:

Dr. Johannes Pommerening
Patrick Thiemann, M.Sc.
Dipl. Geol. Hieu Trung Nguyen

Auftraggeber:

HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH
Dormettinger Straße 23
72359 Dotternhausen

DR. KÖHLER & DR. POMMERENING GMBH
Beratende Geologen, Hydrogeologen und Ingenieure
Am Katzenbach 2
31177 Harsum
Tel.: 05127 / 90207-0
Fax: 05127 / 90207-29

web: www.koehler-pommerening.de
email: info@koehler-pommerening.de

Büro Hessisch Oldendorf
Pfingstanger 4
31840 Hessisch Oldendorf
Tel: 05152 / 962 737
Fax: 05152 / 962 738

Inhaltsverzeichnis Seite

1 Einführung 6
2 Untersuchungsraum und Standortverhältnisse 9
3 Untersuchungsrahmen und Datengrundlagen 9
3.1 Untersuchungsrahmen 9
3.2 Untersuchungsumfang 11
3.3 Datengrundlagen 14
3.4 Grundwassermessstellen 14
4 Hydrologie und Wasserhaushalt 16
4.1 Natürlicher Wasserhaushalt 16
4.2 Abfluss und Grundwasserneubildung 20
4.3 Fließgewässer 22
5 Geologie 23
5.1 Regionalgeologische Übersicht 23
5.2 Schichtenfolge am Plettenberg 23
5.3 Geologische und tektonische Verhältnisse im Steinbruch 25
6 Hydrogeologie und Quellen 30
6.1 Hydrogeologische Eigenschaften der Gesteine auf dem Plettenberg 30
6.2 Grundwasserstände 33
6.3 Quellen am Hang des Plettenbergs 37
6.4 Markierungsversuch 50
6.5 Hydrochemie von Grundwasser und Quellen 55
6.6 Grundwasser-Fließverhältnisse am Plettenberg und im bestehenden Steinbruch 59
6.7 Grundwasserhaushalt und Einzugsgebiete der Quellen 61
7 Ingenieurgeologie und Standsicherheit 65
7.1 Allgemeines 65
7.2 Hangbereiche am Plettenberg 67
7.3 Bewertung der Standsicherheit 70
8 Ableitung Niederschlagswasser und Hochwasser 74
9 Auswirkungen des Erweiterungsvorhabens 76
9.1 Abbauerweiterung und Rekultivierung 76
9.2 Deckschichten 81
9.3 Wasserhaushalt 83
9.4 Grundwasserstände und Grundwasserströmungsfeld 85
9.5 Grundwasserbeschaffenheit 87
9.6 Naturschutzgebiete und FFH-Gebiete 87
9.7 Trinkwasserquellen und Wasserschutzgebiete 91
9.8 Regenwasserableitung 95
9.9 Prüfung weiterer Anforderungen nach Anlage 4 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) 102
10 Maßnahmen und Empfehlungen 105
11 Literaturverzeichnis 107

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Übersichtskarte mit Plettenberg und umliegenden Ortschaften (Quelle: Google) 6
Abb. 4-1: Jahressummen des Niederschlages an den Stationen Albstadt-Badkap und Balingen-Heselwangen 18
Abb. 5-1: Karstformen im nördlichen Steinbruch (linkes Bild) und teilweise verfüllte Karströhren (rechtes Bild) 26
Abb. 5-2: Vernässungsbereiche an Schichtflächen sowie entlang einer Störung 26
Abb. 5-3: Kluftrose aus dem Steinbruch (links), Lineamentrose (rechts) 28
Abb. 6-1: Gang der Grundwasserstände auf dem Plettenberg und der Niederschlagstagessummen (Station Balingen) 36
Abb. 6-2: Quellschüttung der im Wasserwerk Dotternhausen gefassten 10 Quellen des Quellgebietes Nord für den Zeitraum 2013 bis 2015 40
Abb. 6-3: Ganglinie der Gesamt-Schüttung der im Wasserwerk Dotternhausen gefassten 10 Quellen des Quellgebietes Nord von 2000 bis 2007 41
Abb. 6-4: Ganglinie der Gesamt-Schüttung der im Wasserwerk Dotternhausen gefassten 10 Quellen des Quellgebietes Nord von 2008 bis 2015 42
Abb. 6-5: Ganglinie der Quellschüttung der oberen und unteren Plettenbergquelle nach Aufzeichnungen der Wasseruhr im Wasserwerk Ratshausen und des Niederschlags (Station Balingen) 46
Abb. 7-1: Hangneigung am Plettenberg mit rutschungsanfälligen Flächen und potentiellen Abrissgebieten für Steinschlag und Felssturz 66
Abb. 7-2: Übersicht markanter Rutschungsstrukturen an der Südböschung des Plettenbergs (Garschagen 2016) 68
Abb. 9-1: Schemabild zur Reaktion geklüfteten Kalk- oder Mergelsteins auf Niederschlagsereignisse und Ausbildung einer durchgehenden Grundwasseroberfläche 80

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1: Kenndaten der dauerhaften Grundwassermessstellen am Plettenberg 15
Tab. 3-2: Kenndaten der temporären Grundwassermessstellen im Steinbruch 15
Tab. 4-1: Kenndaten der nächstgelegenen Wetterstation 16
Tab. 4-2: Hydrologische Bilanzgrößen für das Untersuchungsgebiet 19
Tab. 5-1: Geologische Schichtenfolge und hydrogeologische Einstufung 24
Tab. 5-2: Großkluftsysteme im Steinbruch 27
Tab. 6-1: Mess-Daten der gefassten Quellen im Zeitraum Mai 2015 bis Dezember 2015 38
Tab. 6-2: Schüttung und Kenndaten der Quellen der Quellgruppe-Nord – Dotternhausen 39
Tab. 6-3: Schüttungsmengen und hydrologische Kennwerte der 10 gefassten Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen am Nordhang des Plettenberges von 2000 bis 2015 nach Aufzeichnungen der Wasseruhr (Tageswerte) 43
Tab. 6-4: Schüttung und Kenndaten der genutzten und ungenutzten Quellen der Quellgruppe-West – Dormettingen 45
Tab. 6-5: Schüttung und Kenndaten der gefassten und genutzten Quellen der Quellgruppe-Süd - Ratshausen 47
Tab. 6-6: Schüttung und Kenndaten der gefassten und genutzten Quellen der Quellgruppe-Südost – Hausen am Tann 48
Tab. 6-7: Ermittelte Abstandsgeschwindigkeiten beim Tracerversuch 2015 52
Tab. 6-8: Analysenergebnisse – Teil 1 57
Tab. 6-9: Analysenergebnisse – Teil 2 58
Tab. 6-10: Kenndaten zum mittleren Abfluss und zur Einzugsgebietsgröße der gefassten Quellen am Plettenberg auf Grundlage der Wasserbilanz 63
Tab. 9-1: Erforderliches Rückhaltevolumen bei Starkregenereignissen mit Hochwasserabfluss für die genehmigte Abbaufläche und das beantragte Erweiterungsgebiet im Endabbauzustand 97
Tab. 9-2: Erforderliches Rückhaltevolumen und Einstauhöhe bei Starkregenereignissen mit Hochwasserabfluss für die genehmigte Abbaufläche und das beantragte Erweiterungsgebiet im Endzustand der Rekultivierung 101

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersichtskarte – Plettenberg und Umgebung (Luftbild)

Anlage 2: Übersichtskarte des Plettenbergs mit Lage der Quellen und Schutzgebiete

Anlage 3: Lageplan Steinbruch Plettenberg und Erweiterungsgebiet (Luftbild)

Anlage 4: Prognosezustände Abbau und Rekultivierung

Anlage 5-1: Hydrogeologische Karte - Grundwassergleichenplan vom 16.12.2015

Anlage 5-2: Hydrogeologische Karte - Grundwassergleichenplan vom 9.11.2016

Anlage 6: Hydrogeologische Karte - Quell-Einzugsgebiete

Anlage 7-1: Hydrogeologisches Nord-Süd-Profil durch den Plettenberg und das Erweiterungsgebiet

Anlage 7-2: Hydrogeologisches West-Ost-Profil durch den Plettenberg im Erweiterungsgebiet

Anlage 7-3: Hydrogeologisches Detailprofil durch das Erweiterungsgebiet nach der Rekultivierung

Anlage 8: Ergebnisse der Markierungsversuche – Kartendarstellung

Anlage 9: Ergebnisse der Wasseranalysen

Anlage 10: Bohrprofile, Ausbauzeichnungen und Photodokumentation der Grundwassermessstellen

Anlage 11: Dokumentation der hydraulischen Versuche und der Pumpversuche

Anlage 12: Wohnlich, S. & Vaitl, T. (2016): Markierungsversuch am Plettenberg vom 21.09. - 10.12.2015 in Dotternhausen.- Gutachten

1 Einführung

Die HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH betreibt den Kalksteinbruch Plettenberg südöstlich von Balingen im Zollernalbkreis. Der Steinbruch liegt auf der Hochfläche des Plettenbergs in einer Höhe von etwa 1.000 mNN, umgeben von den Ortschaften Dotternhausen im Nordwesten, Ratshausen im Südwesten sowie Hausen am Tann im Südosten (Abb. 1-1). Im Steinbruchbetrieb werden auf einer genehmigten Fläche von ca. 55,6 ha Kalksteine des Oberen (Weißen) Jura bzw. Malm rohstofflich in einer Menge von etwa 1 Mio t pro Jahr im Trockenabbau hereingewonnen. Südlich an den bestehenden Abbau angrenzend stehen weitere abbauwürdige Kalksteinvorräte an. Daher beantragt die Holcim (Süddeutschland) GmbH eine Lateralerweiterung des Steinbruchs nach Süden auf dem Plettenberg mit einer Abbaufläche von ca. 8,8 ha. Die beantragte Fläche ist in der Anlage 1 bis 3 in unterschiedlichen Maßstäben markiert. Der Abbau wird weiterhin im Trockenabbau, d.h. oberhalb des Grundwassers, erfolgen.

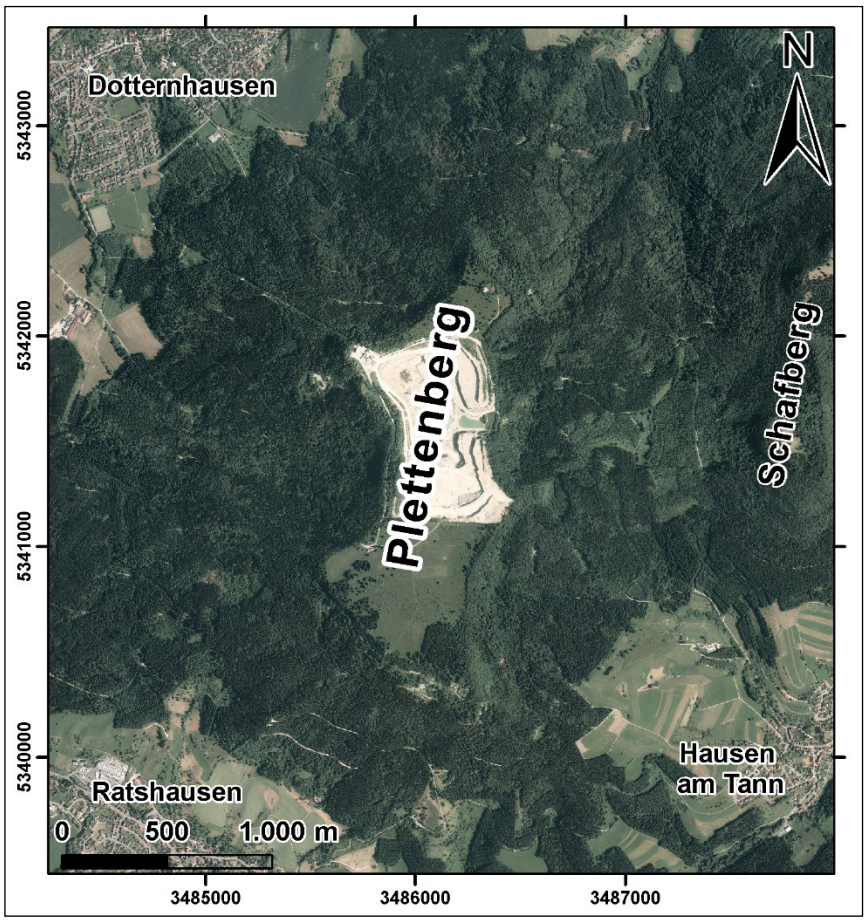

Abb. 1-1: Übersichtskarte mit Plettenberg und umliegenden Ortschaften (Quelle: Google)

In einem Scoping-Termin am 21.3.2013 in Dotternhausen wurde der Untersuchungsraum und der Untersuchungsumfang für die Umweltverträglichkeitsprüfung festgelegt. Gemäß dem Protokoll ergab sich für das Schutzgut Wasser im weiteren Sinne die Erfordernis der Erstellung eines **hydrogeologisch-ingenieurgeologischen Fachgutachtens**, das hier vorgelegt wird. Der Untersuchungsrahmen orientiert sich demnach an folgenden zentralen Untersuchungszielen:

- Klärung der Grundwasserverhältnisse auf dem Plettenberg, insbesondere betreffend Grundwasserstand, Grundwasserfließverhältnisse, Grundwasserbeschaffenheit und Wasserhaushalt, sowie Bewertung einer Auswirkung der Steinbrucherweiterung auf das Grundwasser und die Quellen am Hang des Plettenbergs, die zum Teil zur Trinkwasserversorgung genutzt werden und geschützte Biotope und FFH-Lebensraumtypen sind.
- Darstellung der ingenieurgeologischen Verhältnisse am Plettenberg. Die Auswirkungen des Abbaus, z.B. durch Sprengerschütterungen, auf die Standsicherheit der Böschungen am Plettenberg, sowie mögliche Veränderungen der Standsicherheiten durch die Steinbrucherweiterung werden in einem gesonderten Gutachten beschrieben und bewertet [Fernandez-Steger (2017)].
- Bemessung der zukünftigen Wasserhaltung zur Regenwasserableitung im Steinbruch Plettenberg einschließlich des Erweiterungsgebietes.
- Beschreibung und Bewertung der ingenieurgeologisch-hydrogeologischen Verhältnisse
    - im Ist-Zustand und bei Abbauende bestehende Genehmigung,
    - im beantragten maximalen Abbauzustand und
    - nach Ende der Rekultivierung.
- Vorschläge für ein Monitoring.

Nach ersten Voruntersuchungen im Jahr 2014 wurde mit Datum vom 20.11.2014 eine geologisch-hydrogeologische Bestandsaufnahme vorgelegt. Auf dieser Grundlage wurde das Untersuchungsprogramm im Detail weiter ausgearbeitet und um einzelne Untersuchungsteile ergänzt (Kap. 3). Auch aktuelle Entwicklungen im Zuge von Öffentlichkeitsterminen und Behördenterminen im Jahr 2015 fanden beim hydrogeologisch-ingenieurgeologischen Untersuchungsprogramm Berücksichtigung und flossen in den generellen Untersuchungsrahmen mit ein. Dabei erfolgte auch eine Abstimmung mit dem LGRB. Die hydrogeologischen und ingenieurgeologischen Untersuchungen (s.

Kap. 3) fanden zwischen März 2015 und November 2016 statt. Die automatischen Messdatenaufzeichnungen werden aktuell fortgeführt.

Im vorliegenden ingenieurgeologisch-hydrogeologischen Gutachten wird zunächst der Untersuchungsraum mit den Standortverhältnissen und der Untersuchungsrahmen beschrieben (Kap. 2 und Kap.3). In Kap. 4 wird der hydrogeologische Rahmen und der natürliche Wasserhaushalt am Plettenberg dargestellt. Die Kap. 5 bis 8 stellen den Ist-Zustand der Untersuchungsbereiche auf dem Plettenberg dar. Das Kap. 5 erläutert die geologischen und hydrogeologischen Grundlagen am Plettenberg. In Kap. 6 wird die Hydrogeologie im Ist-Zustand mit besonderem Schwerpunkt auf den zahlreichen Quellen am Hang des Plettenberges dargestellt. Die Ingenieurgeologischen Verhältnisse und die Standsicherheit am Plettenberg im Ist-Zustand werden in Kap. 7 beschrieben. In Kap. 8 wird auf die Fragen der bestehenden Regenwasserableitung und die Hochwasser-Thematik eingegangen. In Kap. 9 werden die Auswirkungen der Abbauerweiterung auf dem Plettenberg auf die verschiedenen aus hydrogeologischer und ingenieurgeologische Sicht betroffenen Umweltbereiche im Einzelnen dargestellt und bewertet. Abschließend werden in Kap. 10 Maßnahmen empfohlen.

2 Untersuchungsraum und Standortverhältnisse

Der Untersuchungsraum zur Hydrogeologie, zur Hydrologie und zur Ingenieurgeologie umfasst den gesamten Plettenberg mit seiner Hochfläche und den Böschungen bis in die umgebenden Talbereiche. Der hydrogeologische Untersuchungsraum besitzt damit eine Gesamtfläche von etwa 6 km², mit einer Erstreckung in Nord-Süd-Richtung von etwa 3 km und in West-Ost-Richtung von etwa 2 km.

Den Schwerpunkt der hydrogeologischen Untersuchungsraumes umfasst die Hochfläche des Plettenbergs mit dem Steinbruchareal (Höhe etwa 1.000 m NN) sowie die Böschungen bis zu den Quellen, die zumeist bei einer Höhenlage von etwa 870 bis 910 m NN an seinem Hang auftreten.

Der aktuelle Abbaustand ist auf der Anlage 3 in einem Luftbild dargestellt. Das geplante Erweiterungsgebiet schließt sich auf der Hochfläche im Süden an den genehmigten Abbau an.

3 Untersuchungsrahmen und Datengrundlagen

3.1 Untersuchungsrahmen

Die Untersuchungsziele im Einzelnen und damit die Themenkomplexe des ingenieurgeologisch-hydrogeologischen Fachgutachtens werden wie folgt umrissen:

- Darstellung des **Ist-Zustandes** betreffend **Geologie, Hydrogeologie, Hydrologie, Ingenieurgeologie**
    - Geologisch-hydrogeologische Abgrenzung des Untersuchungsraums;
    - Herausarbeiten und Darstellung des relevanten Schichtinventars;
    - Geologische Beschreibung und Abgrenzung der grundwasserführenden und grundwasserstauenden Schichten sowie Einfluss von Trennflächen (tektonische Elemente, Schichtlagerung bzw. Klüftung) des Gebirges auf die Grundwasserverhältnisse und die Quellen;

- Lage der Grundwasseroberfläche, Grundwasserfließverhältnisse und Beschreibung der Wasserstandsschwankungen im bisherigen Beobachtungszeitraum;
- Erstellung einer Wasserbilanz für den Betrachtungsraum (Niederschlag, Verdunstung, Abfluss, Grundwasserneubildung) unter besonderer Berücksichtigung der Quellaustritte in ihrer Gesamtheit;
- Abfluss bei Starkregenereignissen/Hochwasserabfluss
- Hydrogeologische Erfassung sowie Charakterisierung aller Quellen und Quellaustritte am Plettenberg (Menge, Beschaffenheit);
- Ermittlung der oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebiete der Quellen/Quellgruppen und Bilanzierung der Quellschüttungen;
- Klärung der hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse im Hinblick auf die einzelnen Quellaustritte in den unterschiedlichen Austrittshorizonten;
- Einfluss der geologischen Verhältnisse und des Trennflächengefüges auf die Lage und Schüttung der Quellen;
- Beschreibung der ingenieurgeologischen Verhältnisse am Plettenberg (Rutschungen, Felsstürze);
- Ingenieurgeologische Kartierung im Steinbruch und Erfassung der Trennflächen;
- Lage und Eigenschaften möglicher Gleithorizonte (Tonstein) unter dem Kalkstein des Oberen Jura.

- Darstellung und Bewertung der **möglichen Auswirkungen des Erweiterungsvorhabens** bei

  1. Endabbau genehmigter Steinbruch und beantragte Abbauerweiterung;
  2. Zustand nach Abbauende mit rekultiviertem aktuellen und zukünftigen Abbaubereich.

  Auswirkungen auf:

  - Gefasste Quellen und Trinkwassergewinnungsanlagen;
  - Quellaustritte;
  - FFH-Gebiete außerhalb vom Steinbruch;

- Die bei der Rekultivierung im Steinbruch geplanten Biotope und Böschungen;
- Grundwasserverhältnisse;
- Wasserhaushalt;
- Grundwasserbeschaffenheit;
- Oberflächenwasserabfluss, Hochwasserabfluss;
- Standsicherheiten der Außen- und Innenböschungen des Plettenbergs.

Weiterhin werden Vorschläge für die zukünftige Ableitung des Oberflächenwassers und die Möglichkeiten der gesteuerten Versickerung im Steinbruch, der Ableitung nach außerhalb des Steinbruches oder der Kombination mehrerer Verfahren vorgestellt und erläutert.
Bewertungen zu einer eventuellen Hochwassergefährdung des Oberen Schliechemtals, insbesondere Hausen a. T. werden erstellt.
Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung gegebenenfalls vorhandener Auswirkungen auf die Quellaustritte, den Wasserhaushalt und die Grundwasserverhältnisse sowie die Standsicherheiten und eventueller Rutschungsgefährdungen werden aufgezeigt.

3.2 Untersuchungsumfang

Zur Erstellung des ingenieurgeologisch-hydrogeologischen Fachgutachtens wurden folgende Untersuchungen und Auswertungen mit jeweils dafür angepassten Methoden durchgeführt:

- Errichtung von **Grundwassermessstellen/Versuchsbrunnen** zur Ermittlung der Lage des Grundwasserspiegels und der Grundwasserfließrichtung, zur Durchführung von Schluckversuchen, hydraulischen Tests und Tracerversuchen und zur Gewinnung von Gesteinsproben (Tonstein).

  Im Steinbruch wurden ab Juni 2015 zunächst **5 Bohrungen** mit einem Steinbruchbohrgerät abgeteuft. Die Bohrungen werden mit einem Standrohr gesichert und eingemessen, so dass Grundwasserstandsmessungen und die hydraulischen Versuche möglich sind.

  Zur Erkundung der Grundwasserverhältnisse und möglicher Gleitflächen und Rutschungsgefährdungen wurden im Erweiterungsgebiet zwischen Oktober und Dezember 2015 insgesamt **3 Bohrungen** als Kernbohrungen abgeteuft. Die Kerne

wurden lithologisch und ingenieurgeologisch durch den hydrogeologischen Gutachter aufgenommen. Zusätzlich erfolgte eine stratigraphische Aufnahme und Einstufung durch den Landesgeologen Dr. Franz (LGRB).

Die **3 Kernbohrungen** im Erweiterungsgebiet erfassen die gesamte Schichtenfolge bis zum Ornatenton. So sind die Tonschichten und mögliche Gleithorizonte festzustellen, deren Lage und Einfallswinkel und damit mögliche Gleitflächen genau zu ermitteln. Außerdem können so Proben der Tonschichten genommen werden und im **Labor** hinsichtlich der Verwitterungsanfälligkeit und der **geotechnischen Eigenschaften** detailliert untersucht werden. Die Bohrungen werden zu Grundwassermessstellen ausgebaut, um zusätzlich auch die genauen Grundwasserstände und -fließverhältnisse im Erweiterungsgebiet und damit auch den Kontakt der Tonschichten mit dem Grundwasser zu untersuchen. Die Arbeiten zur Hydrogeologie liefern auch wichtige Daten zur ingenieurgeologischen Situationsbeschreibung und Prognose hinsichtlich möglicher Rutschungsgefährdungen.
Aus den Kernen erfolgt die Gewinnung von Gesteinsproben zur geotechnischen Untersuchung. Insbesondere Ton-Schichten als mögliche Gleithorizonte lassen sich so genau lokalisieren und in Ihrer Raumlage einordnen.

Die Bohrungen im Steinbruch und auf der Hochfläche wurden als Grundwassermessstellen ausgebaut und die Grundwasserstände kontinuierlich über Datenlogger oder in regelmäßigen Stichtagsmessungen erfasst (Kap. 6).

- **Steinbruchkartierung** zur Erfassung des Trennflächengefüges, der lithofaziellen Ausbildung des Karbonatkomplexes, der Wasserwegsamkeiten sowie möglicher Rutschungsgefährdungen.

  Die geotektonische Messungen und Aufnahmen erfolgten durch Geologen vor Ort.

- **Kartierung, hydrogeologische Beschreibung und Abflussmessungen aller Quellaustritte** an den Hängen des Plettenbergs mit Schwerpunkt auf dem oberen Quellniveau an der Basis des Weißen Jura; Kartierung aller Oberflächengewässer.

  Diese Arbeiten erfolgten durch Hydrogeologen vor Ort während einer Erstaufnahme im Mai 2015. Im Verlauf der Monate Mai 2015 bis Juni 2016 wurden die Quellen wiederholt begangen und Messungen durchgeführt. Die jahreszeitlichen Veränderungen an den Quellen wurden so erfasst. Die Kartierarbeiten wurden teilweise zusammen mit den Kartierungen zum Schutzgut Tiere und Pflanzen der AGLN, Dr. Tränkle durchgeführt, um die umweltrelevanten Quellbereiche zu erkunden.

Durchführung von **Abflussmessungen** (Gefäßmessungen, Flügelmessungen oder andere Verfahren) an relevanten Quellen/Quellgruppen in Trockenwetterperioden zur Überprüfung und Ergänzung der Bilanzergebnisse zum Wasserhaushalt einzelner Quelleinzugsgebiete.

Die Abflussmessungen erfolgen an jeder Quelle mit jeweils dort sinnvoll einsetzbaren Methoden. An allen relevanten Quellen am oberen Hang des Plettenberges erfolgten mindestens 3 Stichtagsmessungen, beginnend im Mai 2015 bis Sommer 2016.

Wo es technisch möglich war, wurden **kontinuierlich aufzeichnende Messsysteme** zur Abflussmessung an Quellen und/oder Oberflächengewässern installiert.

Die genutzten Quellen der Gemeinde Dotternhausen am Nordhang des Plettenberges werden seit mehr als 15 Jahren bezüglich ihrer täglichen Gesamtschüttungsmenge aufgezeichnet. Diese Daten wurden von der Gemeinde freundlicherweise zur Verfügung gestellt und für den Zeitraum 1999 bis 2015 komplett ausgewertet. Die Quellschüttung der Plettenbergquellen wird im Zulauf zum Wasserwerk der Gemeinde Ratshausen seit September 2015 mit einer installierten Wasseruhr erfasst und kontinuierlich aufgezeichnet.

An den übrigen Quellen und Quellgruppen war eine kontinuierliche Messung der Schüttungen aus technischen Gründen nicht möglich. Zum Beispiel waren die Rohrleitungen nicht für die Installation einer Wasseruhr zugänglich.

- Probenahmen und Analysen zur **hydrochemischen Beweissicherung.**

  Eine Beprobung aller gefassten Quellen und Quellgruppen, ausgewählter, nicht gefasster Quellen sowie des Grundwassers und des Oberflächenwassers im Steinbruch und auf der Plettenberg-Hochfläche erfolgte im Juli 2015 und im Oktober 2016. Die Analytik erfolgte auf die Hauptinhaltsstoffe sowie weiterer Inhaltsstoffe, die im Zusammenhang mit dem Einsatz von Sprengmitteln stehen könnten. Die Probenahmepunkte werden vom hydrogeologischen Gutachter festgelegt, die Beprobung und Analytik erfolgte durch das zertifizierte Labor Eurofins.

- **Schluckversuche/Versickerungsversuche** in den Bohrungen sowie an Schürfen und Flächen im Steinbruchbereich.

  Diese Versuche wurden durch den hydrogeologischen Gutachter vor Ort an allen Grundwassermessstellen durchgeführt. Sie dienen der Ermittlung der hydraulischen Kennwerte, insbesondere der Durchlässigkeit sowie auch der Versickerungsfähigkeit im geklüfteten Kalkstein und Mergelstein.

- **Markierungsversuche** im Steinbruch und im Erweiterungsgebiet.

  In Zusammenarbeit mit Prof. Wohnlich von der Universität Bochum wurden im Zeitraum vom 21.9. bis Dezember 2015 Markierungsversuche auf dem Plettenberg, sowohl im Steinbruch als auch im Erweiterungsgebiet durchgeführt. Auch die Ergebnisse des früheren vom LGRB durchgeführten Markierungsversuches von 1987 wurden in die Auswertungen mit einbezogen.

- **Ingenieurgeologische Untersuchungen** und Kartierungen an den Hängen des Plettenberges zur Erkundung möglicher Gefährdungen durch Rutschungen oder Felsstürze in Folge des geplanten Gesteinsabbaus (Sprengerschütterung). Diese Arbeiten wurden in Kooperation mit dem Ingenieurgeologen Prof. Dr. Fernandez-Steger von der TU Berlin unternommen. Dabei erfolgte eine ingenieurgeologische Kartierung des gesamten Außenhanges am südlichen Teil des Plettenberges, der vom Abbauerweiterungsgebiet betroffen ist.

3.3 Datengrundlagen

Neben den Daten, die durch die beschriebenen Untersuchungen neu erhoben wurden, wurden vorhandene Daten und Untersuchungsergebnisse sowie Publikationen in die Auswertungen einbezogen. Im Literaturverzeichnis sind hierzu die Quellen angegeben.

3.4 Grundwassermessstellen

Zur Ermittlung der Grundwasserstände und der Grundwasserfließverhältnisse auf dem Plettenberg wurden von Juni bis September 2015 insgesamt 8 Kernbohrungen im Steinbruch als temporäre Grundwassermessstellen angelegt. Dazu wurden Bohrlöcher, die mit dem Steinbruchbohrgerät abgeteuft worden waren, anschließend mit Ausbaumaterial (Filterrohre, Vollrohre, Kieshinterfüllung und Tonsperre) ordnungsgemäß ausgebaut. Außerdem wurden von Oktober bis Dezember 2015 drei Kernbohrungen abgeteuft, die zu dauerhaften Grundwassermessstellen ausgebaut wurden. Zwei der dauerhaften Grundwassermessstellen sind auf der Hochfläche im Bereich des Erweiterungsgebietes errichtet und eine im südlichen Teil des aktuellen Steinbruches auf der untersten Abbausohle (942 mNN). Die Bohr- und Ausbaudaten der Grundwassermessstellen

sind in Tab. 3-1 und 3-2 aufgelistet und in der Anlage 6 dokumentiert. Die Lage der Messstellen ist in Anlage 3 markiert.

Tab. 3-1: Kenndaten der dauerhaften Grundwassermessstellen am Plettenberg

Bezeich-nung	Rechts-/ Hochwert	Pegel-oberkante POK	Endteufe Bohrung	Ausbau Filterstrecke	
		[m NN]	[m NN]	[m u. POK]	[bis mNN]
B-2015-1	34-85.836 53-40.991	976,22	897,5	22 – 60	916
B-2015-2	34-85.971 53-40.594	993,95	901,3	37 - 70	923
B-2015-3	34-86.218 53-41.347	941,92	894,8	4 - 9	943

Tab. 3-2: Kenndaten der temporären Grundwassermessstellen im Steinbruch

Bezeich-nung	Rechts-/ Hochwert	Pegel-oberkante POK	Ausbau Filterstrecke		Bemerkung
		[m NN]	[m u. POK]	[bis mNN]	
GWM01	34-86.349 53-41.639	942,61	2 – 13	930	
GWM02	34-86.228 53-41.659	943,75	2 – 14	930	
GWM03	34-86.086 53-41.536	941,70	2 – 12	930	
GWM04	34-86.050 53-41.449	943,43	2 – 10	933	
GWM05	34-86.284 53-41.232	960	10 – 28	932	
GWM09	34-86.075 53-41.821	942,5	2 - 12	930	

4 Hydrologie und Wasserhaushalt

4.1 Natürlicher Wasserhaushalt

Um mögliche Auswirkungen des Erweiterungsvorhabens auf den Wasserhaushalt und die Grundwasserneubildung abschätzen zu können, wird zunächst eine Wasserhaushaltsbilanz aufgestellt.

Die Bilanzgrößen des Wasserhaushaltes setzen sich zusammen aus

$N = Etr + A_o + A_u + R$

mit:

- N: Niederschlag
- Etr: Evapotranspiration
- A_o: Oberflächen-Abfluss
- A_u: Unterirdischer Abfluss (entspricht über längere Zeiträume der Grundwasserneubildung)
- R: Rücklage und Verbrauch (für mehrjährige Betrachtungen nicht relevant)

Für die Bestimmung des langjährigen, mittleren Niederschlags werden Mess-Daten der Stationen Balingen-Heselwangen, Albstadt-Badkap und Meßstetten herangezogen. Die Tab. 4-1 fasst die langjährigen, mittleren Jahreswerte von Niederschlag und Temperatur für die nächstgelegenen Wetterstationen zusammen. Alle 3 Wetterstationen befinden sich relativ nahe zum Untersuchungsraum. Die Station Meßstetten liefert erst seit Oktober 2013 Niederschlagsdaten. Von den Stationen Balingen-Heselwangen und Albstadt-Badkap liegen langjährige Niederschlagswerte vor. Die Station Albstadt-Badkap gibt aufgrund der Höhenlage die Niederschlags-Verhältnisse, insbesondere die Niederschlagshöhen, im Untersuchungsraum von diesen beiden Stationen am besten wieder.

Tab. 4-1: Kenndaten der nächstgelegenen Wetterstation

Station	Höhe	Entfernung zum Plettenberg	Zeitabschnitt	Jahre	N	Bemerkung
	mNN				mm	
Balingen-Heselwangen	571	8,9 km NE	1981 - 2010	30	871	
			2000 - 2015	16	843	
Albstadt-Badkap	759	12,2 km SE	1981 - 2010	30	1.014	
			2000 - 2015	16	957	
Meßstetten	920	13,8 km SE	-	-	-	Seit 10-2013 in Betrieb

Erläuterung:
N: Niederschlag (Jahressummen)

Der Steinbruch und das Abbau-Erweiterungsgebiet auf dem Plettenberg befindet sich auf einer Geländehöhe von etwa 940 bis 1.000 mNN. Die Quellen am Hang des Plettenbergs liegen zumeist auf Höhen von 850 bis 900 mNN.

Für den Zeitraum 1981 – 2010 wurde eine langjährige mittlere **Jahresniederschlagssumme** an der Station Balingen von 871 mm und an der Station Albstadt von 1.014 mm ermittelt. Für den Zeitraum der vergangenen 16 Jahre ab 2000, der für die Quellschüttungsmessungen ausgewertet wurde, liegt der mittlere Niederschlag nur leicht unter dem langjährigen Mittelwert (Tab. 4-1).

Auf der Abb. 4-1 sind die Jahresniederschlagssummen für die Stationen Balingen und Albstadt dargestellt. Das Jahr 2002 wies mit 1.195 mm (Albstadt) den höchsten Niederschlag in diesem Zeitraum auf. In den Folgejahren wurde nur im Jahr 2012 und 2013 wieder eine leicht über dem langjährigen Mittelwert liegende Niederschlagssumme erreicht. Das Jahr 2003 war bekanntermaßen ein sehr trockenes Jahr mit sehr geringen Niederschlagssummen, was sich für die Station Balingen stärker ausprägt als für die Station Albstadt. Das vergangen Jahr 2015 lag mit einer Niederschlagssumme von 695 mm für Balingen, sogar noch unter dem Wert für 2003. Für Balingen wurde der extreme Niedrigwert für 2003 im Jahr 2015 nur leicht übertroffen. Das Jahr 2015 ist also ähnlich wie 2003 als extrem niederschlagsarmes Jahr einzustufen.

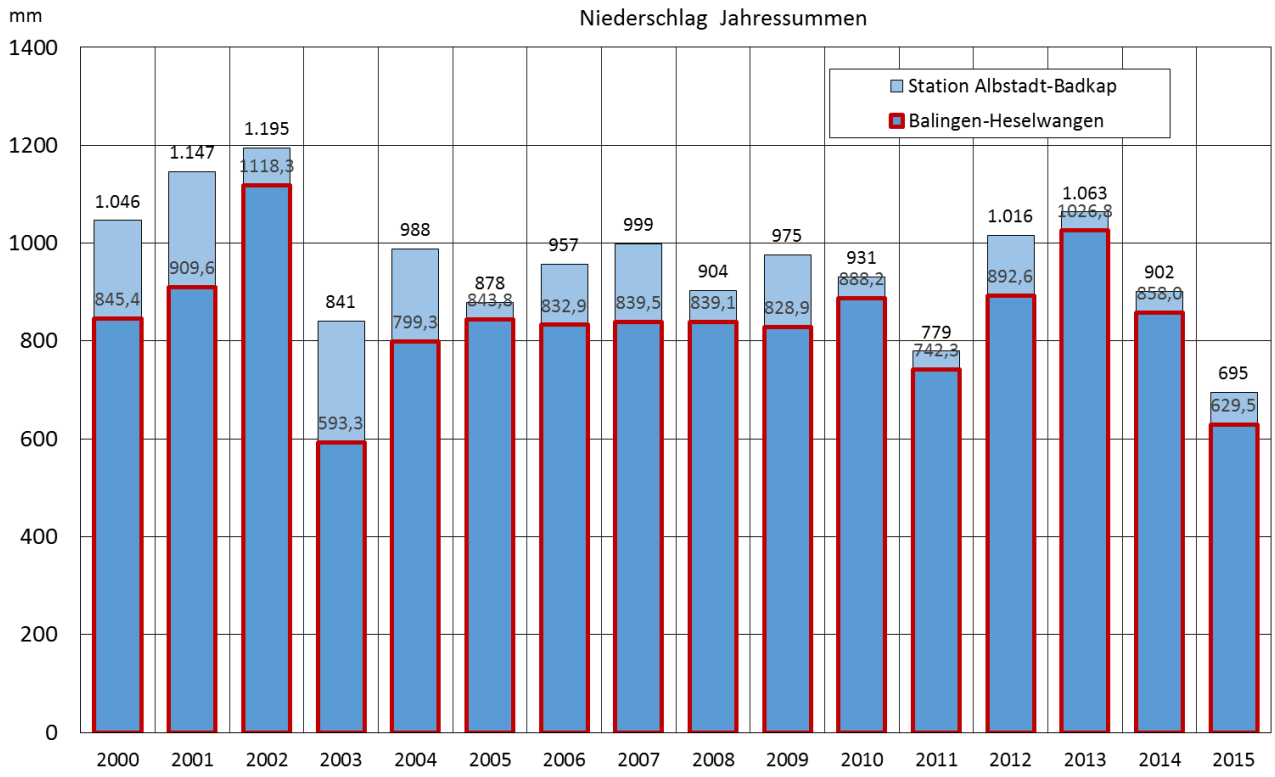

Abb. 4-1: Jahressummen des Niederschlages an den Stationen Albstadt-Badkap und Balingen-Heselwangen

Überträgt man die Niederschlagswerte der genannten Stationen auf den Plettenberg, sind die dortigen Höhen des Untersuchungsraumes von 800 bis 1.000 m NN zu berücksichtigen. Für den Gebietsniederschlag auf dem Plettenberg wird daher der Niederschlag der Station Balingen mit dem Faktor 1,23 oder der Niederschlag der Station Albstadt mit dem Faktor 1,09 multipliziert. Demnach ergibt sich für den Zeitraum 2000-2015 im Untersuchungsraum Plettenberg ein mittlerer Niederschlag von 1.040 mm.

Nach dem Wasser und Bodenatlas ergibt sich für den Plettenberg ein mittlerer Jahres-Niederschlag zwischen etwa 900 und 1200 mm in Abhängigkeit von der Höhenlage sowie der Ausrichtung nach Westen (LUBW 2012).

Die langjährige mittlere **Jahrestemperatur** für den Zeitraum 1981 bis 2010 beträgt für den Plettenberg zwischen etwa 6 und 8 °C (LUBW 2012).
Die Berechnung der reellen **Evapotranspiration (Verdunstung)** lässt sich überschlägig für lange Zeiträume nach dem Berechnungsverfahrens von Turc (1961) auf der Grundlage der langjährigen mittleren Niederschlagssumme und der mittleren Temperaturwerte mit hinreichender Genauigkeit wie folgt berechnen:

$$Et_r = \frac{N}{[0{,}9 + (N/lt)^2]^{0{,}5}} \quad [mm/a]$$

mit: N = Jahresniederschlagssumme (mm)
lt = $300 + 25t + 0{,}05t^3$
t = Jahresmitteltemperatur (°C)

Für den Zeitraum von 2000 bis 2015 ergibt sich daraus für das Untersuchungsgebiet Plettenberg eine mittlere reelle Evapotranspiration von etwa **Etr = 436 mm/a.** Nach dem Wasser- und Bodenatlas liegt die mittlere tatsächliche Verdunstungshöhe am Plettenberg zwischen < 400 mm/a und 500 mm/a.

Für die Steinbruchflächen, die keinen Bewuchs oder Bodenschicht aufweisen ist eine geringere Evapotranspiration anzusetzen. Die Pflanzen-gesteuerte Transpiration entfällt. Für die verbleibende Evaporation sind etwa 25 % des Niederschlages anzusetzen (DVWK 1996). Demnach beträgt die mittlere reelle **Verdunstung auf den Steinbruchflächen** etwa **Etr-St** =256 mm/a bezogen auf den Zeitraum 2000 bis 2015. Infolge der Abbautätigkeiten, bei denen unvermeidbar Feinmaterial sedimentiert und Oberflächen durch den betrieblich bedingten Verkehr verdichtet werden, sammelt sich auf den Sohlen des Steinbruchs temporär Niederschlagswasser an und bildet offene Wasserflächen, die vor allem im Sommer zu einer höheren Verdunstungsrate beitragen. Generell ist die Verdunstung von offenen Wasserflächen höher als die von Landflächen einzustufen, so dass die Gesamt-Verdunstung im offenen Steinbruchbereich mit etwa Etr = 350 mm/a etwas höher angesetzt werden kann als die reine Evaporation von 256 mm/a.
In der Tab. 4-2 sind die an den Wetterstationen gemessenen und aus diesen für das Untersuchungsgebiet berechneten hydrologischen Bilanzgrößen aufgeführt.

Tab. 4-2: Hydrologische Bilanzgrößen für das Untersuchungsgebiet

	Jahre	N in mm/a	Etr in mm/a	A_{ges} mm/a	
2000 - 2015	16	1.040	436	604	
2000 - 2015	16	1.040	350	690	Steinbruchflächen während Abbau
2000 - 2015	16	1.040	436	604	Steinbruchflächen nach Rekultivierung

Erläuterung:
N: Niederschlag Plettenberg (langjähriger Jahresmittelwert) auf Basis der Werte der Station Albstadt (Faktor 1,05 und Balingen (Faktor)
Etr: Evapotranspiration, reell (Jahressummen)- berechnet n. TURC, s.u.
A_{ges}: Abfluss gesamt (Jahressummen), berechnet A_{ges} = N - Etr

4.2 Abfluss und Grundwasserneubildung

Nach der Wasserhaushaltsgleichung errechnet sich der Abfluss (A) aus der Differenz zwischen Niederschlag (N) und der reellen Evapotranspiration (Etr). Der Abfluss insgesamt (A_{ges}) setzt sich aus dem oberirdisch fließenden Anteil (Ao) sowie dem unterirdisch fließenden Anteil (Au) zusammen. Die Grundwasserneubildung entspricht für lange Betrachtungszeiträume dem unterirdischen Abfluss A_u. Der Wert von A_u lässt sich daher auch als mittlere Grundwasserneubildungsrate (GwN) definieren.

Für das Untersuchungsgebiet Plettenberg errechnet sich demnach für den Zeitraum 2000 bis 2015 bei einem mittleren Niederschlag von 1.040 mm/a und einer mittleren reellen Verdunstung von 436 mm/a ein mittlerer Gesamtabfluss von A_{ges} = N - Etr = 604 mm/a. Das entspricht einer Abflussspende von Mq = 19,3 l/skm².

Für die Station Balingen und damit das morphologisch tiefer gelegenen Umland des Plettenbergs ergibt sich für den Zeitraum 2000 bis 2015 bei einem mittleren Niederschlag von 843 mm/a und einer mittleren reellen Verdunstung von 452 mm/a ein mittlerer Gesamtabfluss von A_{ges} = N - Etr = 391 mm/a. Das entspricht einer Abflussspende von Mq = 12,6 l/skm². Die bis auf die Geländehöhe des Umlandes reichenden Einzugsgebiete der Fließgewässer am Plettenberg (Kap. 4.3) weisen nach den regionalisierten Werten des Landes Baden-Württemberg (Wasser- und Bodenatlas, LUBW 2012) mittlere Abflussspenden von A-ges = Mq = 11,3 bis 14,3 l/skm² auf. Für die höheren Lagen des Plettenbergs werden dort Abflussspenden zwischen 15-20 l/skm² angegeben.

Für die **Grundwasserneubildung** und damit den Grundwasserabfluss im Einzugsgebiet der Quellen am Plettenberg lassen sich folgende Bilanzdaten ableiten:

Auf der unverritzten **Hochfläche des Plettenberges** ist der Anteil des oberirdischen Abflusses am Gesamtabfluss im Untersuchungsgebiet praktisch vernachlässigbar. Die Grundwasserneubildung und der Grundwasserabfluss entspricht demnach dem Gesamtabfluss mit GwN = **A_u = 604 mm/a (= 19,3 l/s*km²)** für den Zeitraum von 2000 bis 2015.

Für die **Steinbruchflächen** mit aufgeschlossenem Kalkstein ist aufgrund der geringeren Evapotranspiration der Gesamtabfluss höher und wird mit A-ges **= 690 mm/a (=22,0 l/s*km²)** für den Zeitraum 2000 bis 2015 angesetzt. Dieser erhöhte Abfluss führt aufgrund der nur mäßigen Durchlässigkeit der anstehenden Gesteine des Impressa-

mergels nicht zu einem entsprechend höheren unterirdischen Abfluss mit höherer Grundwasserneubildung. Stattdessen ist im Steinbruch der Oberflächenabfluss höher anzusetzen. Das zeigt sich auch daran, dass zur Sammlung und Ableitung des Oberflächenwassers im Steinbruch ein Sammelbecken sowie eine Rohrleitung zur Ableitung des niederschlagsbedingten Oberflächenwassers erforderlich war. Der Differenzbetrag von etwa 200 mm/a im Mittel wird von den Steinbruchflächen als Oberflächenwasser abgeleitet. Bei einer Steinbruchfläche von aktuell etwa 40 ha entspricht das einem mittleren Abfluss von etwa Q = 2,5 l/s. Der Oberflächenabfluss aus dem Steinbruch kann an der Ableitung aus dem Rückhaltebecken direkt gemessen werden. Bei regelmäßigen Abflussmessungen im Jahr 2015 wurden Abflussmengen von 0,0 l/s bis 11 l/s gemessen, der Mittelwert lag bei 1,9 l/s und damit etwa im Bereich des Wertes, der sich aus der Wasserbilanzberechnung ergibt (s. Kap. 6.2.6). Es kommt auf den Steinbruchflächen nicht zu einem kompletten Abfluss des Niederschlagswassers (abzüglich der Verdunstung). Die Steinbruchsohle mit dem anstehenden geklüfteten Impressamergel kann weiter Sickerwasser nach Niederschlägen aufnehmen.
Der unterirdische Abfluss und damit die Grundwasserneubildung im Bereich der Steinbruchflächen ist gegenüber dem unverritzten Gebirge weitgehend gleich. Die Grundwasserstandsmessungen zeigen auch im Steinbruch Reaktionen auf Niederschläge und Grundwasserneubildung (s. Kap. 6.2).

Die Rekultivierungsflächen im Steinbruch besitzen aufgrund der aufgebrachten Bodenschicht und des Pflanzenbewuchses eine Verdunstung vergleichbar der Hochfläche vor dem Gesteinsabbau.

Nach Plum et. al. (2008) beträgt die mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Ober-Jura der Schwäbischen Alb generell im langjährigen Mittel (1961-90) GwN = 14,7 l/skm² (=464 mm).

Im gesamten Einzugsgebiet der Verbreitung der Wohlgeschichteten Kalke und des Impressamergels auf dem Plettenberg werden bei einem Wert von Au = 604 mm/a auf einer Fläche von 1,8 km² im Mittel etwa 1,09 Mio m³/Jahr Grundwasser neugebildet. Die Quellen, die auf einer Höhenlage von etwa 800 bis 910 mNN am Hang des Plettenbergs entspringen, weisen nach den Untersuchungen mittlere Schüttungsmengen von insgesamt etwa 600.000 m³/Jahr auf (Kap. 6.3). Die verbleibende Menge des unterirdischen Abflusses von 0,49 Mio m³/Jahr fließt tiefer gelegenen Hangbereichen zu und tritt dort in den Fließgewässern oder Quellen zu Tage.

4.3 Fließgewässer

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.

5 Geologie

5.1 Regionalgeologische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet mit dem Plettenberg befindet sich an der Nordwestseite der Schwäbischen Alb im Bereich des Süddeutschen Schichtstufenlandes. Dieses zeichnet sich durch eine Wechsellagerung von unterschiedlich erosionsresistenten Schichtpaketen aus. Der Plettenberg sowie der benachbarte, östlich gelegene Schafberg sind geologisch als singulär stehende Zeugenberge einzuordnen, die im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung durch die Erosionstätigkeiten der Schlichem vom Albtrauf „abgeschnitten“ wurden. Im Aufbau solcher Zeugenberge fungieren die erosionsempfindlichen Schichten als Sockelbildner, die resistenteren Gesteine als Hang- oder Stufenbildner (Geyer & Gwinner 1984).

Stratigraphisch sind die Schichtfolgen des Plettenbergs durch Gesteine des Mittleren bzw. Braunen Jura („Dogger“) und des Oberen bzw. Weißen Jura („Malm“) aufgebaut. Dabei bilden die Karbonatgesteine des Weißen Jura w_α und w_β die Hochfläche des Plettenbergs mit den umgebenden Steilhängen. Die unterlagernden Gesteine des Braunen Jura sind vorwiegend durch Tonsteine geprägt. Die Profile in Anlage 7 geben den geologischen Schichtaufbau wieder. Dort sind die Schichten auch lithologisch beschrieben.

Die Schichtfolge des Plettenbergs zeigt regional betrachtet ein Einfallen von etwa 1° bis 2° in Richtung Südosten. Kleinräumig betrachtet können die Lagerungsverhältnisse jedoch deutlich von dieser Richtung abweichen.

5.2 Schichtenfolge am Plettenberg

Zuoberst steht die Formation „**Wohlgeschichtete Kalke**“ an. Diese besteht aus hartem Kalkstein, der sich auf der gesamten Hochfläche des Plettenbergs erstreckt und die Steilhänge und Felspartien bildet. Bei den Kalksteinen des Weißen Jura w_α und w_β handelt es sich um Karbonatgesteine, die genetisch im Wesentlichen jurassischen Schwammriffen und deren Riffschuttbildungen in der gebankten Fazies entstammen. Die Formation der Wohlgeschichteten Kalke besitzt auf dem Plettenberg eine Mächtigkeit von etwa 40 - 45 m. Die Formation erstreckt sich von der Hochfläche bei etwa 1.000 mNN bis etwa 955 bis 960 mNN.

Darunter stehen bis etwa 908 bis 910 mNN die „**Impressa-Mergel**“ an. Sie sind durch eine Wechselfolge von Mergelsteinen mit eingeschalteten Kalksteinbänken und Kalkmergelsteinbänken geprägt. Die Kalksteinbänke nehmen in ihrer Mächtigkeit und Häufigkeit nach unten hin ab. Diese Formation hat am Plettenberg somit eine Mächtigkeit von etwa 40 – 50 m.
Unterhalb vom Impressamergel, d.h. unterhalb etwa 910 mNN, stehen dann die mächtigen Tonsteine des mittleren Juras (**Ornatenton**) an. Diese Tonsteine des Braunen Jura (b_α bis b_ζ) bauen die weniger steilen Hanglagen und flacheren Böschungen bis zum Fuß des Plettenbergs auf.

Die Schichtfolge des Plettenbergs fällt regional betrachtet mit etwa 1° bis 2° in Richtung Südosten ein. Kleinräumig betrachtet können die Lagerungsverhältnisse jedoch deutlich von dieser Richtung abweichen. Der Plettenberg stellt einen „Inselberg“ dar. Die dem Braunen Jura auflagernden Mergel und Kalksteine sind nicht mit den gleich alten Schichten der übrigen Schwäbischen Alb räumlich verbunden. In der Anlage 7-1 und Anlage 7-2 ist in einem geologischen Nord-Süd-Profilschnitt und in einem West-Ost-Profilschnitt der geplante Erweiterungsbereich dargestellt. Die geologischen Schichten und deren hydrogeologische Einstufung sind in Tab. 5-1 zusammengefasst. Die lithologische Aufnahme der 3 Kernbohrungen auf dem Plettenberg ist in der Anlage 10 zusammengestellt.

Tab. 5-1: Geologische Schichtenfolge und hydrogeologische Einstufung

Stratigraphie		**Mächtigkeit**	**Höhe am Plettenberg**	**Lithologie**	**Hydrogeologische Einstufung**
Quartär	Verwitterungslehm und Lockergesteinsdeckschicht auf Plettenberghochfläche	< 1m	ca. 1.000	Schluff, Sand, Lehm steinig	Deckschicht
	Hangschutt, Rutschmassen	Wechselnd, m-Bereich bis >10m	Unterhalb ca. 920 mNN	Kies/Sand/-Steine; Ton, steinig	lokal grundwasserführend
Weißer Jura β	Wohlgeschichteter Kalkstein	45 m	1000 - 955 mNN	Kalkstein, gebankt, mit Mergelsteinfugen, z.T. verkarstet	Generell Kluft- und Karst-Grundwasserleiter; am Plettenberg Funktion als Deckschicht oberhalb vom Grundwasser
Weißer Jura α	Impressa-Mergel	45 m	955 – 910 mNN	Mergelstein mit Kalk- und Kalkmergelsteinbänken	Insgesamt Grundwassergeringleiter, obere 10 - 20 m: lokal geringe Grundwasserleitende Eigenschaften (Kalkstein-Bänke)
Brauner Jura	Ornatenton, Dogger	> 100 m	< 910 mNN	Tonstein	Grundwasserstauer, z.T. Grundwassergeringleiter

5.3 Geologische und tektonische Verhältnisse im Steinbruch

Im Rahmen mehrerer ingenieurgeologischer Kartierungen im Steinbruch wurde die lithofazielle Ausbildung der anstehenden Kalksteine und Mergelsteine sowie das Trennflächengefüge erfasst und beschrieben. Neben mehreren Großkluftsystemen wurden Karsterscheinungen, Störungen sowie Fazieselemente festgestellt und kartiert.

Großräumig betrachtet fallen die Schichten mit etwa 1° bis 2° in Richtung Südosten ein, wobei bei kleinräumiger Analyse erhebliche Abweichungen beobachtet werden können. So geht aus Messungen an der Nord- und Südwand des Steinbruchs sowohl ein Einfallen in östlicher als auch in südwestlicher Richtung hervor. Dabei fallen die Schichten entgegen der großräumigen Betrachtung lokal deutlich steiler bis zu 35° ein.

Im nahezu gesamten Steinbruchareal sind Karstelemente anzutreffen. Dies trifft insbesondere auf den nördlichen sowie süd- und südöstlichen Bereich zu. Die Karsterscheinungen weisen einen unterschiedlichen Verkarstungsgrad auf und sind meist mit schluffigem Material verfüllt. Im Nordabschnitt der untersten Sohle ist bei 34-86192/53-41876 auf 943 mNN ein deutlich ausgeprägter Karsthorizont in einem größeren dolomitisierten Bereich anzutreffen (vgl. Abb. 5-1). Bei 34-86259/53-41459 sind Karströhren zu erkennen, die teilweise mit schluffigem Material verfüllt sind (vgl. Abb. 5-1). Dieser Horizont erstreckt sich von 962 mNN bis 972 mNN und streicht in Richtung 160°. Die Öffnungsweite liegt hier im Dezimeterbereich.

Dieser beginnt unterhalb einer etwa 3 m mächtigen dünn- bis mittelbankig, teilweise blockig ausgeprägten Kalksteinschicht mit laminaren, tonigen Zwischenlagen im Dezimeterbereich. Die stark ausgebildeten Karstschlotte und -röhren nehmen Größenordnungen von bis zu 5 m an und haben sich in diesem Gebiet auf der gesamten Breite entwickelt. Die Öffnungsweiten reichen hier von wenigen Zentimetern bis in den Meterbereich. Die Basis bildet ein dünn- bis mittelbankiger, mergeliger Kalkstein mit laminaren, tonigen Zwischenlagen im Zentimeter- bis Dezimeterbereich.

Abb. 5-1: Karstformen im nördlichen Steinbruch (linkes Bild) und teilweise verfüllte Karströhren (rechtes Bild)

Des Weiteren wurden zahlreiche Vernässungszonen festgestellt. Abb. 3.4-3 zeigt diese an der Ostwand 1 bei 3486202/5341735 auf 945 mNN bis 948 mNN an einem lithologischen Wechsel von reinen Kalksteinen zu Kalkmergeln sowie entlang einer Störung.

Abb. 5-2: Vernässungsbereiche an Schichtflächen sowie entlang einer Störung

Bei der Untersuchung der Kluftsysteme im Steinbruch wurden vier Großkluftsysteme ermittelt, die in Tabelle 5-3 mit den jeweiligen Streichrichtungen zusammengestellt sind.

Tab. 5-2: Großkluftsysteme im Steinbruch

Kluftsystem	Streichen [°]
GK 1	254-305
GK 2	130-176
GK 3	178-217
GK 4	011-046

Die Einfallswinkel der Klüfte schwanken zwischen 50° und 90°. Die Kluftabstände betragen im Mittel 3 bis 6 m, so dass der Grad der Zerklüftung als schwach bis sehr schwach beschrieben werden kann. Die Ausbisslänge der Klüfte kann 40 m und mehr erreichen, so dass die Klüfte zum Teil sohlenübergreifend zu beobachten sind. Hinsichtlich tektonischer Elemente lassen sich aus der geologischen Karte zunächst keine größeren Störungszonen und Verwerfungen am Plettenberg und seinem Umfeld ablesen.

Anhand der Kluftmessungen wurde ein Kluftrosendiagramm erstellt, das die Hauptstreichrichtungen veranschaulicht. In der Abb. 5-3 sind Kluft- und Lineamentrose gegenübergestellt. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass sich die Richtungen der Großklüfte im Wesentlichen mit den durch die Lineament-Analyse herausgearbeiteten Lineamenten decken.

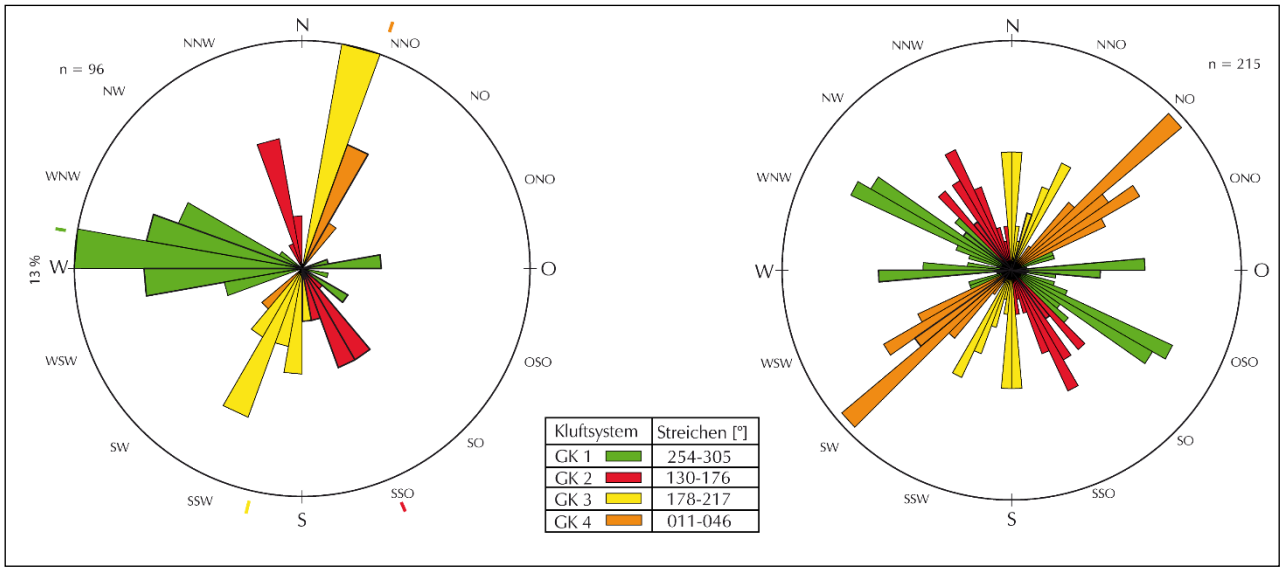

Abb. 5-3: Kluftrose aus dem Steinbruch (links), Lineamentrose (rechts)

Kernbohrungen

Im Zuge der 3 Kernbohrungen, die von Oktober bis Dezember 2015 zur Errichtung der 3 dauerhaften Grundwassermessstellen auf dem Plettenberg abgeteuft wurden, konnten die Lithologie und die Stratigraphie der gesamten Schichtenfolge des Oberen Jura bis in den Mittleren Jura detailliert aufgenommen werden. Die Aufnahme der Kerne hinsichtlich der stratigraphischen Einstufung wurde vom Landesgeologen Dr. Franz im Detail vorgenommen. Von Seiten des hydrogeologischen Gutachters standen vorwiegend die Lithologie und die hydrogeologische Einstufung der Schichten am Plettenberg im Vordergrund. Die Schichtenfolge der 3 Kernbohrungen ist in der Anlage 10 dokumentiert und wird nachfolgend zusammenfassend beschrieben.

Die beiden im Erweiterungsbereich abgeteuften Bohrungen B2015-1 und B2015-2 zeigen die Formation der Wohlgeschichtete Kalke bis etwa 960 mNN. Dieses Höhenniveau kann als Übergang zum Impressamergel ausgemacht werden. Während B2015-2 im Bereich der Wohlgeschichteten Kalkformation massigere Kalksteinschichten aufweist, können bei der B2015-1 vermehrt mittelbankigere Abschnitte mit hohen Anteilen an zwischengelagertem Mergelstein angesprochen werden. Zur Tiefe hin wird der Kalkstein über eine hell-graue bis grau-braune Färbung zunehmend dunkler.
In der Impressamergel-Formation finden sich deutlich vermehrt Zwischenlagen von gelblich-braunem bis dunkelgrauem Mergelstein. In der Bohrung B2015-2 sind diese Wechsellagerungen von Kalkstein, Mergelstein sowie ab ca. 930 mNN auch Tonmergelstein, ausgeprägter als in der B2015-1. Der Übergang zum Ornatenton bzw. zum

Braunen Jura lässt sich ab etwa 910 mNN ausmachen. Darunter herrschen eindeutig Tonsteine vor. In diesem Bereich sind auch deutlich weniger Klüfte vorhanden. Die auf der untersten Steinbruchsohle niedergebrachten Bohrung B2015-3 beginnt in der Impressamergel-Formation und zeigt einen ähnlichen Aufbau zur Tiefe hin. Durch die Endteufe von 894,80 mNN konnte der Ornatenoolith erbohrt werden.

In den beiden Bohrungen im Erweiterungsbereich lassen sich in den oberen 20 m vereinzelt, mit der Tiefe auch verstärkt Karst-Formen feststellen. Insbesondere in der westlichen B2015-1 zeigen sich Lösungserscheinungen unterhalb von 958 mNN. Sandige, z.T. kiesige Füllungen deuten hier auf höhere Wasserwegsamkeiten hin. Das konnte aber durch einen Kurzpumpversuch in der Grundwassermessstelle nicht bestätigt werden, der einen kf-Wert $< 1 * 10^{-6}$ m/s erbrachte.

6 Hydrogeologie und Quellen

6.1 Hydrogeologische Eigenschaften der Gesteine auf dem Plettenberg

Die auf dem Plettenberg anstehenden Gesteinsschichten werden im Folgenden hydrogeologisch beschrieben und eingestuft (s. Tab. 5-1).

Wohlgeschichtete Kalke

Die zuoberst auf dem gesamten Plettenberg anstehenden Wohlgeschichteten Kalke bilden die steilen Böschungen und Felspartien und reichen mit der Basis bis etwa 955 mNN. Diese Formation ist als geklüfteter Kalkstein, der zum Teil verkarstet ist, generell als Grundwasserleiter mit zumeist sehr hoher Durchlässigkeit einzustufen (Plum et al. 2008). Der maximale Grundwasserspiegel auf dem Plettenberg liegt aber deutlich unterhalb von 950 mNN und damit unterhalb der Liegendgrenze dieser Schichtfolge. Die Schichtfolge „Wohlgeschichtete Kalke“ ist damit auf dem Plettenberg als generell gut durchlässige Deckschicht über dem Grundwasser und nicht als Grundwasserleiter einzustufen. Der Kluftraum der Wohlgeschichteten Kalke wird in seiner gesamten Mächtigkeit durchsickert. Der Vorgang der Versickerung erfolgt nach Niederschlägen und im Zuge der Grundwasserneubildung, in Trockenphasen ist der Kluftraum in den Wohlgeschichteten Kalken frei von Wasser. Die Wohlgeschichteten Kalke sind daher nicht Teil des Grundwasserkörpers. Der Grundwasserkörper, d.h. der Kluftraum (Summe der Hohläume), der zusammenhängend mit Grundwasser gefüllt ist, steht erst unterhalb im Impressamergel an.

Impressamergel

Der Impressamergel mit der Wechselfolge von Tonstein und Mergelstein mit eingeschalteten Kalksteinbänken steht auf dem Plettenberg zwischen etwa 955 mNN und 910 mNN in einer Mächtigkeit von 45 m an. Der Impressamergel ist als Grundwassergeringleiter einzustufen (Plum et al. 2008). Hydrogeologisch lässt sich der Impressamergel am Standort wie folgt unterteilen.

Der **obere Teil des Impressa-Mergels**, der mit etwa 20 bis 25 m Mächtigkeit bis etwa 930 bis 935 mNN reicht, ist durch eine Wechselfolge von Mergelsteinen und eingeschalteten Kalksteinbänken geprägt, von denen die Kalksteinschichten zumindest eine begrenzte Grundwasserführung zeigen. Die vertikale Durchströmung ist durch die Mergellagen aber erheblich eingeschränkt. Insgesamt besteht im oberen Teil der Impressamergel-Formation eine geringe Wasserführung, so dass hier insgesamt eine Ein-

stufung als Grundwassergeringleiter erfolgt, was durch die hydraulischen Versuche auch bestätigt wird. Der Impressa-Mergel ist erst unterhalb etwa 935 bis 940 mNN zusammenhängend mit Grundwasser gefüllt und somit als Grundwasserkörper wirksam. Der Abschnitt des Impressa-Mergels darüber zählt noch zum Sickerraum oder der Deckschicht über dem Grundwasser.

Der **untere Teil des Impressa-Mergels,** der zur Tiefe hin zunehmend durch Mergel-Bänke und nur wenige Kalksteinbänke geprägt ist, ist im Höhenbereich von etwa 930 bis 910 mNN ebenfalls als Grundwassergeringleiter einzustufen. Die Kalksteinbänke, die eine geringe Wasserführung aufweisen können, nehmen zur Tiefe hin an Häufigkeit und Mächtigkeit sehr deutlich ab. Die vertikale Durchströmung ist noch stärker als in den oberen Schichten eingeschränkt. Insgesamt besteht hier nur eine sehr geringe Wasserführung, die sich auf die geringmächtigen Kalksteinbänke konzentriert. Der untere Teil des Impressamergels wirkt geohydraulisch bereits überwiegend, insbesondere im zentralen Bereich des Plettenberges außerhalb der entlasteten und stärker verwitterten böschungsnahen Abschnitte, als Stauer.

Ornaten-Ton

Unter dem Impressamergel und unterhalb von 908 bis 910 mNN stehen die Tonsteine und Tonmergel des Mittleren Jura an, zuoberst der Ornaten-Ton. Der überwiegend tonige Dogger ist mehr als 100 m mächtig. Diese Schichtenfolge ist generell als Grundwasserstauer hydrogeologisch wirksam. Der Ornatenton mit mächtigen Tonsteinen ist somit als hydraulisch wirksame Basisschicht der grundwasserführenden und insgesamt eher gering bis sehr durchlässigen Schichten darüber einzustufen. An der Schichtfläche zwischen dem Ornatenton und dem Impressamergel orientieren sich am Plettenberg die höchstgelegenen Quellaustritte (Kap. 6.3).

Hangschuttbereiche

Unterhalb der Steilhänge, die durch die Wohlgeschichteten Kalke und den Impressamergel aufgebaut sind, erstrecken sich am Hang des Plettenbergs Hangschuttkörper und Rutschungsmassen, die dem Tonstein des Ornatentons und den darunter anstehenden ebenfalls tonigen Schichten des mittleren Jura aufliegen. Diese sind im Zuge der früheren Rutschungen auch mit Ton- und Tonstein des mittleren Jura durchsetzt. Aufgrund der in den Hangschuttkörpern enthaltenen Kalksteine und Mergelsteine aus dem oberen Jura sind diesem lokal auch grundwasserleitende Eigenschaften zuzuschreiben. In den Rutschkörpern zirkuliert Grundwasser, dass durch Niederschläge direkt in den Rutschmassen versickert oder von oberhalb aus dem Festgesteinsbereich der Steilwände (Impressamergel) zufließt (s. Profile Anlage 7). Die Grundwassereigen-

schaften der Hangschuttkörper lassen sich indirekt aus dem Schüttungsverhalten der Quellen und Beobachtungen bei den hydrogeologischen Kartierungen, z.B. auf Quell- und Vernässungsbereiche, herleiten. Grundwassermessstellen existieren hier nicht. Die Durchlässigkeit im Hangschutt ist lokal häufig besser als im grundwasserführenden Impressamergel. Tonige Einschaltungen in den Hangschutt bedingen das zu Tage treten des Grundwassers in den zahlreichen Quellen.

Hydrogeologische Kennwerte

Zur Ermittlung der hydrogeologischen Kennwerte und zur Einstufung der auf dem Plettenberg anstehenden Gesteinsfolgen wurden Auffüllversuche und Kurz-Pumpversuche an den Grundwassermessstellen durchgeführt.

Durch die hydraulischen Versuche konnten die bestehenden grundwassererfüllten Abschnitte innerhalb des Impressa-Mergels und bei den Auffüllversuchen auch 5 bis 10 Meter darüber untersucht werden. Höhere Abschnitte sind grundwasserfrei, tiefere Abschnitte, wie die mittleren und unteren Lagen des Impressamergels sind als Grundwassergeringleiter ebenso wie der Ornatenton als Grundwasserstauer wirksam.

Die Auffüllversuche und Kurz-Pumpversuche die an den temporären und den 3 dauerhaften Grundwassermessstellen durchgeführt wurden, erbrachten für das Kluftgrundwasser im Impressamergel folgende Kennwerte:

Transmissivität: $T = 3 – 9 * 10^{-6}$ m²/s,
Durchlässigkeitsbeiwert: $kf = 2 – 8 * 10^{-7}$ m/s.

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

Oberflächennah sind im Kalkstein und im Kalkmergelstein durch die Verwitterung und die tektonische Entspannung die Öffnungsweiten der Klüfte und Schichtflächen etwas größer als im unverwitterten Gestein in tieferen Bereichen. Damit verbunden ist eine etwas höhere Durchlässigkeit. Dieser etwas stärker wasserwegsame Bereich reicht bis etwa 20 bis 30 m tief unter die Geländeoberkante der Plettenberg-Hochfläche und betrifft auch die Steilhänge und Felsböschungen. Das Regenwasser kann in diesen Berei-

chen gut versickern. Mit zunehmender Tiefe im ungesättigten Bereich kommt es bei geringerer Öffnungsweite der Trennflächen und tonigen und mergeligen Schichten, die stauend wirken, zu einer Verlangsamung und seitlichen Ablenkung des Sickerwassers im ungesättigten und auch des Grundwassers im gesättigten Bereich.

6.2 Grundwasserstände

In den Grundwassermessstellen wurde regelmäßig der Grundwasserstand mittels Lichtlot gemessen. Außerdem wurden in 3 der temporären Grundwassermessstellen im Juni 2015 Drucksonden mit automatisch aufzeichnenden Datenloggern eingebaut, die eine kontinuierliche Aufzeichnung der Wasserstände erlauben (1-Stunden-Turnus). Es handelt sich um die Messstellen Gwm01, Gwm02 und Gwm03, die auf einem Ost-West-Profil im bestehenden Steinbruch angeordnet sind. Am 16.12.2015 und am 24.2.2016 wurden weitere Datenlogger in die fertiggestellten Grundwassermessstellen B2015-1 und B2015-2 im Bereich der geplanten Erweiterungfläche im Süden der Plettenberg-Hochfläche eingebaut. Ein weiterer Datenlogger wurde im Mai 2017 in der Gwm09 im nördlichen Teil des bestehenden Abbaus in Betrieb genommen.

Die Grundwasserstandsganglinien dieser 6 Messstellen sind für den Aufzeichnungszeitraum ab Juni 2015 in der Abb. 6-1 dargestellt. Die Messungen erfassen die natürlichen Grundwasserstandsschwankungen. Die Ganglinien zeigen die Grundwasserstands-Dynamik im bestehenden Steinbruch und im Erweiterungsgebiet Süd und decken sowohl sommerliche Trockenperioden mit generell niedrigen Grundwasserständen (bis Mitte Dezember 2015, Juli bis Oktober 2016, Januar, Mai, Juli, August 2017) als auch niederschlagsreiche Perioden zumeist im Winter und Frühjahr mit generell hohen Grundwasserständen ab (Januar und Februar sowie April bis Juni 2016, November 2016, Februar, März und Mai 2017).

Die Grundwasserstände im zentralen Bereich des Steinbruches schwanken im Untersuchungszeitraum zwischen etwa 938 bis 941 mNN (Gwm02 und Gwm03). Am äußerst östlichen Steinbruchrand, nur etwa 25 m von der Böschungskante des Plettenbergs entfernt, liegt die Gwm01. Diese zeigt einen niedrigeren Grundwasserstand von etwa 931-933 mNN während der Trockenphasen. Dort ist das Festgestein in der Nähe der Felsböschung wie beschrieben etwas stärker durchlässig. Der gemessene Wasserstand steigt dort nach sehr starken Niederschlägen, wie Ende Juli 2015 oder im April und Mai 2016, temporär auf knapp 940 mNN an und sinkt bei ausbleibenden Nieder-

schlägen aufgrund der höheren Durchlässigkeit sehr schnell wieder ab. Während der winterlichen Niederschläge und der damit einsetzenden stärkeren Grundwasserneubildung steigt hier die Grundwasseroberfläche zunächst nicht über 934 mNN an. Erst die längeren und ergiebigen Niederschläge ab Mitte Mai 2016 führen auch hier zu einem über mehrere Wochen anhaltenden Grundwasseranstieg bis etwa 940 mNN. Die Messstellen im zentralen Bereich des Steinbruches sinken auch im Sommer nach längeren Trockenperioden nicht tiefer als etwa 938 mNN ab. Das unterstreicht die kompakte Struktur, die sehr geringe Durchlässigkeit und die stauende Wirkung der Gesteine des unteren Abschnitts der Impressamergel im zentralen Bereich des Plettenbergs.

Die im Jahresverlauf auftretenden, zumeist nur geringen Wasserstandsschwankungen im Steinbruch weisen auf die insgesamt nur geringe Grundwasserbewegung innerhalb der geklüfteten Mergel der Impressamergel-Folge hin.

Im Steinbruch Plettenberg erfolgt der Gesteinsabbau oberhalb der Grundwasseroberfläche. Dabei tritt bei witterungsbedingt hohen Grundwasserständen ein geringer Abstand von temporär weniger als 1 m zwischen der Abbausohle und dem höchsten Grundwasserstand auf. Eine Gefährdung durch die Betriebstätigkeiten, insbesondere durch Schadstoffeinträge aus dem Steinbruch in das Grundwasser und von dort in die genutzten und ungenutzten Quellen, besteht nicht. Wie die Grundwasserstandsmessungen zeigen, fließt das Grundwasser unterhalb der unteren Abbausohle im Steinbruch generell in Richtung des Osthanges des Plettenberges und den dortigen Quellgebieten ab. In diesem Abstrombereich befinden sich keine für die Trinkwassergewinnung genutzten Quellen. Die durchgeführten chemischen Untersuchungen der Quellen am Plettenberg und des Grundwassers im Abbaubereich zeigen keine Hinweise auf Schadstoffe.

Im Erweiterungsgebiet-Süd liegt die Grundwasseroberfläche etwa auf dem gleichen Höhenniveau wie im Steinbruch. Das zeigt der Vergleich der Grundwasserstände im Steinbruch mit den Messdaten der neuen Grundwassermessstellen B2015-1 und B2015-2, die seit Ende November 2015 fertiggestellt sind (Abb. 6-1). Die Grundwassermessstelle B2015-2 am Südrand des Erweiterungsgebietes und die Grundwassermessstelle B2015-1 am Westrand des Erweiterungsgebietes zeigen Grundwasserstände, die generell zwischen etwa 928 und 940 mNN schwanken. Nach stärkeren Niederschlägen im Januar, Februar und März 2016 werden kurzzeitig Wasserstände bis etwa 943 mNN in den Grundwassermessstellen gemessen. Während Phasen mit sehr starken Niederschlägen, wie von April bis Juni 2016, werden dann kurzzeitig auch Wasser-

stände von etwas über 944 mNN in B2015-2 und etwas über 946 mNN in B2015-1 gemessen. Der Wasserspiegel in den Messstellen steigt dabei in wenigen Stunden um mehrere Meter an und sinkt nach wenigen Tagen fast ebenso deutlich wieder ab. Diese kurzzeitigen „Peaks“ des Wasserspiegels als Reaktion auf die versickernden Niederschläge sind in erster Linie eine Reaktion auf das Sickerwasser, das zunächst nur die größeren Klüfte auffüllt bevor sich das Wasser auch über das feinere Kluftnetz verteilen kann.

Die kurzzeitigen „Peaks“ des Wasserstandes repräsentieren daher nicht eine durchgehende Grundwasseroberfläche. Es zeigt sich die Reaktion insbesondere der größeren Klüfte auf das primäre Auffüllen durch das versickernde Niederschlagswasser (s. Kap. 9.1). Eine durchgehende Grundwasseroberfläche im Impressamergel oberhalb des die Hohlräume (Klüfte) zusammenhängend ausfüllenden Grundwassers wird durch diese gemessenen „Peaks“ nicht wiedergegeben. Wenn sich das versickernde Regenwasser nach wenigen Tagen auf den gesamten Kluftraum und damit auch die kleineren Klüfte verteilt hat, kann von einer Grundwasseroberfläche und einem Grundwasserstand im hydrogeologischen Sinne gesprochen werden.

Außerdem zeigt sich bei niedrigen Grundwasserständen an den Ganglinien der Messstellen B2015-2 und B2015-1, dass bei Erreichen eines Basis-Wasserstandes nur ein sehr geringes weiteres Absinken des Wasserstandes erfolgt. Das zeigt, dass dort die Basis der grundwasserleitenden Schichten erreicht ist und die Grundwasserbewegung nur noch sehr gering ist, sowohl betreffend die weitere horizontale Fließbewegung als auch die vertikale Fließ-Komponente. Bei der B2015-2 liegt die Basis des aktiven Grundwasserbereiches bei etwa 935 mNN bis 938 mNN.Bei B2015-1 liegt die Basis mit etwa 928 bis 930 mNN noch tiefer. Die Grundwasserstände während der sommerlichen Trockenphase zwischen Mitte Juli und Mitte Oktober 2016 liegen dort mit sehr geringen niederschlagsbedingten Schwankungen bei etwa 929 bis 930 mNN. In den Trockenphasen 2017. Im Abbaubereich im zentralen Teil des Plettenbergs liegt die Basis der grundwasserleitenden Schichten höher bei etwa 939 mNN (GWM02, GWM03, Abb. 6-1). Im Profil auf Anlage 7-2 sind die aktiven Grundwasserbereiche innerhalb des Impressa-Mergels dargestellt.

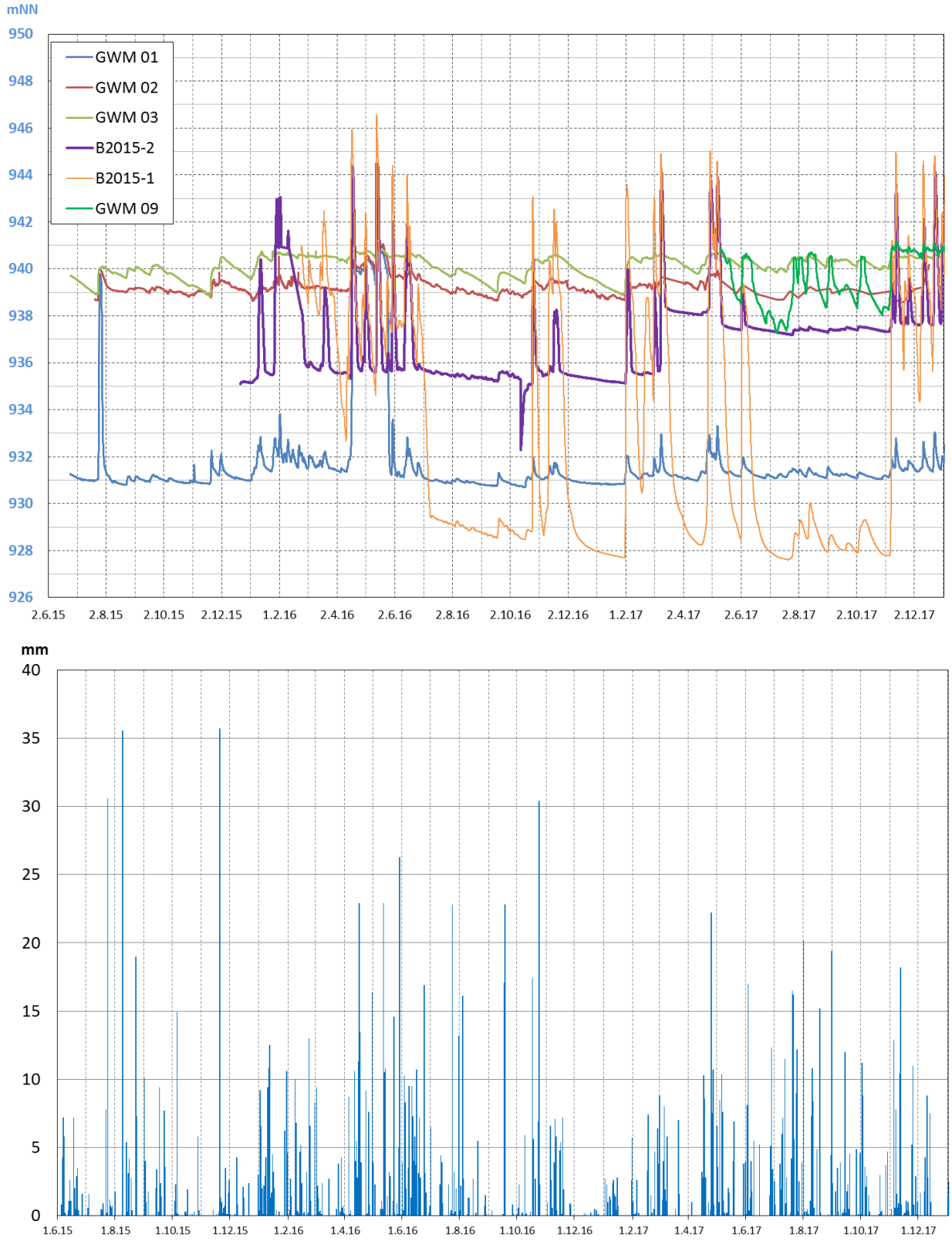

Abb. 6-1: Gang der Grundwasserstände auf dem Plettenberg und der Niederschlags-tagessummen (Station Balingen)

An der B2015-3 wurden nur Einzelmessungen durchgeführt, da der Datenlogger in Gwm03 auch den Grundwasserstand dieser in der Nähe gelegenen Messstelle etwa wiedergibt. Die kontinuierlichen Grundwasserstandsmessungen werden fortgesetzt. In der Ganglinie der B2015-2 ist im Oktober 2016 eine deutliche Grundwasserabsenkung erkennbar, die durch eine Pumpe zur Wasserprobenahme verursacht wurde. Der Wiederanstieg der Grundwasseroberfläche nach dem Abpumpen nimmt etwa 4 Tage in Anspruch, was die geringe Durchlässigkeit und die nur mäßige Grundwasserbewegung innerhalb des Impressamergels als geklüftetem Grundwassergeringleiter unterstreicht.

6.3 Quellen am Hang des Plettenbergs

6.3.1 Allgemeines

Das auf dem Plettenberg versickernde Niederschlagswasser passiert über das Kluftnetz die gesamte Mächtigkeit der Wohlgeschichteten Kalke und trifft in den darunter anstehenden Schichten des Impressamergels nach wenigen 10er Metern auf dort stauend wirkende Mergelschichten und darunter letztlich auf die stauenden Schichten des Ornatentons so dass das Wasser im ungesättigten Bereich sowie das Grundwasser des gesättigten Bereichs zur Seite in Richtung der Plettenbergböschung abgelenkt wird. Dort tritt das Grundwasser in mehr als 20 Quellen und Quellbereichen am Hang des Plettenberges zu Tage und kann in seiner Menge und Beschaffenheit erfasst werden. Der im Steinbruch abgebaute und im Erweiterungsgebiet zum Abbau vorgesehene Kalksteinkörper besitzt keine grundwasserspeichernde Wirkung, sondern wird nur durchsickert. Der Abbaubereich ist ein Teil der Deckschicht <u>über</u> dem Grundwasser. Der Grundwasserkörper und damit der Raum des Grundwasserspeichers liegt unterhalb des Abbaubereiches. Bei den am Plettenberg in Höhenlagen zwischen etwa 870 und 910 mNN auftretenden Quellen werden folgende Quell-Arten unterschieden, wobei zum Teil Überschneidungen auftreten:

- Gefasste Quellen, die überwiegend zur Trinkwassergewinnung genutzt werden,
- Quellen, die ein Fließgewässer speisen,
- Vernässungszonen und größerflächige Quellaustritts-Bereiche mit einzelnen zumeist temporär schüttenden kleineren Quellen,
- Kalktuff-Quellen, die als Biotope Schutzstatus genießen und ebenfalls eine geringe, aber relativ kontinuierliche Schüttung aufweisen.

Die Anlage 2 zeigt die Lage aller Quellen am Plettenberg, die im Zuge der hydrogeologischen Untersuchungen erfasst, kartiert und beschrieben wurden. Die Quellen gruppie-

ren sich in mehreren Bereichen und werden entsprechend ihrer geographischen Lage folgenden lokalen Quell-Gruppen zugeordnet:

- Quellgruppe Nord: 10 Quellen des Wasserwerks Dotternhausen
- Quellgruppe-West: 4 Quellen des Wasserwerks Dormettingen und weitere ungefasste Quellen
- Quellgruppe Süd: 2 Quellen des Wasserwerks Ratshausen
- Quellgruppe Süd-Ost: 3 Quellen des ehemaligen Wasserwerks Hausen am Tann und weitere ungefasste Quellen
- Quellgruppe Ost: Quellgebiet Waldhausbach

Im Folgenden werden die hydrogeologischen Verhältnisse der einzelnen Quell-Arten und Quell-Gruppen beschrieben. Anschließend erfolgt eine zusammenfassende hydrogeologische Bewertung aller Quellen und Gesamt-Auswertung der Quellschüttungen. Die kontinuierlichen Schüttungsmessungen der Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen von 2000 bis 2015 liefern dabei hydrologische Kenndaten, die aufgrund der vergleichbaren hydrogeologischen Verhältnisse auf alle Quellen am Plettenberg übertragbar sind (Kap. 6.3.2). Die Beschaffenheit der Quellwässer ist Thema in Kap. 6.5. Auf den Wasserhaushalt der Quellen und des Grundwassers und die Frage der Einzugsgebiete wird in Kap. 6.6 eingegangen.

Tab. 6-1: Mess-Daten der gefassten Quellen im Zeitraum Mai 2015 bis Dezember 2015

Name/Bezeichnung	Höhe	Höchster Abfluss HQ 2015	Niedrigster Abfluss NQ 2015	Anzahl Messungen 2015	Quellgruppe	Nutzung
	[mNN]	[l/s]	[l/s]	[-]		
Kalte-Brünnle-Quelle	871,1	3,0	0,05	7	West	Wwk Dormettingen
Weiherle-Quelle	874,0	1,2	0,05	7		
Tauchbrünnle-Quelle	874,0	1,6	0,04	7		
Hang-Quelle	897,3	1,0	0,07	7		
Eisenbrunnenquelle I	895,0	0,6	0,23	3	Nord (nordöstlicher Teil)	Wwk Dotternhausen
Eisenbrunnenquelle II	889,0	3,0	0,13	3		
Eisenbrunnenquelle III	896,0	1,5	0,00	3		
Sandbrunnenquelle I	908,0	0,1	0,03	3	Nord (nordwestlicher Teil)	Wwk Dotternhausen
Sandbrunnenquelle II	886,0	0,1	0,002	3		
Sandbrunnenquelle III	882,0	0,1	0,02	3		
Steinige-Weg-Quelle I	875,0	1,3	0,38	3		
Steinige-Weg-Quelle II	863,0	0,6	0,08	3		
Reuteweg-Quelle	846,0	0,1	0,002	3		

Rote-Lache-Quelle	836,0	0,3	0,03	3		
Plettenhalde-Quelle	885,0	1,0	0,53	5	Südost	Ehem. Wwk Hausen am Tann
Stelle-Quelle	818,0	1,1	0,05	5		
Zimmerwald-Quelle	779,0	5,0	0,36	5		
Plettenberg-Quelle (oberer Schacht)	866,0	7,0 [1]	0,18 [1]	10	Süd	Wwk Rats-hausen
Plettenberg-Quelle (unterer Schacht)	832,0					

Erläuterung:
[1] Summe beider Plettenberg-Quellen

Die Tab. 6-1 fasst die Abfluss-Messungen an den gefassten und genutzten Quellen im Untersuchungszeitraum von Mai 2015 bis Dezember 2015 tabellarisch zusammen und stellt zu jeder Quelle für diesen Zeitraum den höchsten und niedrigsten gemessenen Abfluss dar. Auf die ungefassten Quellen wird in den Kapiteln zu den einzelnen Quellgruppen eingegangen.

6.3.2 Quellgruppe Nord – Wasserwerk Dotternhausen

Am Nordhang des Plettenbergs treten insgesamt 10 gefasste Quellen auf. Diese sind über Leitungen verbunden, so dass das den Quellen zufließende Grundwasser bis in das Wasserwerk Dotternhausen abgeleitet wird. In Anlage 2 sind ebenso die Leitungssysteme, welche die Quellfassungen z.T. miteinander verbinden bzw. in die hangabwärts befindliche Fassung und letztendlich in einen Hochbehälter münden, dargestellt.

Tab. 6-2: Schüttung und Kenndaten der Quellen der Quellgruppe-Nord – Dotternhausen

Gefasste Quelle	**Rechtswert Hochwert**	**Höhe**	**Schüttung**	
			21.5.2015	22.7.2015
		mNN	l/s	l/s
Eisenbrunnen-quelle I	34-86.478 53-42.354	895,0	0,58	0,23
Eisenbrunnen-quelle II	34-86.459 53-42.442	889,0	0,35	0,13
Eisenbrunnen-quelle III	34-86387 53-42488	896,0	0,06	0,00
Sandbrunnen-quelle I	34-86164 53-42386	908,0	0,05	0,03
Sandbrunnen-quelle II	34-86096 53-42349	886,0	-	0,002
Sandbrunnen-quelle III	34-86059 53-42338	882,0	0,11	0,02
Steinige-Weg-Quelle I	34-85882 53-42224	875,0	1,27	0,38
Steinige-Weg-	34-85892	863,0	0,57	0,08

Quelle II	53-42270			
Reuteweg-Quelle	34-85890 53-42322	846,0	0,15	0,002
Rote-Lache-Quelle	34-85802 53-42330	836,0	0,30	0,03

Im Wasserwerk befindet sich eine Wasseruhr, die die Gesamtschüttung der Quellen kontinuierlich erfasst. Von Seiten der Gemeinde Dotternhausen wurden freundlicherweise die Tageswerte der Wassermengen-Messungen zur Verfügung gestellt, so dass die Jahre 2000 bis 2015 lückenlos ausgewertet werden konnten. Diese Abflussmessdaten und die daraus abgeleiteten hydrologischen Kennwerte dienen aufgrund der vergleichbaren hydrogeologischen Randbedingungen auch als Vergleichsdaten für die Auswertung der Schüttungsmengen aller übrigen Quellen am Plettenberg betreffend der Kennwerte für längere Zeiträume und die Wasserbilanz-Berechnungen in Kap. 6.6.

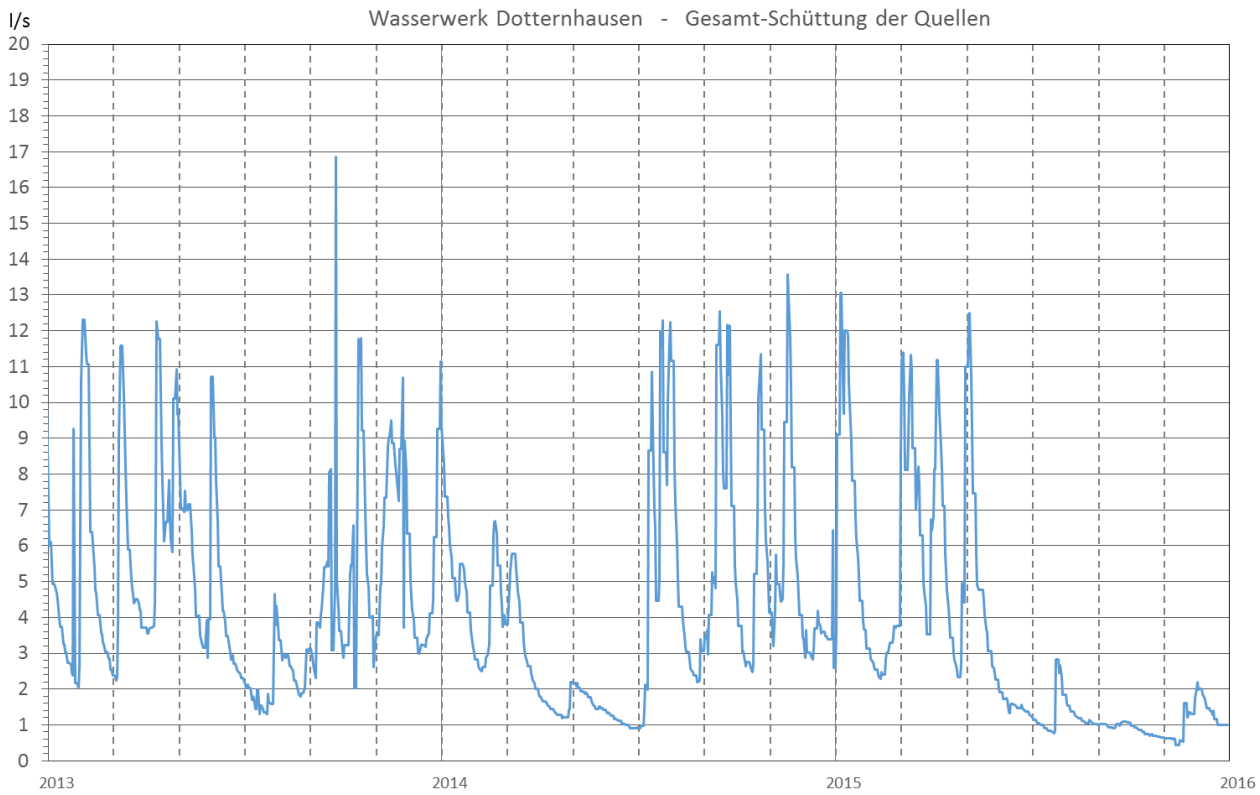

Abb. 6-2: Quellschüttung der im Wasserwerk Dotternhausen gefassten 10 Quellen des Quellgebietes Nord für den Zeitraum 2013 bis 2015

Die Abb. 6-2 zeigt eine Ganglinie der Quellschüttungen für den Zeitraum 2013 bis 2015. Auffällig sind die sehr starken Schüttungsschwankungen im Jahresverlauf. Das Minimum liegt bei weniger als 1 l/s in Summe für alle 10 Quellen. Kurzzeitig kann die Schüt-

tung auf mehr als 15 l/s im Tagesmittel ansteigen. Für einige Stunden innerhalb eines Tages sind auch höhere Schüttungen von mehr als 20 l/s möglich.

Die Ganglinie der Gesamtschüttung aller 10 Quellen im Zeitraum 2000 bis 2015 ist auf der Abb. 6-3 und der Abb. 6-4 dargestellt. Die aufgezeichneten Schüttungsmengen der 10 Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen und die daraus abgeleiteten hydrologischen Kennwerte sind in der Tab. 6-3 für die Jahre 2000 bis 2015 ausgewertet. Der Mittelwert der Schüttung aller Quellen in Summe im Zeitraum 2000 – 2015 liegt bei MQ = 4,6 l/s (147.739 m³/Jahr). Die Schüttungen schwanken insgesamt zwischen 0,43 l/s und 22,2 l/s. Die jährliche Schüttungsmenge schwankt zwischen 83.500 m³ im Jahr 2003 und 222.250 m³ im Jahr 2002. Das Jahr 2002 war im Zeitraum 2000 bis 2015 das mit Abstand niederschlagsreichste Jahr mit entsprechend hohen Abflüssen. Das Jahr 2003 gilt in der Region als langjähriges „Trockenjahr“ mit sehr geringen Niederschlagssummen und entsprechend geringen Abflüssen und Quellschüttungen. Das vergangene Jahr 2015 kommt dem Jahr 2003 sehr nahe und kann auch als sehr trockenes Jahr eingestuft werden. Der Niedrigwasserabfluss im Jahr 2015 war aufgrund der langen Trockenperiode im Herbst sogar mit 0,43 l/s der geringste der vergangenen 16 Jahre.

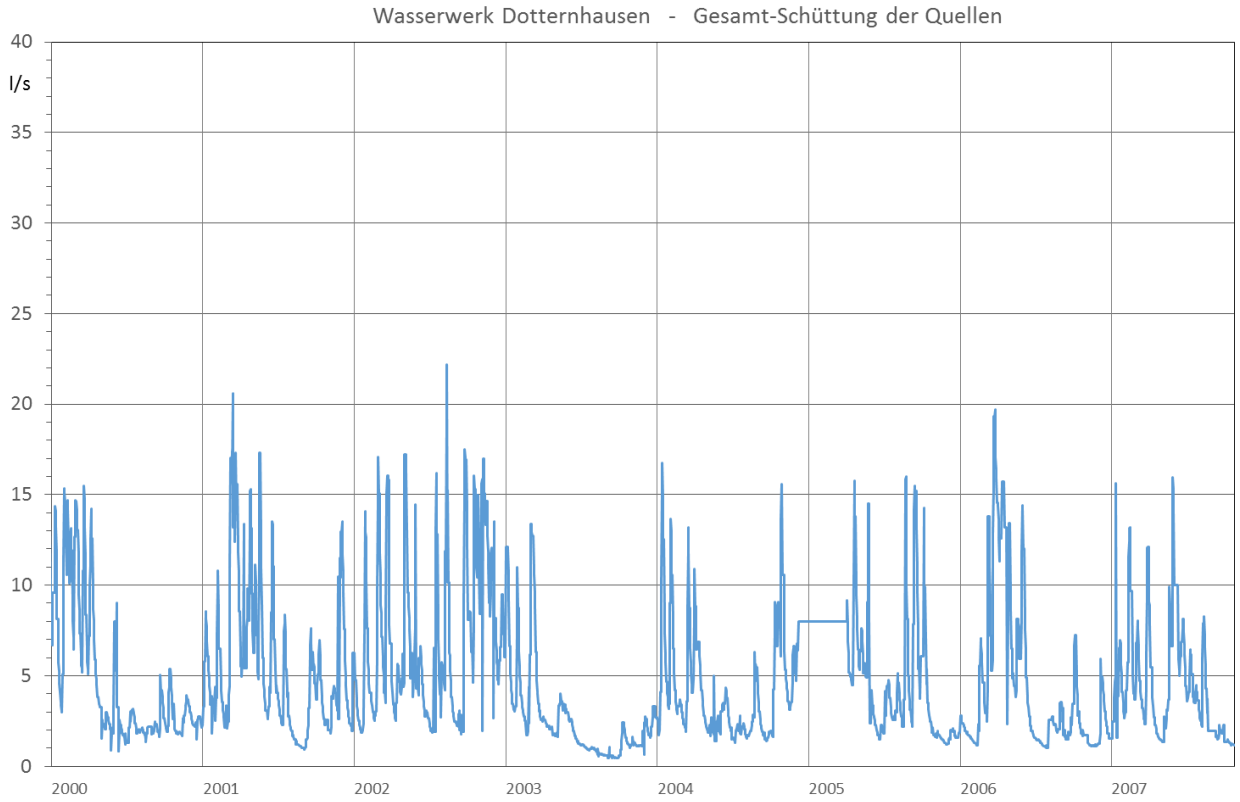

Abb. 6-3: Ganglinie der Gesamt-Schüttung der im Wasserwerk Dotternhausen gefassten 10 Quellen des Quellgebietes Nord von 2000 bis 2007

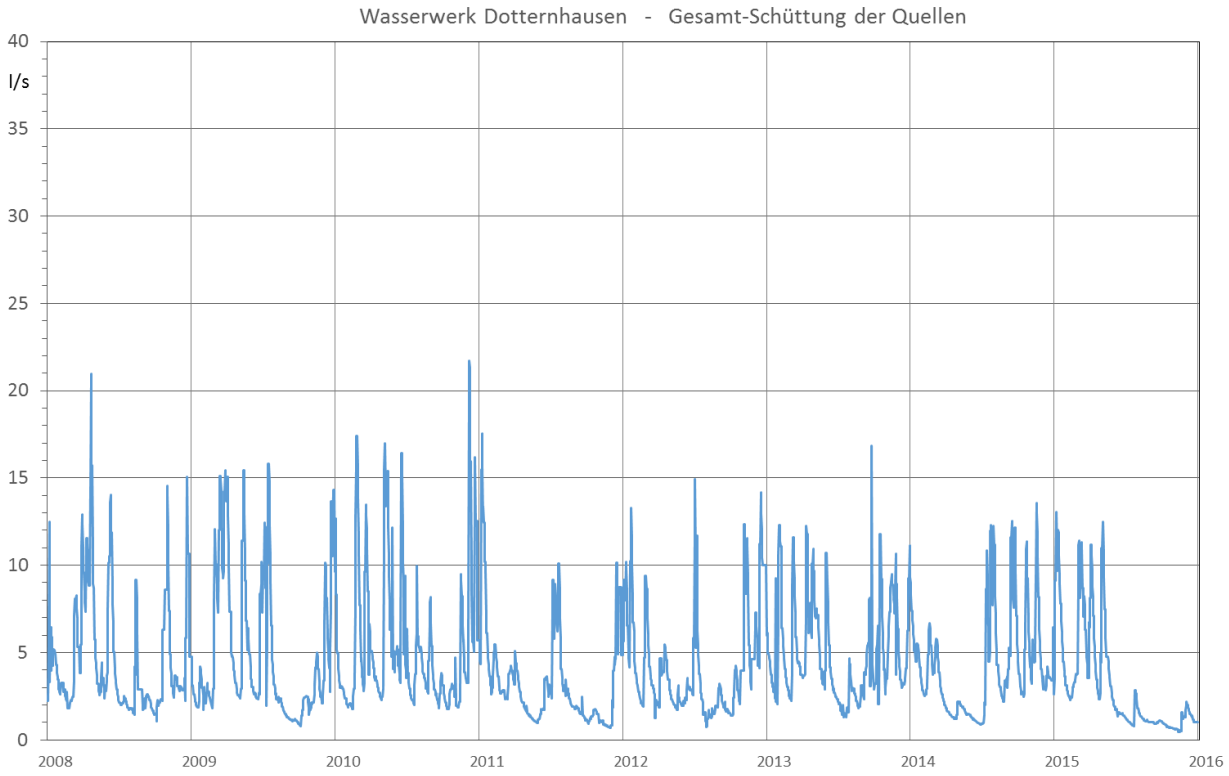

Abb. 6-4: Ganglinie der Gesamt-Schüttung der im Wasserwerk Dotternhausen gefassten 10 Quellen des Quellgebietes Nord von 2008 bis 2015

Die im Wasserwerk Dotternhausen gefassten 10 Quellen am Nordhang des Plettenberges, die insgesamt ein Einzugsgebiet von etwa 0,24 km² aufweisen, weist für den Zeitraum 2000 bis 2015 folgende hydrologischen Kenndaten, basierend auf Tagesmittelwerten der Quellschüttung, auf:

- Höchster Abfluss HQ = 22,19 l/s (13.8.2002)
- Mittlerer Hochwasserabfluss MHQ = 17,2 l/s
- Mittlerer Abfluss MQ = 4,62 l/s
- Mittlerer Niedrigwasserabfluss MNQ = 1,00 l/s
- Niedrigster Abfluss NQ = 0,43 l/s (16.11.2015)

Tab. 6-3: Schüttungsmengen und hydrologische Kennwerte der 10 gefassten Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen am Nordhang des Plettenberges von 2000 bis 2015 nach Aufzeichnungen der Wasseruhr (Tageswerte)

Jahr	Schüttungsmenge	Höchster Abfluss	Mittlerer Abfluss	Niedrigster Abfluss	Mittlere Abfluss-Spende [1]
		HQ	MQ	NQ	Mq
	m³/a	l/s	l/s	l/s	l/skm²
2000	148.443	15,5	4,71	0,83	19,6
2001	173.307	20,6	5,53	0,94	22,9
2002	222.250	22,2	7,02	1,78	29,4
2003	83.500	13,4	2,64	0,45	11,0
2004	137.100	16,8	4,50	1,27	18,1
2005	175.000	16,0	5,37	1,19	23,1
2006	138.300	19,7	4,38	1,00	18,3
2007	147.550	15,9	4,69	0,93	19,5
2008	148.950	21,0	4,71	1,08	19,7
2009	155.100	15,8	4,96	0,78	20,5
2010	172.700	21,7	5,47	1,75	22,8
2011	105.200	17,5	3,36	0,67	13,9
2012	133.700	14,9	4,18	0,72	17,7
2013	155.929	16,8	4,96	1,30	20,6
2014	133.007	13,6	4,20	0,90	17,6
2015	101.787	13,1	3,13	0,43	13,4
2000-2015	**145.739**	**17,2**	**4,62**	**1,00**	**19,3**

Erläuterung:
[1] Einzugsgebietsgröße aller Quellen = 0,24 km²

Die **mittlere Abflussspende**, die sich aus der Quellschüttung aller 10 Quellen für den Zeitraum 2000 bis 2015 ergibt, beträgt Mq = 19,3 l/skm², bei einer Höhenlage der Einzugsgebiete von etwa 850 bis 1.000 mNN. Dieser Wert passt gut zu den Wasserhaushaltsdaten des Landes Baden-Württemberg. Für die Einzugsgebiete der Fließgewässer im Umfeld des Plettenbergs mit einer Höhenlage der Einzugsgebiete von etwa 650 bis 1.000 mNN werden mittlere Abflussspenden von 12 bis 14 l/skm² angeben. Aufgrund der Höhenlage der Quelleinzugsgebiete oben am Plettenberg und der dort größeren Niederschlagsmenge ist eine mittlere Abflussspende der Quellen mit etwa 19,3 l/skm² plausibel. Dieser Wert für die mittlere Abflussspende kann mit hinreichender Genauigkeit auf die übrigen Quellen mit etwa gleicher Höhenlage am Plettenberg, von denen

keine langjährigen Aufzeichnungen der Schüttungsmengen vorliegen, übertragen werden.

Die **Schüttungsschwankungen** der Quellen sind sehr hoch, was auf das relativ geringe Speichervermögen der nur gering durchlässigen Gesteine im Einzugsgebiet hinweist. Der **mittlere Niedrigwasserabfluss** im Zeitraum 2000 bis 2015 beträgt MNQ = 1,00 l/s. Bei einem Einzugsgebiet von insgesamt 0,24 km² ergibt das eine mittlere Niedrigwasserabflussspende von MNq = 4,2 l/skm². Der niedrigste Abfluss wurde im Jahr 2015 am 16.11. mit Q = 0,43 l/s gemessen, was einer Abflussspende von etwa 1,8 l/skm² entspricht.

Zu berücksichtigen ist bei den Messwerten im Wasserwerk Dotternhausen, dass bei sehr hohen Abflüssen ein Teil des den Quellfassungen zufließenden Wassers über die Überläufe an den Quellfassungen direkt abgeleitet wird, wenn das Fassungsvermögen der Leitungen überschritten wird. Daher sind die aus den Messdaten abgeleiteten Kennwerte zum Hochwasserabfluss niedriger als die tatsächlichen Werte. Auf die Hochwasserkennwerte wird in Kap. 8 und im Zuge der Wasserhaushaltsberechnungen näher eingegangen. Der Fehler, der bei Berechnung der mittleren Abflussmengen entsteht, wenn die kurzzeitigen Hochwasserspitzen nicht vollständig erfasst werden, ist nur gering und wird hier vernachlässigt.

Neben den 10 gefassten Quellen am Nordhang bestehen keine weiteren größeren Quellen auf eine Höhe von über 800 mNN, die nicht gefasst sind.

6.3.3 Quellgruppe-West - Wasserwerk Dormettingen

Am Westhang des Plettenbergs sind insgesamt 4 Quellen gefasst, die das Grundwasser über Leitungen in das Wasserwerk Dormettingen am Fuß des Plettenberges abgeben. Dort besteht keine Messeinrichtung zur kontinuierlichen Erfassung der Quellschüttungen. Daher wurden hier Einzelmessungen direkt an den Quellen vorgenommen. Die gefassten Quellen mit den Messdaten sind in der Tab. 6-4 aufgeführt. Daneben sind die nicht genutzten Quellen „Brünnle“ und „Schafstränke“ mit den Schüttungsmengen der Stichtagsmessungen ebenfalls in der Tab. 6-4 aufgeführt.

Die Schüttungsmessungen zeigen die relativ hohen Werte am 7.5.2015 mit etwa 1 bis 3 l/s an den einzelnen Quellen. Im Juni sind die Schüttungsmessungen bereits sehr stark zurückgegangen auf Werte von < 0,2 l/s je Quelle. Im Juli wurden diese Werte bei an-

haltender Trockenheit noch einmal etwa halbiert. Im September waren die Schüttungswerte in der Folge von Niederschlägen wieder etwas höher.
Die einzelnen Messungen zeigen bereits die starken Schüttungsschwankungen, die bei diesen Quellen der Quellgruppe West in gleicher Weise zu beobachten sind, wie bei den Quellen am Nordhang durch die Messreihen dokumentiert (Kap. 6.3.2).

Tab. 6-4: Schüttung und Kenndaten der genutzten und ungenutzten Quellen der Quellgruppe-West – Dormettingen

Gefasste Quelle	**Rechts-wert Hochwert**	**Höhe**	**Schüttung**			
			7.5.2015	25.6.2015	21.7.2015	11.9.2015
		mNN	l/s	l/s	l/s	l/s
Genutzte Quellen						
Kalte-Brünnle-Quelle	34-85.430 53-41.710	871,1	3	0,14	0,05	0,07
Weiherle-Quelle	34-85.540 53-41.580	874,0	1,2	0,11	0,05	0,05
Tauchbrünnle-Quelle	34-85.617 53-41.360	874,0	1,5	0,11	0,04	0,07
Hang-Quelle	34-85.665 53-41.225	897,3	0,95	0,1	0,07	0,14
ungenutzte Quellen						
Brünnle Plettenbergstraße	34-85.763 53-41.447	908	0,24	0,04	0,1	0,02
Schafstränke	34-85.515 53-41.083	895	2,0	0,13	0,07	0,10

6.3.4 Quellgruppe Süd – Wasserwerk Ratshausen

Am Südhang des Plettenbergs sind insgesamt 2 Quellen gefasst, die über eine Leitung miteinander verbunden sind und das Grundwasser in das Wasserwerk Ratshausen abgeben. Dort bestand bis zum Jahr 2015 keine Messeinrichtung zur kontinuierlichen Erfassung der Quellschüttungen. Im Oktober 2015 wurde hier im Zuge der hydrogeologischen Untersuchungen eine Wasseruhr eingebaut, so dass seitdem auch von diesen Quellen kontinuierlich Schüttungsmengen aufgezeichnet werden. Die Abb. 6-5 zeigt die Ganglinie der Schüttungsmengen bis November 2016. Außerdem wurden auch hier Einzelmessungen, direkt an den Quellen vorgenommen. Die gefassten Quellen „obere und untere Plettenbergquelle“ sind über eine Rohrleitung miteinander verbunden. In der

Tab. 6-6 sind die Schüttungsmengen nach den Einzelmessungen beider Quellen in Summe aufgeführt.

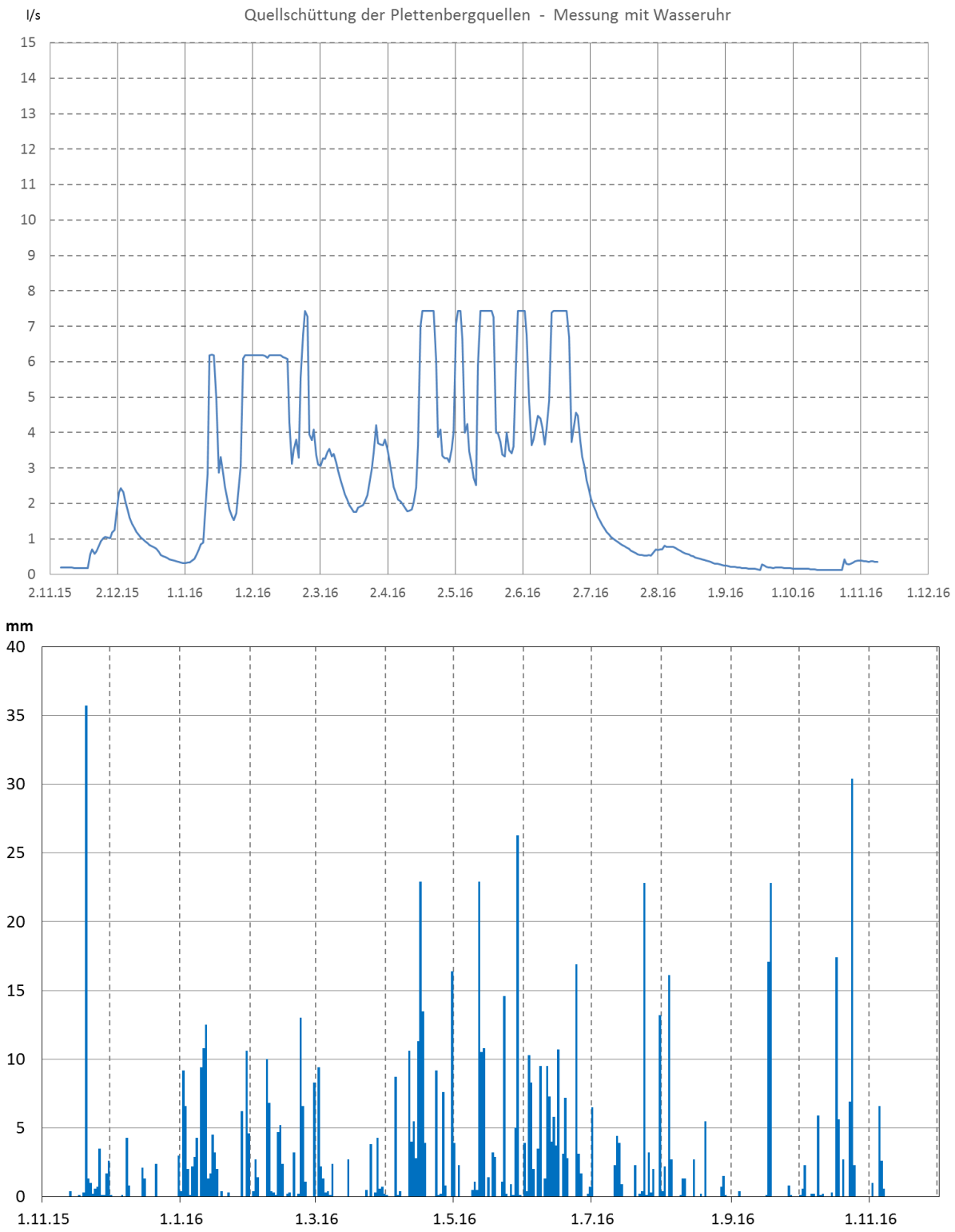

Abb. 6-5: Ganglinie der Quellschüttung der oberen und unteren Plettenbergquelle nach Aufzeichnungen der Wasseruhr im Wasserwerk Ratshausen und des Niederschlags (Station Balingen)

Tab. 6-5: Schüttung und Kenndaten der gefassten und genutzten Quellen der Quellgruppe-Süd - Ratshausen

Gefasste Quelle	Rechts-wert Hochwert	Höhe	Schüttung				
			8.5.2015	26.6.2015	21.7.2015	11.9.2015	19.11.2015
		mNN	l/s	l/s	l/s	l/s	
Obere Plettenbergquelle	34-86.071 53-40.170	866,0	4,8	0,76	0,43	1,0	0,18
Untere Plettenbergquelle	34-86.023 53-40.065	832,0					

Die Schüttungsmessungen zeigen relativ hohe Werte am 8.5.2015 mit etwa 4,8 l/s. Im Juni und Juli 2015 sind die Schüttungsmengen bereits deutlich zurückgegangen auf Werte von < 1 l/s je Quelle. Im September 2015 waren die Schüttungswerte in der Folge von Niederschlägen wieder etwas höher. Am 19.11.2015 wurden die niedrigsten Schüttungswerte des Jahres mit 0,18 l/s gemessen.

Die Ganglinie in Abb. 6-5 zeigt den kontinuierlich mit einer Wasseruhr am Wasserwerk aufgezeichneten Gang der Quellschüttung der beiden Plettenbergquellen. Nach den witterungsbedingt sehr niedrigen Schüttungsmengen bis Anfang Januar 2016 sind dann in der Folge hoher Niederschlagsmengen im Winter und Frühjahr 2016 generell hohe Schüttungen mit Anstiegen auf mehr als 7 l/s zu verzeichnen. Die Wasseruhr und die Zuleitung ermöglicht nicht die Messung der Abflussspitzen von > 7,5 l/s. Die Messungen zeigen generell die starken Schüttungsschwankungen mit schnellem Anstieg nach Niederschlägen und fast ebenso schnellem Absinken in Trockenperioden, die für die Quellen am Plettenberg typisch sind. Von Mitte Juli bis Anfang November 2016 liegen die Schüttungsmengen deutlich unter 1 l/s. Die Nierderschläge in dieser Phase des Sommers und Herbstes sind nicht nur nur in sehr geringem Maße abflusswirksam geworden. Die niedrigste Abflüsse betrugen Mitte Oktober 2016 NQ = 0,12 l/s.

Nach den Stichtagsmessungen weisen die Plettenberg-Quellen am Südrand des Plettenberges, neben der Zimmerwald-Quelle im Südosten, die höchsten Schüttungen auf.

6.3.5 Quellgruppe Süd-Ost – Hausen am Tann

Am Südosthang des Plettenbergs sind insgesamt 3 Quellen gefasst. Diese sind untereinander über Leitungen verbunden. Sie geben das Grundwasser in das ehemalige Wasserwerk von Hausen am Tann ab. Dort besteht keine Messeinrichtung zur kontinuierlichen Erfassung der Quellschüttungen. Das Wasserwerk wird nicht mehr zur Trinkwasserversorgung genutzt. Die Haushalte im Ort erhalten das Trinkwasser aus der Verbundleitung des Zweckverbands Wasserversorgung Hohenberggruppe. Das Wasser der gefassten Quellen wird zur Zeit nur vom Golfclub als Brauchwasser verwendet.

Tab. 6-6: Schüttung und Kenndaten der gefassten und genutzten Quellen der Quellgruppe-Südost – Hausen am Tann

Gefasste Quelle	Rechtswert Hochwert	Höhe	Schüttung		
			8.5.2015	21.7.2015	10.9.2015
		mNN	l/s	l/s	l/s
Plettenhalde-Quelle	34-86.420 53-40.814	885	1,0	0,05	0,15
Stelle-Quelle	34-86.748 53-40.582	818	3,2	0,53	0,8
Zimmerwald-Quelle	34-87.089 53-40.707	779	5,0	0,36	1,0

Die Schüttungsmessungen zeigen am 8.5.2015 relativ hohe Werte mit etwa 1 bis 5 l/s. Im Juli 2015 sind die Schüttungsmessungen deutlich zurückgegangen auf Werte von < 0,6 l/s je Quelle. Im September 2015 liegen die Schüttungswerte in der Folge von Niederschlägen wieder etwas höher. Auch hier deuten sich die starken natürlichen Schüttungsschwankungen an

Am Südosthang befinden sich weitere Quellen und Vernässungen, die etwa auf einer Höhe von 890 bis 910 mNN kurz unterhalb des Steilhanges auftreten. Die Schüttung der einzelnen Quellen ist nur gering. Im Mai wurden Schüttungsmengen von jeweils etwa 0,1 bis 0,2 l/s gemessen. Im Juli und während der Folgemonate bis November waren diese kleineren Quellen fast durchgängig trocken gefallen.

6.3.6 Quellgruppe Ost

Am östlichen Hang des Plettenberges befindet sich der Quellbereich des Waldhausbaches. Dieser weist im oberen Bereich bei etwa 890 mNN im Messzeitraum 2015 nach Stichtagsmessungen Schüttungsschwankungen zwischen etwa 1,5 l/s (7.5.2015) und 0,2 l/s (19.11.2015) auf. Auf der Gewässerstrecke unterhalb treten weitere Quellen dem Waldhausbach zu, so dass sich bis etwa 100 m östlich der Abfluss etwa verdoppelt.

Daneben bestehen nur wenige, sehr kleine und temporär schüttende Quellaustritte, die nicht gefasst sind sowie Vernässungsbereiche und Kalktuffquellen (s. Kap. 6.3.7).

Der Auslauf des Regenwasserrückhaltebeckens des Steinbruches befindet sich ebenfalls an diesem Hang. Über die Rohrleitung werden nach Niederschlägen die gesammelten Oberflächenwasserabflüsse aus dem Steinbruch mit Wassermengen bis zu maximal genehmigten 20 l/s abgegeben. Bei 10 Stichtagsmessungen zwischen April 2015 und Februar 2016 wurden hier Abflüsse im Mittel von Q = 1,9 l/s gemessen. Die Schwankungen lagen zwischen 0,0 und 11 l/s. In Trockenphasen findet keine Wasserabgabe aus dem Steinbruch statt.

6.3.7 Sicker-Quellen und Quell-Biotope

Am westlichen, südlichen, östlichen und auch am nördlichen Hang des Plettenberges wurden mehr als 50 Sicker-Quellen von AG.L.N. kartiert. Diese zeichnen sich hydrologisch dadurch aus, dass eine geringe Schüttungsmenge über eine größere Fläche verteilt (meist mehrere 10er m²) flächenhaft und über das Jahr kontinuierlich mit nur geringen Schüttungsschwankungen zu Tage tritt. Das führt bei der Änderung der Temperatur und pH-Bedingungen beim Wasseraustritt teilweise zu einer Kalkausfällung in Verbindung mit einem Moosbewuchs, so dass diese dann auch als Kalktuff-Quellen bezeichnet werden können. Die Sickerquellen stellen somit teilweise hochwertige und geschützte Biotope dar.

In der Anlage 2 sind alle kartierten Sicker-Quellen in der Karte markiert. Die Schüttungsmenge lässt sich aufgrund des flächenhaften Austritts nur abschätzen. Sie liegt meist bei etwa 0,1 bis 0,4 l/s.

6.4 Markierungsversuch

6.4.1 Allgemeines

Zur erweiterten Erkundung der Grundwasserverhältnisse auf dem Plettenberg wurde zwischen dem 21.9. und dem 10.12. 2015 ein umfangreicher Markierungsversuch durchgeführt. Dieser neue Versuch baute auf den Erkenntnissen des früheren Markierungsversuches auf dem Plettenberg aus dem Jahr 1987 auf (LGRB 1988). Die Eingabestellen und Versuchsausführung wurde mit dem LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU (LGRB) abgestimmt und von den zuständigen Behörden des Landkreises genehmigt.
Ziel des Markierungsversuches war es, ergänzend zu den hydrogeologischen Untersuchungen, die Auswirkungen der geplanten Süderweiterung des Steinbruchs auf das Grundwasser und die Quellen genauer zu erkunden. Im Einzelnen ging es dabei vor allem um die Einzugsgebiete der Quellen, die Wasserwegsamkeiten und die Abstandsgeschwindigkeiten und Durchlässigkeiten im Grundwasser. Der Markierungsversuch wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Wohnlich von der Ruhruniversität Bochum durchgeführt (Wohnlich & Vaitl 2016).

6.4.2 Versuchsablauf

Der Markierungsversuch startete am 21.9.2015 mit der Eingabe von drei fluoreszierende Markierungsstoffe (Uranin, Amidorhodamin G und Tinopal CBS-X) in drei Bohrlöcher auf dem Plettenberg. Die Eingabestellen sind auf der Anlage 8 markiert:

- Eingabestelle M1: Zentraler Bereich des Erweiterungsgebietes – Eingabe Uranin
- Eingabestelle M2: Südwestrand Plettenberg nahe Grenze zwischen bestehendem Abbau und Erweiterungsgebiet - Eingabe Tinopal CBS-X
- Eingabestelle M3: Südostrand Plettenberg nahe der Grenze zwischen dem bestehenden Abbau und Erweiterungsgebiet - Eingabe Amidorhodamin G

Die Eingabe erfolgte über die Bohrlöcher in einer Tiefe von 0 m bis 30 m unter GOK, das heißt bei 950 bis 990 mNN und damit etwa 15 bis 50 m oberhalb der Grundwasseroberfläche, die während das Versuches bei etwa 935 bis 940 mNN lag. Die Eingabe erfolgte unter Zugabe von jeweils etwa 1 bis 2 m³ Wasser. Die Ausbreitung des Tracers erfolgte daher zunächst über den Kluftraum im ungesättigten Bereich und erst nach der Versickerung in die Tiefe auch über das Grundwasser.

Die Messungen des Austrages erfolgten an sämtlichen Quellgruppen des Plettenbergs, einerseits über regelmäßige Einzel-Probenahmen. Dabei wurden Wasserproben und Proben über Aktivkohle-Säckchen entnommen und eine entsprechende Laboranalytik nachgeschaltet. Außerdem erfolgten in 3 relevanten Quellen Messungen über automatisch aufzeichnende Sonden, die die Tracerkonzentrationen in einem kontinuierlichen Intervall von 3 Minuten aufzeichnen. Vom 21.9. bis 25.9. wurden in kurzem Abstand nahezu kontinuierlich Proben genommen. Nach dem 25.09.2015 erfolgten wöchentliche und im späteren Verlauf Wasserprobennahmen alle 2 Wochen, Austausch der Aktivkohlefallen und das Auslesen der drei Datenlogger durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter seitens des Lehrstuhls Angewandte Geologie der Ruhr-Universität Bochum. Der Markierungsversuch wurde am 10. Dezember 2015 beendet.

6.4.3 Ergebnisse und hydrogeologische Bewertung

Auf der Anlage 8 sind die Eingabestellen und die Austrittstellen des Markierungsversuches dargestellt. Zum Vergleich sind auch die Eingabestellen und die Austrittstellen des Markierungsversuches von 1987 dargestellt (LGRB 1988).

<u>Eingabestelle M1</u> – Uranin – auf der zentralen Hochfläche des Plettenbergs im Erweiterungsgebiet:

Austrag an:

- Hangquelle an der West-Böschung des Plettenbergs, sicherer Austrag nach 8 Tagen am 29.9.2015.
- Quelle südlich Hangquelle, sicherer Austrag nach 8 Tagen am 29.9.2015.
- Plettenberg-Quelle an der Südböschung des Plettenbergs, potentieller Austrag (unsicher).

Wiederfind-Rate mit 1 % und < 0,5 % (Plettenberg-Quelle) insgesamt sehr gering.

<u>Eingabestelle M2</u> – Tinopal – Südwestrand Plettenberg :

Kein Austrag festgestellt.

Eingabestelle M3 – Amidorhodamin G – Südostrand Plettenberg:

Austrag an:

- Plettenhaldequelle und den Quellen unterhalb an der Südost-Böschung des Plettenbergs, die über eine Leitung mit der Plettenhaldequelle verbunden sind – sicherer Austrag.

Wiederfind-Rate mit etwa 1 % insgesamt sehr gering.

Die Austräge der Markierungsstoffe sind zum Teil unsicher, da auch Huminstoffe oder Trübe nach Regenfällen ein Signal hervorrufen kann. Bei einer Auswertung der einzelnen Tracerdurchgänge ergeben sich die in Tab. 6-7 aufgeführten Abstandsgeschwindigkeiten. Hierbei ist zu beachten, dass diese durch die Tracer-Ersteinsätze bestimmt wurden und es sich somit um maximale Geschwindigkeiten handelt.

Tab. 6-7: Ermittelte Abstandsgeschwindigkeiten beim Tracerversuch 2015

Quelle	max. Abstandsgeschwindigkeit	Anmerkung
	[m/Std.]	
Plettenhaldequelle	13	
Plettenbergquelle	0,5	Unsicherer Austrag
Hangquelle	2,5	
Gewässer südlich Hangquelle	2,5	

Für den Tracer Uranin konnten zwei sichere und ein potentieller Fließweg aufgezeigt werden. Im weiteren Verlauf des Markierungsversuches zeigte sich am 29.09.2015 (nach ca. 192 Stunden) ein Einsatz des Tracers, mit zehnfach höheren Konzentrationen als der Hintergrundwert in der Hang-Quelle und im Oberflächenabfluss südlich der der Hang-Quelle. Ein Konzentrationspeak dieser Tracerdurchgänge wurde für beide Quellen am 22.10.2015 erreicht und ging in ein langsames Tailing über. Für beide Tracerdurchgänge ergibt sich eine dominierende Abstandsgeschwindigkeit von ca. 0,6 m/Std. Zudem wurden in der oberen und unteren Plettenberg-Quelle am Ende des Versuches (Messwerte ab dem 26.11.2015) leicht ansteigende Uranin – Konzentrationen festgestellt. Betrachtet man diesen Anstieg als Tracerersteinsatz, so ergibt sich hier eine maximale Abstandsgeschwindigkeit von 0,5 m/Std.

Der Farbstoff Amidorhodamin G konnte lediglich im Teilgebiet A am Osthang nachgewiesen werden. Hierbei zeigte sich in der Plettenhalde-Quelle in kurzer Zeit nach Tracereingabe ein Anstieg der Amidorhodamin G – Konzentrationen. Hierbei zeigte sich

ein flacher und breiter Verlauf der Tracerdurchbruchskurve. Dies deutet darauf hin, dass der Tracer an einer Stelle mit geringem Durchfluss nur langsam aus dem Aquifer ausgetragen wird. Die Analysen der Aktivkohlefallen deuten zusätzlich darauf hin, dass der Tracer an der Stelle-Quelle und der Zimmerwald-Quelle ankommt. Für die Plettenhalde-Quelle A1 ergab sich hierbei eine maximale Abstandsgeschwindigkeit von ca. 13 m/Std. Aufgrund des qualitativen Nachweises können für Quelle A2 und A3 keine Abstandsgeschwindigkeiten angegeben werden.
Der eingebrachte Markierungsstoff Tinopal CBS – X konnte in keiner der untersuchten Messstellen und betrachtetem Zeitraum wiedergefunden werden. Der Tracer selber muss in den Grundwasserleiter injiziert worden sein, da ansonsten die eingegeben Wassermengen nicht vom Bohrloch aufgenommen werden konnten. Der Tracer ist sehr wahrscheinlich, entsprechend dem Grundwasserströmungsfeld (Anlage 8) von der Eingabestelle Richtung Osten geflossen ist. Im Auslass des Rückhaltebeckens konnte er nicht nachgewiesen werden. Mögliche andere Erklärungen wären Sorptionsverluste in der ungesättigten Zone, bzw. den unterlagernden Impressa-Mergeln, zu große Verdünnung u.a., für die geringen Wiederfindungsraten.

Das Klima während des Versuchszeitraumes und in den Monaten zuvor war durch längere Trockenphasen mit generell geringen Niederschlägen und niedrigen Grundwasserständen geprägt, was geringe hydraulische Gradienten zur Folge hat. Dies zeigte sich auch in einer zu beobachteten geringen und im Versuchsverlauf weiter abnehmenden Quellschüttung. Die schwankenden Schüttungen der einzelnen Quellen machen es, betrachtet über einen solch langen Versuchszeitraum, zudem schwierig einen genauen Wiedererhalt des Markierungsmittels zu ermitteln.

Zu berücksichtigen ist auch, dass der Transport des Markierungsstoffes nur nach Niederschlägen in sehr geringer Menge, und über die nur bei Niederschlägen hydraulisch aktivierten größeren Klüfte im ungesättigten Bereich oberhalb vom Grundwasser und innerhalb der Wohlgeschichteten Kalksteine erfolgt. Die mit 0,5 % bis 1 % sehr geringe Wiederfindrate ist so zu interpretieren. Nach der Eingabe des Markierungsstoffes und der anschließenden Wasserzugabe von 1.000 l, die mit einem Auffüllen des Bohrloches bis zur GOK einherging, konnten die Markierungsstoffe auch über die Kluft- und Schichtflächen im Gestein, zunächst auch deutlich oberhalb des Grundwasserspiegels, verbreitet werden. Auch an den Abbauwänden im Steinbruch ist nach Niederschlägen zu beobachten, wie mehrere 10er Meter oberhalb vom Grundwasser „Schichtenwasser“ temporär auf tonigen Schichten an der Steinbruchwand heraus sickert.

Es konnten durch den Markierungsversuch Fließwege im Grundwasser zwischen dem Erweiterungsgebiet Süd und der Hang-Quelle im Westen mit maximalen Abstandsgeschwindigkeiten von 2,5 m/h aufgezeigt werden. In Richtung auf die Plettenhaldequelle im Osten wurde mit einer maximalen Abstandsgeschwindigkeit von 12,5 m/h der höchste Wert erreicht. Als maximale Abstandsgeschwindigkeit zur Plettenbergquelle im Süden wurde ein Wert von 0,5 m/h ermittelt. Das Signal ist aber nicht eindeutig, so dass eine Verbindung zur Plettenbergquelle im Süden vom zentralen Bereich der Süderweiterung nicht sicher aufgezeigt werden konnte. Diese Verbindung war aber im Markierungsversuch von 1987, ausgehend von einer knapp 300 m weiter südlich am Südrand des Plettenberges gelegenen Eintragsstelle, nachgewiesen worden (Anlage 8).

6.5 Hydrochemie von Grundwasser und Quellen

6.5.1 Beprobung und Analytik

Am 21. und 22.7.2015 wurde eine umfassende hydrochemische Beprobung sämtlicher Quellfassungen sowie weiterer im Rahmen der Begehung aufgenommenen Vernässungsbereiche unternommen. Eine zweite Probenahme erfolgte am 10.10. und am 13.10.2016 und umfasste die 3 neuen Grundwassermessstellen und die nochmalige Beprobung des Rückhaltebeckens. In Anlage 9 sind die Orte der Probenahme, die untersuchten Parameter und deren Grenzwerte gemäß der TrinkwV sowie die entsprechenden Messergebnisse tabellarisch zusammengestellt und dokumentiert. In der Tab. 6-8 und Tab. 6-9 sind die chemischen Haupt-Daten der wichtigsten Quellen und Probenahmestellen im Steinbruch zur Übersicht zusammengestellt.
Die Probenahme und die Analytik wurde durchgeführt von EUROFINS INSTITUT JÄGER GMBH, TÜBINGEN. Die Analytik umfasste sämtliche Haupt-Inhaltsstoffe sowie die wichtigen Nebeninhaltsstoffe, wie Schwermetalle oder organische Parameter. Die Analysen umfassten auch die sprengstoff-spezifischen Inhaltsstoffe, das sind die Stickstoff-Verbindungen Nitrat, Nitrit und Ammonium, die unter anderem als Abbauprodukte der eingesetzten Sprengmittel eingestuft werden können (s. Tab. 6-8, Tab 6-9).

6.5.2 Analysenergebnisse

Das Wasser der beprobten Quellen zeigt mit Gesamtlösungsinhalten von etwa 300 bis 600 mg/l und den vorherrschenden Kationen Calcium und Magnesium sowie Hydrogenkarbonat eine für die karbonatischen Gesteine im Einzugsgebiete typische Mineralisation.

Einige Proben weisen geringfügige Überschreitungen für Eisen hinsichtlich des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung auf. Es handelt sich dabei um die Grundwasserproben aus den Grundwassermessstellen, Proben aus dem Rückhaltebecken im Steinbruch und die Sandbrunnen II-Quelle. Diese sind entweder geogenen Ursprungs oder auf die Leitungssysteme zurückzuführen. Darüber hinaus können in den Proben keine Überschreitungen der Grenzwerte der TrinkwV ausgemacht werden. Es sind keine Schadstoffe in den Wasserproben nachgewiesen.

Sämtliche Stickstoffverbindungen zeigen keine Auffälligkeiten in den Analysenergebnissen der Quellen. Daher ist ein Austrag von Rückständen aus den Sprengmitteln, die im Steinbruch eingesetzt werden, über das Grundwasser bis in die Quellen auszuschließen.

Bei den Sulfatgehalten zeigen die Proben Unterschiede. Das Wasser aus dem Rückhaltebecken und aus dem Drainage-Ablauf unterhalb davon an der Ost-Böschung des Plettenbergs zeigt Sulfatgehalte von etwa 80 mg/l, die Grundwassermessstelle B2015-3 im Steinbruch sogar 203 mg/l, während die Quellen am Hang des Plettenberges Sulfatgehalte von etwa 15 bis 30 mg/l aufweisen. Auch das Wasser in den Grundwassermessstellen B2015-1 und B2015-2 im Erweiterungsgebiet zeigt geringe Sulfatgehalte. Sämtliche Sulfat-Gehalte liegen noch deutlich unter dem Grenzwert der TVO. Durch die Abbautätigkeiten einschließlich der Sprengungen wird kein Sulfat in den Untergrund eingebracht. Die Unterschiede der Gehalte weisen auf Einflüsse der geogenen Umgebung im Grundwasserraum hin. Die stärker sulfathaltigen Wasserproben stammen aus Grundwasser, das zum einen direkt mit den Schichten des Impressamergels im Kontakt ist und zum anderen im Abbaubereich liegt. Der Impressamergel enthält geogen schwefelhaltige Minerale, wie z.B. Pyrit, die als Sulfatlieferant im Wasser unter dem Einfluss von Sauerstoff wirksam sein können. Der Kalksteinschotter im Bereich der unteren Abbausohle wurde im Eluat untersucht. Dabei wurde ein Sulfatgehalt von 35 mg/l festgestellt.

Das Wasser aus den für die Trinkwasserversorgung genutzten Quellen wird zudem im Auftrag der Gemeinden als Wasserversorger regelmäßig von zertifizierten Laboren kontrolliert. Die Grenzwerte der Trinkwasserversorgung werden eingehalten.

Die Proben des Oberflächenwassers und des Grundwassers aus dem Steinbruch zeigten ebenfalls keine Auffälligkeiten bei den Stoffgehalten, insbesondere keine Erhöhung der sprengstoffspezifischen Inhaltsstoffe.

Tab. 6-8: Analysenergebnisse – Teil 1

			Südhang	**Osthang**	**Westhang**	**Westhang**	**Nordhang**	**Nordhang**
	Ein-heit	*Grenz wert TVO*	**Pletten-bergquel-le o. Sch.**	**Pletten-halde Quelle**	**Brünnle**	**Hang-Quelle**	**Eisen-brunnen I**	**Sand-brunnen I**
Datum			22.07.15	22.07.15	22.07.15	22.07.15	22.07.15	22.07.15
Tempera-tur	°C	-	10,5	12,2	11,9	11,9	9,3	12,0
pH-Wert	-	-	8,17	7,57	7,79	8,03	8,02	7,95
Elektr. Leitfähig-keit (25°C)	µS/cm	-	351	404	464	581	360	379
O2	mg/l	-	10,9	10,4	10,2	10,3	10,7	9,7
Redox	mV	-	439	496	516	486	423	421
Ca	mg/l	-	67,3	75,1	86,7	99,6	72,8	78,8
Mg	mg/l	-	4,2	5,6	9,9	8,6	6,0	6,9
Na	mg/l	*200*	1,5	1,7	1,2	11,8	1,8	1,5
K	mg/l	-	0,6	0,7	0,4	0,9	0,9	1,0
NH4[1]	mg/l	*0,5*	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fe	mg/l	*0,2*	0,006	0,012	0,028	0,058	0,016	0,106
Mn	mg/l	*0,05*	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	0,002
Cl	mg/l	*250*	1,5	1,3	1,5	43	1,5	1,8
SO4	mg/l	*250*	15,0	25	29	17,0	21	18,0
NO3[1]	mg/l	*50*	6,5	18	22	7,6	11,0	7,6
NO2[1]	mg/l	*0,5*	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
HCO3	mg/l	-	206	218	252	278	220	243

[1] Parameter, die Sprengstoffrückstände anzeigen

Tab. 6-9: Analysenergebnisse – Teil 2

			Stein-bruch	**Stein-bruch**	**Erweite-rungs-fläche**	**Erweite-rungs-fläche**	**Stein-bruch**	**Stein-bruch - Westbö-schung**	**Stein-bruch - Westbö-schung**
	Ein-heit	*Grenz wert TVO*	**Rück-halte-Becken**	**Rück-halte-Becken**	**GWM B 2015-1**	**GWM B 2015-2**	**GWM B 2015-3**	**Drainage-Rohr**	**Drainage-Ringraum**
Datum			21.07.15	13.10.16	13.10.16	13.10.16	13.10.16	22.07.15	22.07.15
Tempera-tur	°C	-	25,3	7,0	11,1	10,7	11,8	11,4	12,9
pH-Wert	-	-	8,27	7,97	7,43	7,37	7,26	7,64	7,93
Elektr. Leitfähig-keit (25°C)	µS/cm	-	375	281	449	509	767	439	377
O2	mg/l	-	7,3	9,7	8,2	6,5	3,0	9,4	9,9
Redox	mV	-	375	393	416	424	413	482	416
Ca	mg/l	-	55,6	34,5	116	113	127	69,2	51,6
Mg	mg/l	-	17,6	13,8	9,4	8,4	29,3	16,1	14,6
Na	mg/l	*200*	3,0	2,8	2,1	3,4	1,9	2,9	6,3
K	mg/l	-	4,3	3,6	0,7	1,3	4	3,0	4,8
NH4[1]	mg/l	*0,5*	<0,02	0,2	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,25
Fe	mg/l	*0,2*	0,21	0,24	0,47	0,26	0,55	0,12	0,08
Mn	mg/l	*0,05*	0,011	0,005	0,47	0,045	0,015	0,006	0,004
Cl	mg/l	*250*	1,6	1,5	2,1	1,7	1,2	1,3	1,3
SO4	mg/l	*250*	84	56	10	15	203	83	80
NO3[1]	mg/l	*50*	<0,5	<0,5	6,0	4,5	22	0,9	3,5
NO2[1]	mg/l	*0,5*	<0,01	<0,01	<0,01	< 0,01	0,01	<0,01	0,01
HCO3	mg/l	-	129	106	340	325	231	185	132

[1] Parameter, die Sprengstoffrückstände anzeigen

6.6 Grundwasser-Fließverhältnisse am Plettenberg und im bestehenden Steinbruch

Die Grundwasserfließverhältnisse wurden auf der Grundlage der Grundwasserstandsdaten in den Messstellen, der kartierten Höhen der Quellaustritte und der übrigen hydrogeologischen Kenntnisse an Hand der Stichtags-Messdaten des 16.12.2015 und des 9.11.2016 dargestellt (Anlage 5-1 und Anlage 5-2). Die Darstellung von Grundwassergleichen ist im Fall des hier vorliegenden Kluftgrundwassers im Impressamergel, der eher ein Grundwassergeringleiter ist, als vereinfachte Darstellung des generellen Grundwasserströmungsfeldes auf dem Plettenberg zulässig. Im lokalen und kleinräumigen Maßstab sind Abweichungen der Fließrichtungen entlang von Kluftzonen oder Störungen möglich, die sich aber dem übergeordneten/generellen Strömungsfeld zumeist unterordnen.

Das Grundwasser fließt generell den Außenböschungen des Plettenberges zu. Die Anbindung des Grundwasserströmungsfeldes an die Außenböschungen des Plettenbergs und die Quellaustritte wird durch die ausstreichende Basis des Impressamergels gegen den Grundwasserstauer Ornatenton bei einer Höhe von etwa 910 mNN gezogen. Auf der Höhe von 910 mNN sind am Plettenberg auch die höchsten Quellaustritte zu beobachten (z.B. Brünnle). Dort ist gleichzeitig die Basis der Grundwasser-führenden Schichten des Impressamergels zu ziehen. Das Grundwasser verläßt dort den Bereich des geklüfteten Festgesteins und fließt unterhalb davon innerhalb der Lockergesteinsauflage und der dortigen Rutschmassen natürlich weiter in Richtung Tal ab. Aufgrund der Heterogenität der Lockergesteine dort ist eine Darstellung der Grundwasserfließverhältnisse im Detail hier nicht möglich. Die meisten Quellen liegen dann innerhalb der Lockergesteinsmassen und einige 10er Meter unterhalb der Basisschicht des grundwasserführenden Impressamergels.

Das Grundwasserströmungsfeld zeigt einen allseitigen Grundwasserabstrom in Richtung der Außenböschungen des Plettenbergs. Auf dem Plettenberg bestehen demnach mehrere Grundwasserscheitelungen, die die Grundwasserabstrombereiche nach Norden, Westen, Süden und Osten, auf die dortigen Quellgebiete zu, trennen. Diese Scheitelungen und die Hauptabstrombereiche sind in der Karte markiert. Der Verlauf der Grundwasserscheitelungen lässt sich dabei nicht punktgenau festlegen, eine Eingrenzung ist durch die Grundwasserstandsmessungen an etwa 10 Grundwassermessstellen sowie der Ergebnisse der Quellkartierungen und weiterer hydrogeologischer Versuche

(Markierungsversuch) aber gut zu erzielen. Außerdem richtet sich das Grundwasserströmungsfeld in den Schichten des Impressamergels auf dem Plettenberg nach den geologischen (Schichtlagerung) und tektonischen Verhältnissen. Das generelle Einfallen der Schichten und damit auch der Stauer unterhalb der grundwasserführenden Schichten ist mit etwa 1° bis 2° nach Südost gerichtet. Daher erfolgt die Haupt-Entwässerung des Grundwassers im geklüfteten Impressamergel in Richtung des östlichen und südlichen Hanges vom Plettenberg. Dort treten auch die am stärksten schüttenden Quellen auf, d.h. deren Einzugsgebiete sind generell größer und erstrecken sich etwas weiter bis auf den Plettenberg, als es bei den Quellen am Westhang und am Nordhang der Fall ist. Die Grundwasserscheitelung auf dem Plettenberg zwischen den Quellen am westlichen und am östlichen Hang ist daher aus geologischen Gründen zum westlichen Hang verschoben.

Das Grundwasserströmungsfeld in den grundwasserführenden Schichten des Plettenbergs (Impressamergel) ist im Detail an Hand der Gleichenpläne und der Profile wie folgt zu beschreiben (Anlage 5-1 und 5-2, Anlage 7-1 und 7-2):

- Im gesamten bestehenden Steinbruch fließt das Grundwasser überwiegend in Richtung Osten ab. Eine Grundwasserscheitelung zwischen der Haupt-Fließrichtung nach Osten und der Haupt-Fließrichtung nach Westen verläuft etwa am westlichen Rand des Steinbruches. Die gemessenen Grundwasserstände belegen dies. Auch der Markierungsversuch (s. Kap. 6.4) wiederlegt diese Darlegung nicht. Das Grundwasser im Steinbruchbereich strömt dabei weitgehend dem Quellgebiet des Waldhausbaches zu.
- Ein Grundwasserabstrom nach Norden erfolgt erst nördlich der etwa am Nordrand des Steinbruches gelegenen Grundwasserscheitelung. Diese deckt sich etwa mit der Einzugsgebietsgrenze und der Schutzgebietsgrenze der gefassten Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen (Anlage 2).
- Nur der äußerst westliche Bereich des Plettenbergs zeigt einen Grundwasserabstrom in Richtung Westen. Die Grundwasserscheitelung liegt etwa im Bereich der westlichen Steinbruchgrenze. Die Einzugsgebiete der Quellen des Wasserwerkes Dormettingen reichen demnach nicht oder nur geringfügig in den Bereich des Steinbruches auf dem Plettenberg.
- Im Erweiterungsgebiet Süd zeigt sich eine Grundwasserfließrichtung sowohl nach Süden als auch nach Westen und Osten. Dies ist unabhängig von den Grundwasserständen. Die Grundwasserscheitelung quert die Hochfläche entsprechend. Das unterstreichen auch die Ergebnisse des Markierungsversuches. Ein kleinerer, westlicher Teil der Plettenberg-Hochfläche entwässert nach Wes-

ten. Der zentrale und südliche Teil der Hochfläche im Erweiterungsgebiet zeigt eine Fließrichtung vorwiegend nach Süden. Der östliche Teil des Erweiterungsgebietes zeigt eine Grundwasserfließrichtung nach Osten. Gegenüber dem nördlich gelegenen Abbaubereich liegt die Grundwasseroberfläche im Erweiterungsgebiet etwas tiefer. Die kurzzeitigen Wasserstands-Spitzen (s. Abb. 6-1) geben nicht die Grundwasseroberfläche wieder und zeigen damit auch keine Grundwasserströmungsrichtung nach Norden an.

Wie die bisherigen Grundwasserstandsganglinien zeigen (Abb. 6-1), ist das beschriebene Grundwasserströmungsfeld in dieser Form grundsätzlich auf Grundwasserniedrigstände und Grundwasserhochstände übertragbar. Eine detaillierte Darstellung des Grundwasserströmungsfeldes auf Basis der mittleren Grundwasserniedrigstände und der mittleren Grundwasserhochstände erfordert eine mehrjährige Beobachtungsdauer. Die bislang vorliegenden Messdaten zum Grundwasser erlauben eine hinreichend genaue Darstellung der Grundwasserströmungsverhältnisse auf dem Plettenberg.
Auf die Quellen und deren Einzugsgebiete wird im folgenden Kapitel eingegangen.

6.7 Grundwasserhaushalt und Einzugsgebiete der Quellen

Die Ergebnisse der Abflussmessungen, die in Kap. 6.3. für die einzelnen Quellen und Quellgruppen vorgestellt wurden, dienen als Grundlage für eine Wasserhaushaltsbilanz des Plettenbergs. Auf Grundlage der kontinuierlichen Abflussmessreihe der Quellgruppe Nord (Dotternhausen) und der Stichtagsmessungen an den übrigen Quellen und Quellgruppen werden für alle Quellen langjährige mittlere Abflusswerte (mittlere Quellschüttungen) hergeleitet. Aufbauend auf den Abflusskennwerten wird die Größe der zugehörigen Einzugsgebiete berechnet.

Die Vorgehensweise ist folgende: Die ausgewerteten kontinuierlichen Abflussmessdaten der 10 Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen im Zeitraum 2000 bis 2015 (Kap. 6.3.2) liefern als mittleren Abflusswert $MQ_{Quellen\text{-}Nord}$ = 4,62 l/s. Daraus ergibt sich bei einer Einzugsgebietsgröße von EZG = 0,24 km² eine mittlere Abflussspende $Mq_{Quellen\text{-}Nord}$ = 19,3 l/skm².

Aufgrund der räumlichen Nähe und der vergleichbaren hydrogeologischen Randbedingungen am Plettenberg kann diese mittlere Abflussspende Mq = 19,3 l/skm² auf alle

Quellen, die in Höhen von etwa 800 bis 910 mNN auftreten, mit hinreichender Genauigkeit übertragen werden.

Für jeden Tag im Untersuchungszeitraum Mai bis Dezember 2015 lässt sich auf Grundlage der kontinuierlichen Abflussdaten der Quellgruppe Nord das jeweilige Verhältnis der mittleren Tagesabflussmenge (in l/s) zur mittleren langjährigen Abflussmenge (4,62 l/s) bestimmen.

Auf Grundlage dieses Abflussverhältnisses kann bei den Stichtagsmessungen an den übrigen einzelnen Quellen zwischen Mai und Dezember 2015 der gemessene Einzelwert auf den mittleren Abflusswert der Quelle hochgerechnet werden. So lag z.B. die Quellschüttung der Quellgrupppe Nord am 21.7.2015 und am 22.7.2015 bei Q = 0,81 l/s, was im Verhältnis zum Mittelwert der Quellgruppe von MQ = 4,62 l/s einem Faktor von 0,18 entspricht. Dieser Faktor $Q_{Stichtag}$/MQ wird für die am gleichen Tag durchgeführten Abflussmessungen an den übrigen Quellen zur Abschätzung des MQ-Wertes dieser Quellen herangezogen. Bei mehreren Stichtagsmessungen kann so für die einzelnen Quellen ein mittlerer Abfluss MQ eingegrenzt werden. Die Berechnungen basieren auf 3 bis 10 Stichtagsmessungen je Quelle.

In der Tab. 6-9 wird für die wichtigen Quellen am Plettenberg auf diese Weise ein mittlerer Abfluss MQ hochgerechnet sowie auf Basis der genannten mittleren Abflussspende von Mq = 19,3 l/skm² daraus eine mittlere Grundwasserneubildungsfläche, die Teil des jeweiligen Einzugsgebiets ist, abgeleitet. Auf der Anlage 6 sind die Einzugsgebiete der Quellen oder Quellgruppen auf der Grundlage des Grundwasserströmungsfeldes und der Grundwassergleichenpläne markiert.

Das Grundwasser im Einzugsgebiet der Quellen zirkuliert innerhalb der Rutschmassen und wird gespeist von Grundwasseraustritten und -übertritten an der Grenzfläche Impressamergel/Ornatenton oder an Tonschichten innerhalb des Impressamergels. Damit zählen auch Teile des Grundwassers im Impressamergels zum Einzugsgebiet der Quellen.

Es ist zu beobachten, dass sich die Quellaustritte in bestimmten Vorzugsbereichen stark häufen, während in anderen kein Wasser zutage tritt. So sind beispielsweise Teile des Südwest- sowie des Osthanges des Plettenbergs im höheren Bereich von 800 bis 900 mNN nahezu frei an Quellen. Die Quellgebiete konzentrieren sich mit mehreren nebeneinander liegenden Quellen im Westen, im Südosten und im Norden des Pletten-

bergs. Ursache für die Verteilung der Quellen sind vermutlich tektonisch geprägte, bevorzugte Grundwasserfließwege. Dort wo keine Hangquellen auftreten, fließt das Grundwasser in den Hangschuttdecken weiter ab und tritt erst im unteren Teil des Plettenberghanges in Quellen zu Tage.

Tab. 6-10: Kenndaten zum mittleren Abfluss und zur Einzugsgebietsgröße der gefassten Quellen am Plettenberg auf Grundlage der Wasserbilanz

Name/Bezeichnung	Höhe	Mittlerer Abfluss MQ	Mittlere Grundwasserneubildungsfläche innerhalb des Einzugsgebietes	Nutzung für Trinkwasserversorgung	Quell-Gruppe
	[mNN]	[l/s]	[km²]		
Eisenbrunnenquelle I	895	1,10	0,057	Ja	Nord
Eisenbrunnenquelle II	889	0,60	0,031	Ja	
Eisenbrunnenquelle III	896	0,05	0,003	Ja	
Sandbrunnenquelle I	908	0,10	0,005	Ja	
Sandbrunnenquelle II	886	0,01	0,001	Ja	
Sandbrunnenquelle III	882	0,10	0,005	Ja	
Steinige-Weg-Quelle I	875	1,80	0,094	Ja	
Steinige-Weg-Quelle II	863	0,50	0,026	Ja	
Reuteweg-Quelle	846	0,10	0,005	Ja	
Rote-Lache-Quelle	836	0,30	0,016	Ja	
Kalte-Brünnle-Quelle	871	0,60	0,031	Ja	West
Weiherle-Quelle	874	0,40	0,021	Ja	
Tauchbrünnle-Quelle	874	0,45	0,023	Ja	
Hang-Quelle	897	0,50	0,026	Ja	
Brünnle	915	0,10	0,005	Nein	
Schafsquelle	910	0,55	0,029	Nein	
Plettenberg-Quelle (oberer Schacht)	866	2,50	0,130	Ja	Süd
Plettenberg-Quelle (unterer Schacht)	832			Ja	
Plettenhalde-Quelle	885	0,50	0,026	Nein	Südost
Stelle-Quelle	818	1,80	0,094	Nein	
Zimmerwald-Quelle	779	3,00	0,156	Nein	
Waldhausbach-Quelle	850	2,50	0,130	Nein	Ost

Für die einzelnen genutzten Quellgruppen ergeben sich folgende mittlere Schüttungen:

- Wasserwerk Dotternhausen 10 Quellen: MQ = 4,6 l/s
- Wasserwerk Dormettingen 4 Quellen : MQ = 1,95 l/s
- Wasserwerk Ratshausen 2 Quellen : MQ = 2,5 l/s

Die Kenngrößen des Wasserhaushaltes der Quellen und deren Einzugsgebiete wird im Folgenden am Beispiel der Hangquelle vorgestellt:

- Einzugsgebietsgröße (Neubildungsgebiet): F = 26.000 m²
- Mächtigkeit grundwassererfüllte Schichten: M = 15 m
- Porenvolumen Grundwasserbereich im Mittel: n-sp = 4 % - Dieser mittlere Wert ergibt sich aus dem Trockenlauf-Verhalten der Quellen und dem daraus abzuleitenden Auslauf-Koeffizienten α. Das grundwassererfüllte Einzugsgebiet der Quellen setzt sich aus Teilgebieten mit unterschiedlichen Poren/Kluft-Volumina zusammen, die wie folgt abgeschätzt werden können:
    - Lockergestein und Hangschutt, Nahbereich der Quellen: n-sp = ca. 10 bis 20 %
    - Kluftgestein (Impressamergel), böschungsnah, aufgelockert: n-sp = ca. 2 bis 5 %
    - Kluftgestein (Impressamergel), zentraler Bereich Plettenberg: n-sp = ca. 0,5 - 2 %
- Grundwasservorrat = F * M *n-sp = 15.500 m³
- Niederschlag auf Einzugsgebiet: N_{EZG} = 1,024 m³/(m²*Jahr) * F = 26.624 m³
- GwNeubildung auf Einzugsgebiet: GwN_{EZG} = 0,588 m³/(m²*Jahr) * F = 15.500 m³
- Quellschüttung = 0,5 l/s = 15.500 m³/Jahr

Daraus folgt: Bei Ansatz einer Einzugsgebiets-Länge in Fließrichtung von L = 250 m und einem „Grundwasseraustausch“ von etwa 1 mal im Jahr ergibt sich eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von v = 250 m /Jahr = 0,7 m/Tag = 0,03 m/h.

Die maximale Abstandsgeschwindigkeit nach dem Markierungsversuch 2015 war deutlich höher und betrug zum Beispiel im Fall der Hangquelle v_M = etwa 2,5 m/h = 60 m/Tag. Hierbei zeigt allerdings die geringe Wiederfindrate von etwa 1%, dass diese maximale Abstandsgeschwindigkeit nur für die gut durchlässigen Trennflächen, vor allem im ungesättigten Bereich oberhalb vom Grundwasser in den Wohlgeschichteten Kalken gilt.

7 Ingenieurgeologie und Standsicherheit

7.1 Allgemeines

Neben der ingenieurgeologischen Aufnahme der Kernbohrungen und der Kartierung im Steinbruch wurde eine detaillierte Begehung und Aufnahme der Hänge das Plettenbergs unterhalb des Traufs im Westen, Süden und Osten des Steinbrucherweiterungsgebietes und des bestehenden Steinbruches vorgenommen (vgl. Abb. 7-1). Dabei wurde als Experte für Standsicherheitsfragen Prof. Dr. Fernandez-Steger, ehemals RTWH Aachen, jetzt TU Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften, hinzugezogen. Im Herbst 2015 wurde dazu eine Masterarbeit durchgeführt, die im April 2016 fertiggestellt wurde (Garschagen 2016). Die Arbeit umfasst detaillierte ingenieurgeologische Kartierungen, speziell am Südhang des Plettenbergs, Laboruntersuchungen und Standsicherheitsmodellierungen zur Überprüfung der Untersuchungen. Auf der genannten Untersuchungsgrundlage wird zur Standsicherheits-Thematik im Folgenden eine gutachterliche Bewertung des Ist-Zustandes vorgelegt und die Wirk-Mechanismen der Rutschungen detailliert aufgezeigt. Zu den Auswirkungen der geplanten Abbauerweiterung auf die Standsicherheit im Bereich des Plettenberges wird von Prof. Dr. Fernandez-Steger ein gesondertes Gutachten erstellt, das auf der hier dargestellten Ist-Zustandsanalyse aufbaut und spezielle Untersuchungen zu den dynamischen Belastungen einbezieht.

Seit Beginn des Holozäns kommt es im Gebiet der Schwäbischen Alb zu Massenbewegungen. Im Untersuchungsgebiet am Plettenberg treten vielfältige Strukturen auf, die früheren Rutschungen und Bergstürzen zuzuordnen sind. Berichte über Bergstürze benennen die Jahre 1774, 1787 und 1789 am gegenüberliegenden Ortenberg oder das Jahr 1851, als ein ausgedehnter Bergsturz am gesamten südlichen Plettenberg niederging. Die Hänge sind immer wieder, auch in jüngster Vergangenheit, Massenbewegungen ausgesetzt gewesen. Dazu gehören, wie zuletzt 2013, neben Rutschungen auch Stein- und Blockschläge, Hanganbrüche und kleinräumige, Mur-ähnliche Hangbewegungen.

Die Massenbewegungen werden durch die geologischen Gegebenheiten ermöglicht. Es liegen zerklüftete Kalksteine und Mergel (Wohlgeschichtete Kalke und Impressamergel) mit steilen Hängen auf einer undurchlässigen weichen Tonsteinschicht, dem Ornatenton, auf. Der Ornatenton ist oft durch Wasserzutritte aus dem überlagernden Oberjura durchfeuchtet und entfestigt. In dieser geologischen Einheit ereignen sich deshalb zahl-

reiche Rutschungen, bei denen auch Schollen der überlagernden Oberjuragesteine abgleiten.

Ausgelöst werden die verschiedenen Massenbewegungen zu meist durch kurzfristige Belastung wie z.B. schnelle Schwankungen des Porenwasserdrucks oder des Grundwasserspiegels aufgrund von Starkregenereignissen bzw. schnellen Schneeschmelzen oder seismischen Erschütterungen. Die verschiedenen Massenbewegungsarten am Plettenberg können zudem miteinander vergesellschaftet sein und dadurch kombinierte bzw. sequenzierte Bewegungsabläufe innehaben. Ein Beispiel für letzteres ist die undränierte Belastung des Ornatentons durch z.B. Steinschläge, welche zur Entstehung von Rotationsrutschungen unterhalb der Steilhänge führt (Garschagen 2016).

Die Standsicherheit und Rutschungsgefährdung der bestehenden natürlichen Böschungen des Plettenbergs, speziell im Bereich des Erweiterungsgebietes Süd, wird im Folgenden beschrieben und bewertet.

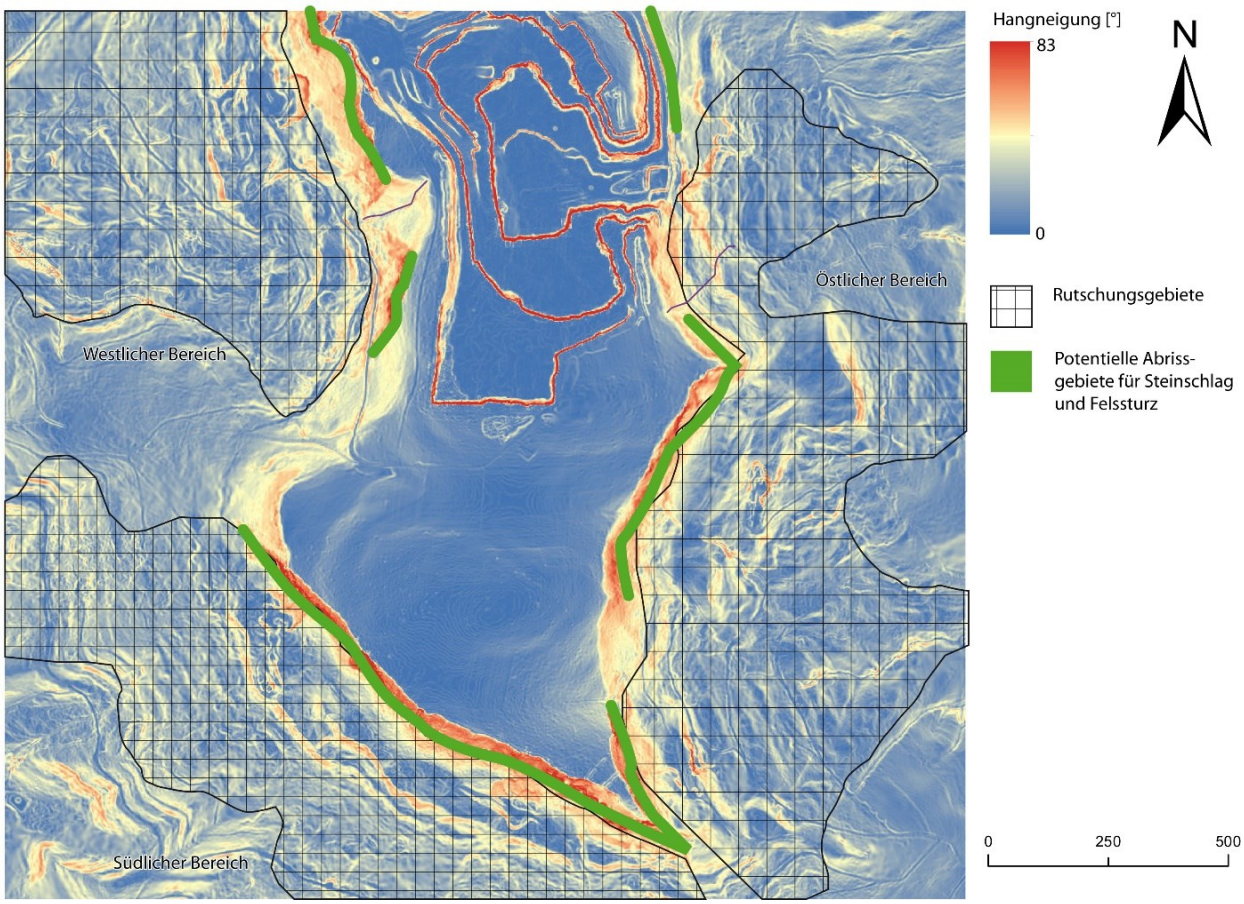

Abb. 7-1: Hangneigung am Plettenberg mit rutschungsanfälligen Flächen und potentiellen Abrissgebieten für Steinschlag und Felssturz

7.2 Hangbereiche am Plettenberg

Südlicher Bereich

Der südliche Bereich umfasst im Weißen Jura eine lateral von NW nach NE verlaufende konkave Traufstufe mit Walm und steil einfallender Stufenstirn mit großen Schutthalden am Hangfuß zur ersten Stufenfläche. Unterhalb der ersten bei ca. 900 m NN parallel zum Hang verlaufenden Stufenfläche verflacht sich der bewaldete Hang über einzelne kleine Geländestufen stetig (Abb. 7-2).

Am Hangfuß der steil ausgebildeten Traufstufe liegen schluffige Schutthalden aus eckigen Kalk- und Mergelsteinen sowie hangabwärts bis zu 50 m weite Blockfelder kleinerer Stein- und Blockschläge. In diesen Schutthalden sind stellenweise oberflächliches Kriechen und flache Hanganbrüche zu erkennen. Im gesamten südlichen Bereich finden sich einzelne große Felssturzblöcke (>5m³) mit zum Teil großen Distanzen zwischen potentiellem Abrissgebiet und Ablagerungsstelle. Zusätzlich kommen zwei Sturzkegel aus großen Blöcken im Zentrum und am Südostende des Hangs vor (Abb. 7-2).

Im bewaldeten Gebiet unterhalb der Schutthalden weisen Zerrspalten, in den Boden eingesunkene große Felsblöcke und Korkenzieher- wie Säbelwuchs der Baumbestände auf Kriech- und Driftbewegungen im Sockelbildner des Ornatentons hin. Einzelne, klar ausgebildete Abrisskanten zeigen unterhalb der gekrümmten, kreisförmigen Senke Rotationsrutschungen an. Die Rutschungen bilden im oberen Bereich einzelne Schollen aus, die den Hang hinabgeglitten sind, sich mit zunehmender Entfernung vom Hauptabriss immer weiter auflösen und im Bereich des Rutschungsfußes fast einem Erdstrom gleichen.

Im Süden zeigen überlappende, klar ausgebildete Abrisskanten das Auftreten kombinierter Bewegungsabläufe von oberflächennahen Translations- und tiefgreifenden Rotationsrutschungen an. Sie bilden vor allem große Rutschschollen im SE des Hangbereiches, kurz unterhalb der steil einfallenden Stufenstirn. Für den Südhang des Plettenbergs ist ein größerer Bergsturz überliefert, der sich am 6.10.1851 ereignete. Die Rutschmassen sollen entlang der heutigen Traufstufe abgeglitten und oberhalb von Ratshausen zum Stehen gekommen sein. Zeugnis dieses Ereignisses ist die Traufstufe selbst, sowie die parallel verlaufende Hangstufe und die leicht verkippte Hangleiste.

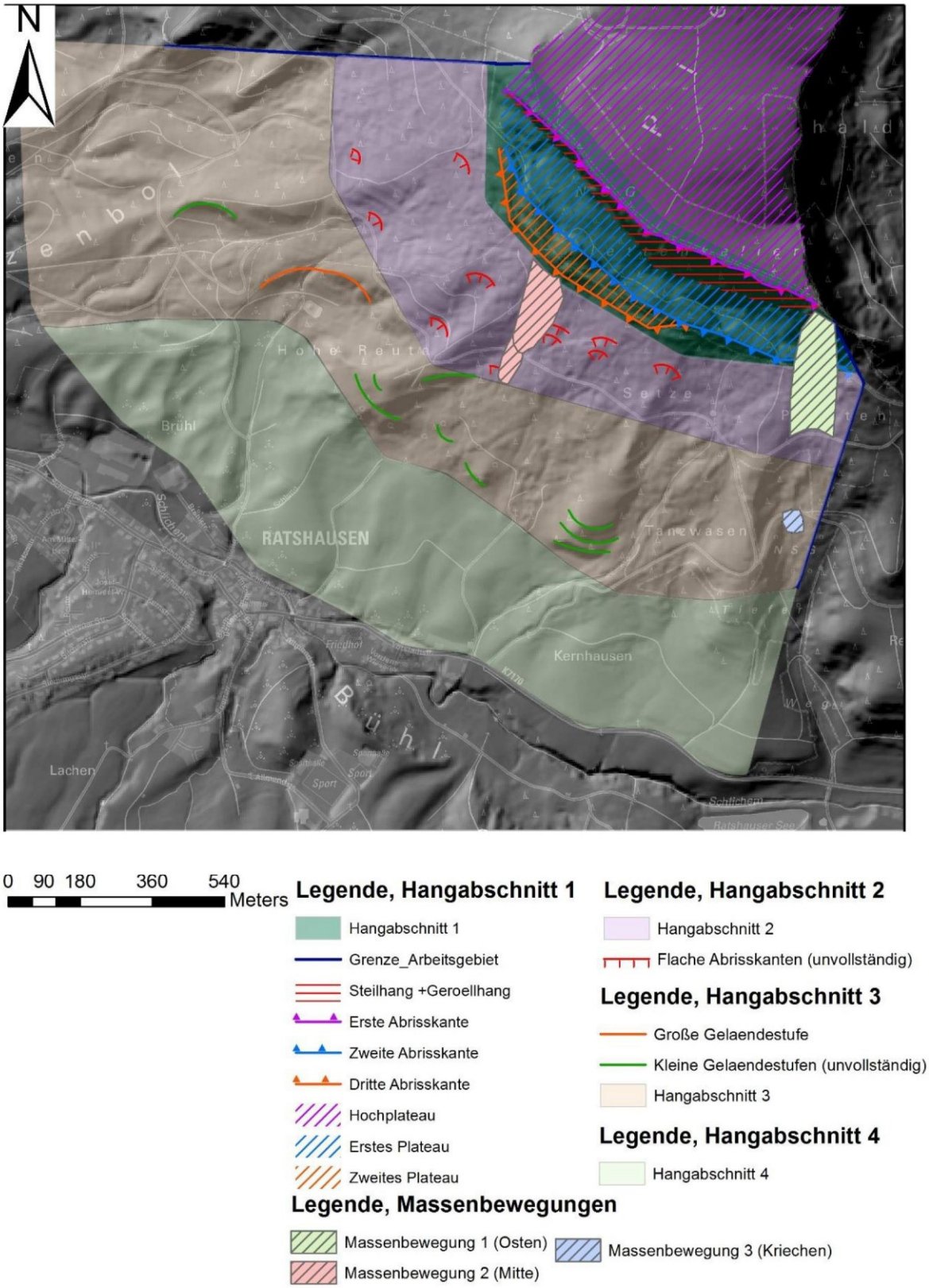

Abb. 7-2: Übersicht markanter Rutschungsstrukturen an der Südböschung des Plettenbergs (Garschagen 2016)

In der Beschreibung des Oberamts Rottweil (1875) wird berichtet, dass eine anhaltende nasse Witterung zu einer Plastifizierung des Ornatentons führte, wodurch dieser als Rutschmasse in vielen großen Rutschschollen in Richtung Ratshausen abglitt. Infolge der Destabilisierung des Hangfusses stürzten die überlagernden Felsmassen des weißen Jura an der Steilwand ab. Zeugnis dieses Ereignisses ist die heutige Traufstufe selbst sowie die parallel verlaufende Hangstufe und die leicht verkippte Hangleiste. Als Ursache wird anhaltendes Stauwasser im Ornatenton benannt. Zur Vermeidung weiterer Bergstürze wurden damals Entwässerungsmaßnahmen für einen freien Ablauf des Wassers aus dem Rutschungsgebiet ergriffen.

Westlicher Bereich

Der westliche Hangbereich am Plettenberg bildet einen nach Westen geöffneten lateral-konkaven Bogen, in der vom Sockelbildner des Ornatentons eine konkave Hangkurve über zwei Stufenhänge hin zum Stufenfirst hinweg verläuft (Abb. 7-1). Im Bereich der überlagernden oberjurassischen Gesteine erstreckt sich eine von Norden nach Süden verlaufende Traufstufe, die im Süden in eine konvexe Walmstufe übergeht. Die Traufstufe wird von einer großen, keilförmigen Ausbruchform und zur Walmstufe hin von einer lateral-konkaven Senke unterbrochen.

Auftretende Massenbewegungen im westlichen Bereich entsprechen im Wesentlichen den bereits beschriebenen Formen. In den Schutthalden am Hangfuß sind stellenweise oberflächliches Kriechen und flache Hanganbrüche zu erkennen. Blockfelder kleinerer Stein- und Blockschläge verlaufen entlang der gesamten Hangfläche mit einer mittleren Reichweite von bis zu 100 m. Im bewaldeten Gebiet unterhalb der Schutthalden weisen Zerrspalten, in den Boden eingesunkene große Felsblöcke und Korkenzieher- wie Säbelwuchs der Baumbestände auf Kriech- und Driftbewegungen im Sockelbildner des Ornatentons hin.

Im Übergang zur Walmstufe und bei dem großen keilförmigen Ausbruch sowie der Senke wurde keine Steinschlag- und Felssturzaktivität festgestellt. Zudem zeigt der Bereich keine Anzeichen von Rutschungen. Untergeordnet sind entlang von Trockenrinnen im Stufenfirst vereinzelt murähnliche Ablagerungen vorhanden.

Östlicher Bereich

Der östliche Bereich gliedert sich in zwei nach Osten geöffnete lateral-konkave Bögen, in der vom Sockelbildner des Ornatentons eine konkave Hangkurve über zwei Stufenhänge hin zum Stufenfirst hinweg verläuft (Abb. 7-1). Im Bereich der überlagernden oberjurassischen Gesteine erstreckt sich eine von Norden nach Süden verlaufende Traufstufe mit einzelnen zur Walmstufe entwickelten Partien. In diesem Bereich sind die Felswände am Trauf im Vergleich zum Westen und Süden weniger ausgeprägt und die Hangneigungen geringer.

Die Massenbewegungen im östlichen Bereich entsprechen im Wesentlichen den bereits beschriebenen Formen. Blockfelder kleinerer Stein- und Blockschläge schließen sich unmittelbar an den Schutthalden an und reichen im mittel nur wenige Meter weit. Größere Felssturzereignisse in Form stiller Zeugen sind nicht erkannt worden.

In den Schutthalden sind stellenweise oberflächliches Kriechen und flache Hanganbrüche zu erkennen. Im bewaldeten Gebiet unterhalb der Schutthalden weisen Zerrspalten und Korkenzieher- wie Säbelwuchs der Baumbestände auf Kriech- und Driftbewegungen im Sockelbildner des Ornatentons hin. Geringmächtige Abrisskanten weisen vereinzelt auf kleine abgeglittene Schollen mit Rutschungen geringen Ausmaßes hin. Murähnliche Ablagerungen sind ähnlich im Westen in Trockenrinnen verwirklicht.

7.3 Bewertung der Standsicherheit

Sämtliche Böschungen im Oberen Jura des Plettenbergs sind natürlicherweise aufgrund der geologischen und topographischen Disposition als rutschungsgefährdet einzustufen oder weisen eine Felssturzgefährdung auf. Das zeigt die ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte (IK-BW) und bestätigen die Untersuchungen (Kap. 7, s. Garschagen 2016).
Folgende Parameter wirken auf die Standsicherheit insbesondere des talseitigen Hangs am Plettenberg ein:

- Hanggeometrie,
- Bergwasserverhältnisse,
- Auflast,
- Festigkeitseigenschaften.

Aus den Inventaraufnahmen der auftretenden Massenbewegungen am Plettenberg zeichnet sich dieser durch eine hohe Steinschlagaktivität aus. Über die gesamte Fläche finden kleinere Steinschlagereignisse aus zumeist niedriger Höhe mehrmals im Jahr statt. Steinschlagereignisse zeigen eine Vergesellschaftung aus blättrigen Mergeln und plattenförmiger, dünnbankiger Kalksteine bis hin zum Fall von kompakt, quaderförmigen Blöcken. Große Felssturzereignisse finden in mehrjährigen Abstand statt und sind in Relation zum Untersuchungsgebiet punktuell verteilt.

Ein Grund für das Auftreten von Massenbewegungen ist das Öffnen von Klüften für die Wasserwegsamkeit durch felsmechanisch bedingte Spannungsrissbildung, durch Brechen von Gesteinsbrücken und damit verbundenem Kohäsionsabbau. Dadurch steigt bei Niederschlag der hydrostatische Kluftwasserdruck, was als überlagernde Beanspruchung die Neubildung von Spannungsrissen verursacht. Diese kumulierenden, langsam fortschreitenden Prozesse bewirken über Jahrzehnte einen kontinuierlichen Abbau der Kohäsion, bis örtlich begrenzt die Standsicherheit nicht mehr gegeben ist. Begünstigt wird dieser Entfestigungsprozess durch die deutlichen Unterschiede in der Verwitterungsresistenz zwischen Mergel und Kalkstein. Sie führen zur Ausbildung von Überhängen oder einzelnen Felssäulen, die von saiger einfallenden Gesteinsklüften begrenzt werden. Die außerordentlich feste Zementierung bewirkt, dass, sobald der innere Zusammenhalt größerer Gesteinspartien an einer Felsflanke oder -wand verloren geht, auch große Felsblöcke herabstürzen können.

Zu einer Gefährdung kommt es, wenn insbesondere über Regenereignisse und einsetzende Schneeschmelze Wasser über Spalten und Klüfte auf der Hochfläche versinkt und dann auf den darunter liegenden, weniger durchlässigen Mergeln zum Austritt gezwungen wird. Dadurch werden die Mergel in der oberen Hangwand aufgeweicht und breiig. Unter der Auflast des Gesteinsverbandes ausgepresst, entstehen Verkippungsebenen innerhalb der Mergelhorizonte, in der es zu Hanganbrüchen und Stein- und Blockschlägen kommt. Dieser Vorgang wiederholt sich an dem Übergang zwischen dem Impressamergel und dem Ornatenton, die im Bereich des Hangfuß des Stufenfirsts liegt. Dort kann es vorkommen, dass durch Kluftwasser aus den Mergel- und Kalksteinen der überlagenden Felsformationen der Ornatenton soweit aufgeweicht ist, dass es über eine Rotation über den Fuß mit Kippbewegungen von der Wand weg zum Absturz von großen Felsmassen kommen. Zeugnisse davon sind die großen Sturzkegel am südlichen Hang des Plettenbergs oder der Bergsturz von 1851.

Dadurch dass der Ornatenton bei ausreichenden Wassergehalten generell plastisch verformbar wird, hat dieser eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber plötzlichen Änderungen im Hanggleichgewicht. Begünstigt wird dies durch den Hangschutt am Hangfuß. Grund ist hier die Lagerung von hartem auf weichem Material, im vorliegenden Fall sind das die Kalksteine und Mergel, die den Ornatenton überlagern. Das Gewicht des Materials und die Größe der Hangneigung begünstigen einen Rutschvorgang, sobald Wasser die Scherfestigkeit vermindert. Dies führt dazu, dass sich im oftmals labilen Hanggleichgewicht befindlichen Gesteins- und Bodenmassen eine gleitfähige Zwischenschicht in der weichen Schicht bildet. Auf dieser Schicht kann es vermehrt zum Gleiten der überliegenden Gesteinsmassen kommen.

Während es im Schuttkörper selbst zu bruchhaften Gleitbewegungen mit ebener Gleitfläche kommt, können sich in der Tonschicht tiefgreifende Gleitflächen bilden. Sie treten weiter hangabwärts als Rotationsrutschungen entlang kreis- oder löffelförmigen Scherflächen auf. Noch weiter hangabwärts findet bei geringen Überdeckungen an Gesteinsmassen eine bruchlose, plastische Verformung in Form von Bodenkriechen statt.

Komplexe Hangbewegungen, in der verschiedene Prozesse sich räumlich und zeitlich überlagern, finden dann statt, wenn es zu einer undrainierten Belastung des verwitterten Ornatentons durch Felssturzmassen kommt. Infolge dessen kann es einerseits zu weiteren Felsstürzen und andererseits Rutschungen am Fuß der Felswand kommen. Dies erklärt die zum Teil ungewöhnlichen Reichweiten der großen Felssturzblöcke, die durch ein Driften auf den Rutschmassen, quasi „Huckepack“ verlagert wurden.

Untergeordnet finden murähnliche Bewegungsabläufe statt, wenn durch starke Niederschläge wenig verfestigtes Material in Trockenrinnen wasserübersättigt wird und durch Einwirkung der Schwerkraft, in Bewegung gerät. Am Plettenberg folgen Murgänge bestehenden Bachbetten oder Rinnen, verlaufen sich jedoch aufgrund geringer Suspensionsfracht nach wenigen zehner Metern.

Andere mögliche Quellen als Auslöser für Massenbewegungen sind Frosthebungen durch Kluft- und Spaltwasser oder Erschütterungen durch z.B. Erdbeben. Für den letzteren Fall führte Gerschagen (2016) Stabilitätsanalysen zur Quantifizierung der notwendigen Energien für ein Systemversagen des Südhangs durch. Sie ergaben, dass beim heutigen Zustand des Südhangs, Erdbeben der Intensität 3 - 4 auf der Mercalliskala ausreichen, um Massenbewegungen in Form von Rutschungen im Sockelbereich des

Ornatentons auszulösen. Diese Angaben sind nur als erste Orientierungswerte aufzufassen.

Die Ursachen der festgestellten Massenbewegungsprozesse können an vielen der umgebenden Berge in ähnlicher Form beobachtet werden. Die Befunde decken sich mit den Angaben der Ingenieurgeologischen Karte IK 50, auch wenn sich die Situation im Detail differenzierter und etwas weniger raumgreifend darstellt. Bei sämtlichen beschriebenen Massenbewegungen handelt es sich um natürliche Vorgänge.

8 Ableitung Niederschlagswasser und Hochwasser

Zur Ableitung des Niederschlagswassers ist im Steinbruch ein Absetzbecken und ein Rückhaltebecken eingerichtet worden. Die Planungen für die Regenwasserableitung sind in Breinlinger Ingenieure (2011) dargestellt. Da über das Becken in den anstehenden Impressamergel-Schichten keine nennenswerte Versickerung erfolgt, wurde eine Drosselleitung zur kontrollierten Ableitung des anfallenden Niederschlagswassers aus dem Becken vorgesehen. Dies ist mit einer Einleitung in den im Waldgebiet verlaufenden Waldhausbach verbunden. Die gedrosselte Beckenentleerung über die Ableitung in den Waldhausbach ist auf einen maximalen Abfluss von 20 l/s genehmigt. Die Einleitungsmenge liegt wesentlich unter dem potentiellen, natürlichen, 1-jährigen Hochwasserabfluss des Waldhausbachs im Bereich der Einleitungsstelle (nach BW-Abfluss in LUBW 2007 näherungsweise ermittelt). Der 1-jährige Hochwasserabfluss liegt bei ca. 136 l/s.

Von der Fläche des genehmigten Gesamtgebietes von etwa 55,6 ha sind derzeit etwa 40 ha als Steinbruchfläche für den Oberflächenabfluss wirksam.

Nach Breinlinger Ingenieure (2011) wurden für die Bemessung des Rückhaltebeckens im Hochwasserfall nach DWA-A 138 folgende Randbedingungen angesetzt:

Einzugsgebiet: A = 40 ha
Undurchlässige Fläche: AU = 24 ha (Ψ_m = 0,6)
Versickerungsfläche: AS = 5.077 m²
Zuschlagsfaktor nach DWA-A 117: f_Z = 1,2
Durchlässigkeit des Untergrunds: k_f = 1 x 10^{-6} m/s
Drosselabfluss: Q_{Dr} = 20 l/s
Regenhäufigkeit: n = 0,2 1/a

Für das Becken ergibt sich daraus bemessen auf das 5-jährige Regenereignis ein erforderliches Rückhaltevermögen von 17.500 m³. Der Retentionsraum des Versickerungsbeckens (V ~ 9.000 m³ bei Stauziel 940,00 mNN) wird rechnerisch etwas mehr als 2 Mal pro Jahr überstaut (halbjährige Regenreihe V_{erf} ~ 9.500 m³). Da das bestehende Gelände im Übergangsbereich zum angrenzenden östlichen Waldgebiet bis auf mindestens 941,80 ansteigt, wird das Wasser nach Erreichen des geplanten Stauziels von 940,00 mNN zunächst in der Speicherlamelle über und neben den Becken gemäß der bestehenden Topographie innerhalb des Steinbruchs zurückgehalten. D.h.

der tatsächliche Rückhalteraum ist wesentlich größer als das Volumen des Versickerungsbeckens (>> 9.000 m³). Eine unkontrollierte Entlastung in das steil abfallende Waldgebiet wird somit nach Füllung des Beckens nicht erfolgen.

Bei Berücksichtigung eines Freibords von 30 cm (tatsächliche Stauhöhe 941,80 mNN – 0,30 m = 941,50 mNN) ergibt sich einschließlich der an das Rückhaltebecken angrenzenden tiefer gelegenen Flächen ein tatsächlicher Gesamtrückhalteraum von ca. 43.000 m³.

Zu einer oberflächigen Entlastung aus dem Steinbruch bzw. dem Rückhaltebecken in das angrenzende, steile Waldgebiet wird es nach den Berechnungen der Breinlinger Ingenieure (2011) rechnerisch auch bei einem 100-jährigen Regenereignis, das einen Rückhalteraum von etwa 30.000 m³ erfordert, nicht kommen.

9 Auswirkungen des Erweiterungsvorhabens

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln 4 bis 8 bezüglich der Hydrogeologie, der Ingenieurgeologie und des Wasserhaushaltes im Wesentlichen der Ist-Zustand bzw. der Zustand beim Erreichen des aktuell genehmigten Abbaustandes beschrieben wurde, werden nachfolgend die Auswirkungen der beantragten Abbauerweiterung beschrieben. Dabei sind folgende 2 Prognosezustände Gegenstand der Bewertung:

- Prognosezustand 1: Abbauende Süderweiterung, vollständig abgebaut, ohne Rekultivierung,
- Prognosezustand 2: Komplette Rekultivierung des gesamten Abbaubereiches.

Diese Prognosezustände sind in der Anlage 4 als Karte dargestellt und werden zunächst im folgenden Kapitel 9.1 kurz beschrieben. In den nachfolgenden Kapiteln werden dann deren Auswirkungen auf die hydrogeologisch und ingenieurgeologisch relevanten Umweltbereiche und Themenfelder im Vergleich zum Ist-Zustand bzw. dem Zustand bei Ende der bestehenden Genehmigung beschrieben und bewertet. Für den Prognosezustand 1 (Abbauende Süderweiterung) wird im Rahmen einer worst-case Annahme die bis dahin sehr wahrscheinlich bestehende Rekultivierungsfläche nicht berücksichtigt. Zu den Auswirkungen der geplanten Abbauerweiterung auf die Standsicherheit im Bereich des Plettenberges wird ein gesondertes Gutachten von Prof. Dr. Fernandez-Steger, Berlin erstellt (s. Kap. 7.3).
Die Prognosen gehen von einer geplanten Abbauerweiterung wie auf Anlage 3 umgrenzt und mit einer Fläche von 8,8 ha aus (näheres in Kap. 9.1). Im Fall einer eventuellen Verkleinerung des Erweiterungsgebietes ergeben sich keine Verschlechterungen bei den prognostizierten Auswirkungen betreffend die hier bewerteten Umweltbereiche. Bei einzelnen Umweltbereichen, wie z.B. dem Wasserhaushalt, kann es durch ein verkleinertes Erweiterungsgebiet auch zu Verbesserungen gegenüber den hier beschriebenen Auswirkungen kommen.

9.1 Abbauerweiterung und Rekultivierung

Die genehmigte Abbaufläche im Kalksteinbruch Plettenberg hat eine Größe von etwa 55,6 ha (Anlage 3). Die beantragte Süderweiterung des Steinbruchs besitzt eine Abbaufläche von 8,8 ha. Der Abbau wird weiterhin im Trockenabbau, d.h. oberhalb des

Grundwassers, erfolgen. Nennenswerte Deckschichten über dem Kalkstein sind hier nicht vorhanden. Die Gesamtfläche beträgt damit 64,4 ha.

Ausgehend von einer Geländehöhe zwischen 980 und knapp 1.000 mNN kann der Kalkstein in einer Mächtigkeit von etwa 37 bis 57 m abgebaut werden.

Während im Westen und Norden des bestehenden Abbaus eine etwa 100 m breite Gesteinsrippe zum natürlichen Steilhang stehen bleibt, die in Teilen auch bereits rekultiviert wurde, wird im Bereich der aktuellen Genehmigung nach Osten der gesamte Kalksteinkomplex bis oberhalb vom höchsten Grundwasserstand abgebaut.

Die beantragte Abbauerweiterung Süd schließt sich direkt im Süden an die genehmigte Abbaugrenze an. Die Süderweiterung hält einen Abstand zur westlichen und zur südwestlichen Hangkante von ca. 250 m, zur südlichen Hangkante von ca. 290 m und zur östlichen Hangkante von etwa 125 m ein. Der Gesamtabbau behält die Charakterisierung als Hangabbau.

Zur Festlegung der unteren Abbausohle im Erweiterungsgebiet empfehlen wir eine verbleibende Grundwasserüberdeckung von 2 m (LfU-BW 2004). Nach den Messungen liegen die höchsten Grundwasserstände im bestehenden Steinbruch bei maximal etwa 940 bis 941 mNN (GWM01, GWM02, GWM03, Abb. 6-1). Für das Erweiterungsgebiet liegen Grundwasserstandsmessungen aus den neuen Grundwassermesssstellen B2015-1 und B2015-2 seit November 2015 über einen Zeitraum von etwa 2 Jahren vor und umfassen sowohl sehr niederschlagsarme Abschnitte (Dezember 2015, August – Oktober 2016, Juli – August 2017) als auch sehr niederschlagsreiche Abschnitte (April – Mai 2016, Mai - Juni 2017). Die in den neuen Grundwassermessstellen im Erweiterungsgebiet gemessenen Wasserstände zeigen deutlich höhere Schwankungen als im bestehenden Abbaubereich (Abb. 6-1). Auf der Anlage 5-1 und und der Anlage 5-2 ist die Grundwasseroberfläche auf der gesamten Plettenberg-Höchfläche für den Dezember 2015 bei etwa mittleren Grundwasserständen und für den November 2016 bei eher niedrigen Grundwasserständen vereinfacht dargestellt. Die Grundwasseroberfläche liegt im Erweiterungsgebiet nach den Messdaten überwiegend im Bereich zwischen etwa 928 mNN und 940 mNN. Das Grundwasser fließt generell zu den Außenböschungen hin ab, so dass dort die niedrigsten Grundwasserstände und im zentralen Bereich des Plettenberges die höchsten Grundwasserstände auftreten.

Wie die Messungen in den Grundwassermessstellen zeigen (Abb. 6-1), können kurzzeitig, zumeist nur für Stunden, auch höhere Wasserspiegel in den Grundwassermessstellen, z.B. nach ergiebigen und längeren Regenfällen, wie z.B. im April und Mai 2016 oder im Mai 2017, gemessen werden. Dabei zeigt sich die Reaktion insbesondere der größeren, ausgedehnteren Klüfte (primäres Trennflächensystem) auf das primäre Auffüllen durch das versickernde Niederschlagswasser. Das versickernde Niederschlagswasser dringt zunächst nicht oder nur sehr langsam in das feinere und weniger ausgedehnte Kluftnetz (sekundäres Trennflächensystem) außerhalb der Haupttrennflächen ein. Eine durchgehende Grundwasseroberfläche im Impressamergel oberhalb des die Hohlräume (Klüfte) zusammenhängend ausfüllenden Grundwassers wird durch die in den Messstellen gemessenen „Peaks“ daher nicht wiedergegeben. Wenn sich das versickernde Regenwasser nach einigen Tagen auf den gesamten Kluftraum und damit auch die kleineren Klüfte des sekundären Trennflächensystems verteilt hat, kann von einer Grundwasseroberfläche und einem Grundwasserstand im hydrogeologischen Sinne gesprochen werden. Daher stellt sich erst mehrere Tage nach einem Regen-Versickerungs-Ereignis - nach den Aufzeichnungen der Datenlogger ist von mindestens 5 Tagen auszugehen (Kap. 6.2) - so etwas wie eine (durchgehende) Grundwasseroberfläche ein, welche gemäß der Definition als diejenige Fläche definiert ist, unterhalb derer sämtliche Klüfte und Hohlräume wassererfüllt sind. Zu den Abläufen bei der Versickerung zeigt die Abb. 9-1 ein Schema.

Für die kurzzeitig (für Stunden) gemessenen sehr hohen Wasserstände in den Grundwassermessstellen, die nicht auf den umgebenden Kluft-Grundwasserleiter, oder in diesem Fall auf den Grundwassergeringleiter, übertragbar sind und nicht die Grundwasseroberfläche wiedergeben, können daher keine Grundwassergleichen fachtechnisch hergeleitet werden.

Der Kluftraum im Impressamergel im zentralen Teil des Plettenbergs und dem Abbaubereich ist mit maximal 1 bis 2 % insgesamt sehr gering. Im Steinbruch ist durch die nicht mehr vorhandene Auflast eine Entspannung des Gebirges eingetreten, so dass der Kluftraum vergrößert ist und nach Niederschlägen das temporäre hohe Auffüllen von einzelnen Klüften nicht mehr auftritt. Gleiches gilt für die natürlicherweise aufgelockerten Gebirgsbereiche an den Böschungen oder an der Geländeoberfläche. Die im Erweiterungsgebiet bestehenden, neuen Grundwassermessstellen B2015-1 und B2015-2 geben die aktuelle Situation im Erweiterungsgebiet mit geringem Kluftraum unter der Auflast des Kalksteins wieder (s. Kap. 6.2).

Für das Erweiterungsgebiet wird daher ein Hochwasserstand der Grundwasseroberfläche, vergleichbar dem bestehenden Abbaubereich von etwa 941 mNN prognostiziert. Zum Schutz des Grundwassers sollte im Abbaubereich ein Flurabstand von etwa 2 m zum höchsten Grundwasserstand während des Abbaus eingehalten werden. Für dieses Abstandskriterium wird als Höhenlage der untersten Abbausohle im Erweiterungsgebiet beim heutigen Untersuchungsstand etwa 943 mNN prognostiziert. Ein leichter Anstieg der Abbausohle nach Süden, ausgehend von der jetzigen Abbausohle, wird dabei empfohlen.

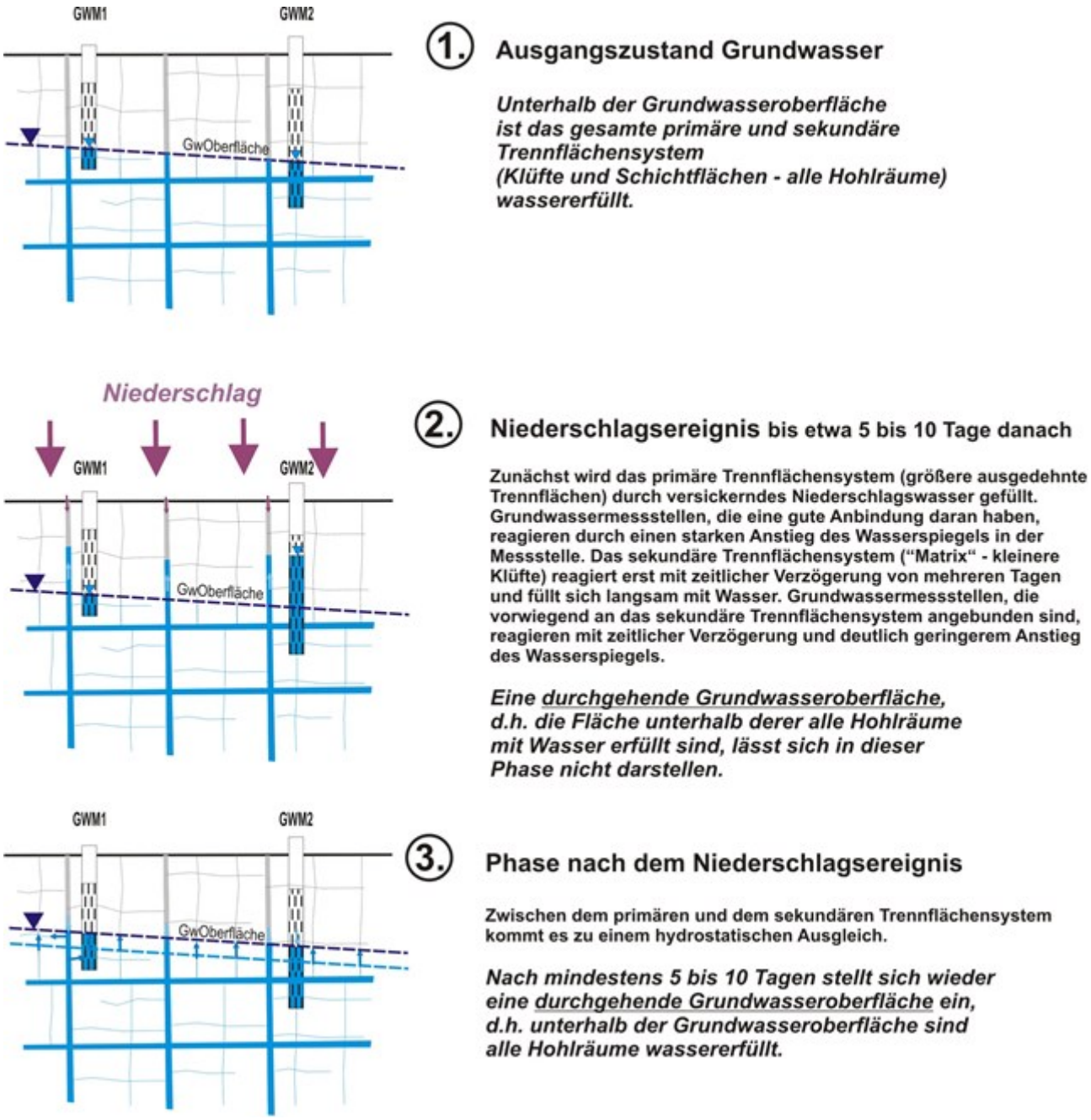

Abb. 9-1: Schemabild zur Reaktion geklüfteten Kalk- oder Mergelsteins auf Niederschlagsereignisse und Ausbildung einer durchgehenden Grundwasseroberfläche

Im nördlichen Teil des bestehenden Steinbruches hat bereits die Rekultivierung einer größeren Fläche von etwa 7 ha eingesetzt (Anlage 3, Anlage 4). Auf die Fläche wurde eine etwa 0,3 bis 0,5 m mächtige Basisschicht aus Kalksteinschotter und Lehm aufgebracht, die als Drainageschicht wirksam ist. Diese wurde mit einer Schicht aus Humus oder Mähgut bedeckt um eine Wacholderheide zu entwickeln. Außerdem sind die ehe-

maligen Abbau-Steilwände nach dem Vorbild der natürlichen Steilwände am Plettenberg durch umfangreiche Anschüttungen hergerichtet.
Die aktuelle Rekultivierung ist auch im Sinne des Grundwasserschutzes, in dem sie eine filtrierende Funktion ausübt und den natürlichen Wasserhaushalt auf dem Plettenberg weitgehend wieder herstellt. Diese Rekultivierungsfläche und die Rekultivierung der Abbau-Wände wird sukzessive mit dem weiteren Abbau erweitert.
Beim Abbau-Endstand der Süderweiterung gemäß der beantragten Genehmigung wird der Steinbruch die in Anlage 4 dargestellten Abmessungen haben. Nach Abschluss der Rekultivierung wird der Prognosezustand 2 wie in Anlage 4 dargestellt aussehen.

9.2 Deckschichten

Das Grundwasser in den geklüfteten Festgesteinsschichten des Impressamergels im Erweiterungsgebiet, das mit einer Mächtigkeit bis etwa 10 m im Bereich zwischen 930 und 940 mNN ansteht, wird gegenüber Stoffeinträgen durch folgende natürliche Deckschichten geschützt.

- Oberbodenschicht: Im Erweiterungsgebiet des Steinbruches ist generell nur eine sehr geringe Bodenbildung vorhanden. Nach Bohrerkundungen beträgt die Über den Massenkalken beträgt diese wenige Dezimeter. Für die Abbauplanung wird eine flächenhafte Deckschicht-Mächtigkeit von generell weniger als 0,5 m über den Wohlgeschichteten Kalken angenommen. Durch die geringmächtige und teilweise fehlende Oberbodenschicht besteht im bestehenden Zustand insgesamt ein geringes Schutzpotential für das Grundwasser.
- Festgesteinsschicht: Die dem Grundwasser überlagernde geklüftete Kalksteinschicht der Wohlgeschichteten Kalke und des oberen Impressa-Mergels mit Mergelstein- und Kalksteinschichten (Oberer Jura) besitzt im Erweiterungsgebiet eine Mächtigkeit von 40 bis 60 m. Diese Festgesteinsschicht übt aufgrund der Klüftung und bereichsweisen Verkarstung eine insgesamt nur sehr geringe Schutzfunktion auf das Grundwasser aus.

Das Grundwasser innerhalb der Hangschuttkörper und Rutschmassen an den Böschungen des Plettenberges, das unmittelbar oberhalb der meisten Quellen liegt, ist durch eine nur geringmächtige Lockergesteinsschicht aus Sand, Schluff und Ton gegen Stoffeinträge geschützt. Die Schutzfunktion der bestehenden Grundwasserüberdeckung ist nach dem Bewertungsverfahren gemäß Hölting et. al (1995) als gering einzustufen.

Prognosezustand 1: Abbau-Ende Süderweiterung

Im Rahmen des Abbaubetriebs werden der Oberboden sowie die Festgesteinsschicht bis auf eine verbleibende Schicht von etwa 2 m über der höchsten Grundwasseroberfläche entfernt. Durch die Verringerung der Deckschichten-Mächtigkeit wird die bestehende, insgesamt sehr geringe natürliche Schutzfunktion der Deckschichten weiter verringert. Das gilt für die aktuelle Abbaufläche und das dort im Grundwassergeringleiter „Impressamergel“ zirkulierende Grundwasser.

Abbaubegleitend erfolgt die Rekultivierung, in deren Rahmen durch das Aufbringen neuer Bodenschichten und feinkörniger Lockersedimente mit einer Mächtigkeit von im Mittel etwa 1,8 m die Schutzfunktion gegenüber dem Grundwasser im Vergleich zum Abbauzustand deutlich verbessert wird. Im Vergleich zum nicht abgebauten Zustand ergibt sich eine deutlich Verringerung der Mächtigkeit der Deckschicht von mehr als 30 bis 50 m auf mindestens etwa 2 m oder 3,8 m einschließlich der Rekultivierungsschicht. Die Rekultivierungsschicht aus feinkörnigem bis grobkörnigem Lockergesteinsmaterial besitzt aufgrund eines höheren Porenanteils, der feinkörnigen Komponente und des Bewuchses eine höhere Qualität, als der pure geklüftete Gesteinskörper und gleicht somit die stark verminderte Mächtigkeit der Deckschicht zu einem Teil wieder aus. Eine Erhöhung der Deckschichten-Mächtigkeit im Zuge der Rekultivierung auf durchschnittlich 1,8 m oder durch die Vorschüttung an den Endabbauwänden führt insgesamt zu einer weiteren Verbesserung der Schutzfunktion gegenüber dem Abbauzustand.

Während des Gesteinsabbaus im Erweiterungsgebiet ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung gegenüber dem jetzigen Zustand temporär verringert. Daher sind entsprechende Maßnahmen zum Schutz des Grundwasser während des Abbaus einzuhalten (s. Kap. 10). Durch die abbaubegleitende Rekultivierung wird die Schutzfunktion der Deckschichten für das Grundwasser erhöht, so dass sich auf diesen Flächen keine relevante Verschlechterung gegenüber dem Ausgangszustand ergibt.

Prognosezustand 2: Komplette Rekultivierung auf gesamter Abbaufläche

Nach Abschluss der Rekultivierung ist die gesamte Steinbruchfläche mit einer Rekultivierungsschicht versehen, die aufgrund des Anteils an Kalksteinschotter, an feinkörnigem Sediment, an der Bodenschicht und dem Bewuchs eine wirksame Schutzfunktion

der Deckschichten gegenüber dem Grundwasser in den geklüfteten Schichten des Impressamergels als Geringleiter wieder herstellt. Die Schutzfunktion der Deckschicht gegen Stoffeinträge wird nach der Rekultivierung im Erweiterungsgebiet als mindestens gering einzustufen sein. Gegenüber dem bestehenden Zustand ergibt sich im rekultivierten Zustand bezüglich der Schutzfunktion der Überdeckung keine relevante Verschlechterung im Vergleich zum bestehenden Zustand. Die Deckschicht oberhalb des Grundwassers innerhalb der Hangschuttkörper und Rutschmassen an den Böschungen des Plettenberges und im Nahbereich der Quellen wird durch die Abbauerweiterung und damit für beide Prognosezustände nicht betroffen. Auf der Anlage 7-3 ist der Aufbau der Rekultivierungsschicht im Profil schematisch dargestellt.

9.3 Wasserhaushalt

Die aktuelle Situation/Ist-Zustand des Wasserhaushaltes ist in Kap. 4 beschrieben. Die aktuelle sowie auch zukünftige Kalksteingewinnung im Steinbruch erfolgt im Trockenabbauverfahren. Demzufolge liegt keine direkte Beeinflussung des Grundwassers vor, so dass keine Veränderung der Lage der Grundwasseroberfläche sowie der Fließverhältnisse durch eine Entnahme oder Einleitung von Wasser erfolgt.
Allerdings können die Grundwasserstände durch Veränderungen der Wasserhaushaltsgrößen (Evaporation, Abfluss bzw. Grundwasserneubildung) indirekt beeinflusst werden.

Prognosezustand 1 – Abbau-Ende Süderweiterung

Mit dem Kalksteinsteinabbau auf der vorgesehenen Erweiterungsfläche des Steinbruchs werden die Vegetationsdecke sowie die geringfügig vorhandene, unterlagernde Bodenschicht entfernt. Unter Berücksichtigung der in Kap. 4 dargelegten Wasserhaushalts-Parameter werden durch den Steinbruch nachstehende Veränderungen in Bezug auf die Wasserbilanz hervorgerufen.

Während der Abbauphase verringert sich die Verdunstung (Evapotranspiration Etr) von 436 mm/a theoretisch auf 256 mm/a, da der Anteil der Transpiration durch Pflanzen nahezu entfällt und nur die Evaporation verbleibt. Infolge der Abbautätigkeiten, bei denen unvermeidbar Feinmaterial sedimentiert und Oberflächen durch den betrieblich bedingten Verkehr verdichtet werden, sammelt sich auf den Sohlen des Steinbruchs temporär und lokal Niederschlagswasser an und bildet offene Wasserflächen, die vor allem im Sommer zu einer höheren Verdunstungsrate beitragen. Generell ist die Verdunstung

von offenen Wasserflächen höher als die von Landflächen einzustufen, so dass die Gesamt-Verdunstung im offenen Steinbruchbereich mit etwa Etr = 350 mm/a etwas höher angesetzt werden kann als die reine Evaporation von 256 mm/a.

Ausgehend von einer mittleren Niederschlagssumme von N = 1.040 mm/a und einer Verdunstung von Etp = 350 mm/a verbleiben als Abfluss A_{ges} = 790 mm/a. Davon werden bis zu etwa A_U = 600 mm/a wie bisher im Istzustand des Abbaubereiches auf die Grundwasserneubildung (GWN) entfallen. Eine wesentlich höhere Grundwasserneubildung ist bei den bestehenden geologischen Verhältnissen mit der Funktion des Impressamergels als Grundwassergeringleiter nicht zu erwarten. Zwar wird es durch die Entspannung des Gebirges nach dem Abbau zu einer begrenzten Erweiterung der Klüfte und Hohlräume im Impressamergel kommen, so dass eine etwas höhere Versickerungsfähigkeit zu erwarten ist. Der Versickerungsraum insgesamt wird durch den Gesteinsabbau aber verkleinert. Daher wird davon ausgegangen, dass die verbleibenden knapp 200 mm (Ages – Au: 790 mm/a – 600 mm/a) als Oberflächenabfluss weiterhin über das Rückhalte- und Absetzbecken und die am Osthang bestehende Rohrleitung zum Waldhausbach abgeleitet werden. Diese Oberflächenabfluss-Komponente tritt auf der noch nicht rekultivierten Steinbruchfläche auf. Die Grundwasserneubildung im Steinbruch wird in vergleichbarer Größe wie vor dem Abbau sein (s. Kap. 4.2).

Im Zuge einer worst case Betrachtung wird für die Abflussprognose von einer maximalen offenen (d.h. nicht rekultivierten) Steinbruchfläche wie folgt ausgegangen:

- Genehmigte offene Steinbruchfläche = 42,4 ha (errechnet sich aus: Genehmigte Steinbruchfläche gesamt = 55,6 ha, abzüglich bestehende Rekultivierung = 8,6 ha, abzüglich Altrekultivierungen =3,7 ha, abzüglich Abbau-Verzichtsfläche = 0,9 ha)
- Beantragte Erweiterungsfläche = 8,8 ha.

Daraus ergibt sich eine maximale offene Steinbruchfläche von 51,2 ha. Der Fortgang der abbaubegleitenden Rekultivierung wird in der Berechnung nicht berücksichtigt. Bei einem oberirdischen Abfluss von 200 mm (0,2 m³/(Jahr*m²)) beträgt der Oberflächenwasserabfluss im Steinbruch bei Abbauende nach bestehender Genehmigung im Mittel etwa 89.000 m³/Jahr und etwa 2,8 l/s. Diese Wassermenge fließt über das Becken im Mittel dem Waldhausbach zu, was durch Messungen im Jahr 2015 auch nachgewiesen werden konnte. Bei Abbauende der Erweiterungsfläche erhöht sich ohne Berücksichtigung der zwischenzeitlich erfolgenden weiteren Rekultivierung der mittlere Oberflächenabfluss im Steinbruch auf etwa 102.400 m³/Jahr und etwa 3,2 l/s.

Auf die Hochwasserabflüsse und dessen Ableitung wird in Kap. 8 bezogen auf den genehmigten Abbaustand eingegangen. In Kap. 9.8 wird die Hochwasserableitung bezogen auf die Abbauerweiterung beschrieben und bewertet.

Prognosezustand 2: Komplette Rekultivierung auf gesamter Abbaufläche

Bei einer Rekultivierung der gesamten Steinbruchfläche kommt es durch die Bodenschicht und den Pflanzenbewuchs wieder zu einer erhöhten Verdunstung und Transpiration, der etwa dem Wasserhaushalt vor dem Gesteinsabbau nahe kommt. Damit geht der Oberflächenabfluss zurück. Außerdem trägt die Speicherfähigkeit der Rekultivierungsschicht dazu bei, dass Regenwasser zwischengespeichert werden kann und die Menge des oberirdisch abzuleitenden Wassers langfristig reduziert wird. Die Druckentspannung der Gesteine im Bereich der Abbausohle führt zu einer Erhöhung des Kluftvolumens, so dass dieser für den Wasserhaushalt nutzbar wird. Der Wasserhaushalt auf den rekultivierten Flächen nähert sich daher dem früheren Wasserhaushalt an, der auf der Hochfläche vor dem Abbau bestand. Nach Fertigstellung der Rekultivierung im gesamten Steinbruch einschließlich Erweiterungsgebiet herrscht durch die Rekultivierung ein dem Ausgangszustand vor dem Gesteinsabbau angenäherter natürlicher Wasserhaushalt vor.

In welchem Maße der Oberflächenabfluss aus dem Steinbruch mit der zunehmenden Rekultivierungsfläche nach Abbauende zurückgehen wird, sollte durch eine kontinuierliche Aufzeichnung der Abflussmengen aus dem Rückhaltebecken erfasst werden (s. Kap. 10). Dann kann über eine mögliche Verringerung der Rückhalteräume oder einen kompletten Rückbau der Becken entschieden werden.

9.4 Grundwasserstände und Grundwasserströmungsfeld

Die aktuellen Grundwasserstände im Steinbruch und im Erweiterungsgebiet sind in Kap. 6.2 beschrieben, die aktuellen Grundwasserfließverhältnisse in Kap. 6.6. Die Anlagen 5-1 und 5-2 zeigen aktuelle Grundwassergleichenpläne vom Plettenberg.

Prognosezustand 1 - Abbauende Süderweiterung

Der Gesteinsabbau im Bereich der Süderweiterung erfolgt oberhalb vom Grundwasser. Da auch die Grundwasserneubildungsrate während des Abbaus nicht erhöht ist (s. Kap. 9.3), werden die Grundwasserstände im Erweiterungsgebiet durch den Abbau nicht relevant verändert. Im Abbaubereich wird durch die nicht mehr vorhandene Auflast eine Entspannung des Gebirges eingetreten, so dass sich der Kluftraum im Bereich der Abbausohle etwas vergrößert. Nach Niederschlägen tritt das temporäre hohe Auffüllen von einzelnen Klüften, wie bei den Grundwassermessstellen B2015-1 und B2015-2 zu beobachten, nicht mehr auf. Es werden sich Grundwasserstände und Ganglinien vergleichbar den derzeit im Abbaubereich befindlichen Grundwassermessstellen (GWM02, GWM03) einstellen (Abb. 6-1).

Das Grundwasserströmungsfeld im Erweiterungsgebiet Süd mit den Fließrichtungen nach Westen, Süden und Osten wird sich ebenfalls nicht relevant verändern, da der Abbau oberhalb vom Grundwasser erfolgt und die Grundwasserneubildungsrate gegenüber dem Istzustand etwa gleich bleibt. Die Abbausohle des Steinbruches ist nicht als Wasserstauer wirksam, wie die Messungen im bestehenden Abbau zeigen (s. Kap. 6.2).

Die auf der Anlage 5 und 6 markierten Grundwasserscheitelungen, die die Bereiche mit unterschiedlichen Haupt-Grundwasserfließrichtungen auf dem Plettenberg gegeneinander abgrenzen, sind in ihrer Lage mit einer vermutlichen Schwankungsbreite von einigen 10er Metern relativ ortsfest. Im Erweiterungsgebiet lässt sich die Lage der Grundwasserscheitelung auf Grundlage der Grundwasserstandsdaten und der Markierungsversuche nur grob abschätzen und kann erst im Zuge des Abbaus durch Messstellen genau festgelegt werden. Geringfügige Verschiebungen der Lage sind für die Abbauphase möglich. Das hat aber keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser im Allgemeinen oder die Quellen im Besonderen (s. Kap. 9.7).

Prognosezustand 2: Komplette Rekultivierung auf gesamter Abbaufläche

Auch nach Ende der Rekultivierung bleiben die Höhenlage der Grundwasseroberfläche, die Grundwasserfließrichtung und das generelle Grundwasserströmungsfeld konstant und gegenüber dem Ist-Zustand sowie dem Zustand vor Beginn der Süderweiterung weitgehend unverändert.

9.5 Grundwasserbeschaffenheit

Die Gehalte der chemischen Parameter sind unauffällig. Sie liegen im Rahmen der örtlichen Hintergrundwerte und weisen keine Überschreitungen von Grenzwerten auf (s. Kap. 6.4). Die in den chemischen Analysen im Juli 2015 überprüften Leitparameter zeigen keine Auffälligkeiten. Das gilt vor allem auch für die Analysenparameter, die Sprengstoffrückstände anzeigen können, wie z.B. Nitrat und andere Stickstoff-Verbindungen. Sämtliche dieser Stoffe zeigen unauffällige Gehalte.

Beim Abbaubetrieb unter Einhaltung der gängigen Sicherheitsbestimmungen entstehen keine Stoffeinträge in das Grundwasser und auch keine Gefährdungen für das Grundwasser. Für die Fläche der beantragten Erweiterung ist daher ebenfalls davon auszugehen, dass hierdurch keine negative Auswirkung auf die Grundwasserbeschaffenheit und die Qualität des Quellwassers entsteht. Ebenso wird die Rekultivierung im Endausbauzustand nicht zu einer negativen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit führen. Die Rekultivierungsschicht erhöht im Vergleich zur offenen Steinbruchfläche auch den qualitativen Schutz des Grundwassers durch die filtrierende Wirkung der Bodenschichten.

9.6 Naturschutzgebiete und FFH-Gebiete

In der unmittelbaren Umgebung des Steinbruchs liegen FFH-Gebiete bzw. Naturschutzgebiete (Anlage 2). Im Folgenden wird für jedes dieser Gebiete spezifisch eine Bewertung einer Beeinflussung oder Beeinträchtigung durch das beantragte Erweiterungsvorhaben vorgenommen.
Wie bereits in der aktuell gültigen Genehmigung festgelegt, ist auch weiterhin im Rahmen der Abbautätigkeiten kein Anschnitt des Grundwassers und somit weiterhin das Trockenabbauverfahren für die Hereingewinnung des Kalksteins vorgesehen. Ebenso wird die Abbautechnik gegenüber dem bestehenden Zustand nicht verändert.

9.6.1 Naturschutzgebiet Plettenkeller

Das Naturschutzgebiet Plettenkeller umfasst die Felskante am Südwestrand, am Südrand und am Südostrand des Plettenberges. Dazu gehört ein an die Steilwand angrenzender Streifen der Hochfläche von 100 m Breite (Anlage 2).

Nach der Schutzgebietsverordnung des RP Tübingen vom 5.12.1985 ist der wesentliche Schutzzweck, „den südlichen Plettenberg zu erhalten mit seiner absolut natürlichen Vegetation am Steilhang, der naturnahen Heide auf seiner Hochfläche und dem naturnahen Wald im »Plettenkeller«“. Demnach führen „die extremen Relief-, Klima- und Bodenbedingungen …. zu einer äußerst feingliedrigen Struktur von Lebensräumen für zahlreiche gefährdete, geschützte und seltene Pflanzen- und Tierarten“. Neben anderen Verboten sind aus hydrogeologischer Sicht hier folgende Verbote zu nennen:

- die Bodengestalt zu verändern und
- Entwässerungs- oder andere Maßnahmen vorzunehmen, die den Wasserhaushalt des Gebietes entgegen dem Schutzzweck verändern.

Der geplante Abbau der Süderweiterung bleibt außerhalb des Naturschutzgebietes Plettenkeller. Es wird somit keine Veränderung der Bodenstruktur des NSG eintreten.

Der Abbau der Süderweiterung erfolgt, wie im bestehenden Steinbruch auch, oberhalb der Grundwasseroberfläche. Eine Entwässerung oder eine Grundwasserentnahme erfolgt nicht. Das gilt auch für die an den Abbau angrenzenden Bereich des Naturschutzgebietes. Wie die Untersuchungen und Auswertungen zum Wasserhaushalt gezeigt haben (Kap. 6.7, Kap. 9.8), wird der Wasserhaushalt im Abbaugebiet nur dahingehend verändert, dass die Verdunstung während der Abbauphase verringert wird und stattdessen der Oberflächenabfluss erhöht wird. Der unterirdische Abfluss (Grundwasserabfluss) bleibt unverändert. Das Naturschutzgebiet Plettenhalde wird bei natürlicherweise fehlendem Oberflächenabfluss nur durch den unterirdischen Abfluss geprägt. Aufgrund des hohen natürlichen Flurabstandes von mehr als 40 m zwischen der belebten Zone auf dem Plettenberg und dem Grundwasser, spielt der unterirdische Wasserhaushalt und besonders der Grundwasserhaushalt für den Bewuchs auf der Geländeoberfläche des Naturschutzgebietes keine wirksame Rolle. Der Bodenwasserhaushalt im Naturschutzgebiet ist auf die sehr geringmächtige Bodenschicht beschränkt. Diese ist vom Grundwasser hydraulisch abgekoppelt.
Daher wird durch den Abbau während der Abbauphase auch der Wasserhaushalt des Naturschutzgebietes nicht beeinflusst oder beeinträchtigt.

Nach der endgültigen Rekultivierung im Erweiterungsgebiet stellt sich dort ein Wasserhaushalt ein, der den natürlichen Verhältnissen nahe kommt, so dass auch dann keine negativen Auswirkungen auf das Naturschutzgebiet bestehen.

9.6.2 Natürliche Quellen

Der geschützte Biotoptyp und FFH-Lebenraumtyp "Quelle" tritt als Sickerquellen an mehreren Stellen des Plettenbergs unterhalb der Steilwand auf. Der Umweltgutachter AG.L.N. hat insgesamt mehr als 50 dieser Sickerquellen am Plettenberghang auf Geländehöhen von etwa 850 mNN bis 910 mNN kartiert. Hydrogeologisch lassen sich diese den 5 unterschiedenen Quellgruppen am Plettenberg zuordnen (Anlage 2).

- Quellgruppe Nord: 8 Sickerquellen
- Quellgruppe West: 16 Sickerquellen
- Quellgruppe Süd: 4 Sickerquellen
- Quellgruppe Südost: 19 Sickerquellen
- Quellgruppe Ost: 13 Sickerquellen

Teile der Sickerquellen sind als Kalktuffquellen ausgebildet. Eine Kalktuffquelle wird durch kalkhaltiges Grundwasser gespeist und ist durch das Ausfällen von Kalksinter (Kalktuff) im Quellbereich geprägt. Bei der Bildung der Kalktuffe spielen standorttypische Pflanzen, insbesondere Moose eine entscheidende Rolle.

Hydrologische Voraussetzung für die Kalktuffquellen ist, dass ganzjährig kalkhaltiges Quellwasser mit einer Temperatur bis 7 °C austritt, so dass es durch die Temperaturerhöhung und Druckentlastung am Quellaustritt zu einer Freisetzung von CO_2 kommt und damit Calciumcarbonat ausgefällt wird. Dieser Prozess wird durch Moose verstärkt, die dem Quellwasser zusätzlich durch Photosynthese CO_2 entziehen.

Die Sickerquellen besitzen ein Einzugsgebiet, das sich vorwiegend innerhalb der Hangschuttkörper ausdehnt und bis in die angrenzenden, aufgelockerten Festgesteinsbereiche der Steilhänge erstreckt. Die Hangschuttkörper bestehen aus Kalksteinschutt in unterschiedlichen Korngrößen, der in eine feinkörnige, schluffig-tonige Matrix eingebunden ist und stehen nahezu flächenhaft unterhalb der Felsböschungen an. Sie sind hydrogeologisch als Lockergesteinsgrundwasserleiter wirksam, der aufgrund des Ton- und Schluffanteils als eher mäßig bis gering durchlässig einzustufen ist. Das in diesen Schichten versickerte und zwischengespeicherte Niederschlagswasser fließt dementsprechend langsam ab und tritt relativ gleichmäßig und kontinuierlich sowie über eine gewisse Austrittsfläche verteilt zu Tage. Die insgesamt geringen mittleren Schüttungsmengen der einzelnen Sickerquellen von deutlich weniger als 0,4 l/s erfordern relativ kleine Einzugsgebiete von maximal etwa 1 bis 2 ha Größe. Damit liegen die Einzugsgebiete der Quellen überwiegend innerhalb der Lockergesteinsschichten der Hangschutt-

massen. Die Grundwasser führenden Festgesteinsbereiche, die sich oberhalb der Rutschmassen auf dem Plettenberg erstrecken, zählen zum erweiterten Einzugsgebiet der Quellen, wobei die Trauf nahen, nicht vom Steinbruch betroffenen Bereiche im Wesentlichen die tributären Zuflussgebiete zu den Quelleinzugsgebieten in den Rutschmassen darstellen.

Der Gesteinsabbau im Kalkstein des Erweiterungsgebietes erfolgt oberhalb des Grundwassers, so dass der Grundwasserkörper im Impressamergel unter der Abbausohle nicht in erheblichem Maße in seinen hydrogeologischen Eigenschaften verändert wird. Außerdem erfolgt der Gesteinsabbau nicht in den stärker aufgelockerten Gesteinen am Trauf, sondern in den weitgehend unverwitterten Gesteinsbereichen des inneren Plettenberges. Durch die Entlastung des Gebirges nach dem Abbau wird sich der Kluftraum etwas vergrößern, der Grundwasserabfluss aus dem Impressamergel in die Hangbereiche (Hangschuttkörper) wird durch den Abbau aber in seiner Menge nicht verringert. Der Zufluss von Grundwasser aus dem Kalkstein in die Hangschutt-Körper und damit das beständige „Auffüllen“ der dortigen Grundwasserspeicher erfolgt weiterhin, auch während des Abbaus und nach der Rekultivierung, da die Abbautätigkeiten oberhalb vom Grundwasser erfolgen. Die Grundwasserneubildung im Impressamergel wird sich nach dem Gesteinsabbau auch quantitativ nicht verringern. Damit werden die hydrogeologischen Randbedingungen generell, vor allem die Fließverhältnisse (Fließrichtung, Abstandsgeschwindigkeit) im weiteren Einzugsgebiet der Quellen nicht erheblich beeinflusst oder verändert werden. Das Grundwasser innerhalb der Hangschuttmassen, das die Quellen im Wesentlichen bestimmt, ist vom Abbau ohnehin nicht betroffen.

Der Abbaubereich auf dem Plettenberg liegt im entfernteren potentiellen Zustrombereich zu den Quellen und dem Grundwasser innerhalb der Hangschuttkörper. Der Abbau führt nicht zu einer erheblichen Verringerung der Einzugsgebietsflächen der Kalktuff-Quellen und damit nicht zu einer Verringerung der Quellschüttung.

Sowohl während der Abbauphase und Teilrekultivierung als auch nach der erfolgten Phase der kompletten Rekultivierung am Plettenberg bestehen keine negativen Auswirkungen auf die Sickerquellen betreffend Quellschüttungsmenge und Verteilung sowie Wasserhaushalt. Auch Auswirkungen auf die Beschaffenheit der Sickerquellen entstehen nicht, wie die Analysenergebnisse aus den genutzten Quellen zeigen (Kap. 9.5).

9.7 Trinkwasserquellen und Wasserschutzgebiete

Der Steinbruch befindet sich im potentiellen Einzugsgebiet verschiedener gefasster und genutzter Quellen. Im Norden des Plettenberges sind die dortigen Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen durch ein ausgewiesenes Trinkwasserschutzgebiet geschützt. Das erstreckt sich nördlich vom bestehenden Abbau (Anlage 2). Die übrige Plettenberghochfläche südlich vom Trinkwasserschutzgebiet wurde vom LGRB für die Einzugsgebiete der übrigen genutzten Quellen Dormettingen, Ratshausen und Hausen am Tann als Trinkwasserschutzgebiet fachtechnisch abgegrenzt (Landschaftsrahmenplan Regionalverband Neckar-Alb 2011, Karte 9.6). Grundlage dafür war u.a. der Markierungsversuch im Jahr 1987 (s. Kap. 6.4). Das fachtechnisch abgegrenzte Trinkwasserschutzgebiet ist auf der Anlage 2 nicht gesondert markiert, es umfasst die gesamte Hochfläche einschließlich des bestehenden Abbaus und des Erweiterungsgebietes sowie Hang-Abschnitte des Plettenbergs.
Die bestehenden hydrogeologischen Verhältnisse der gefassten Quellen sind in Kap. 6.3 im Ist-Zustand beschrieben. Im Folgenden werden für die einzelnen Quellgruppen und der Einzugsgebiete die Auswirkungen der Abbauerweiterung und der späteren Rekultivierung beschrieben und bewertet.

9.7.1 Quellgruppe Nord - Wasserwerk Dotternhausen

Die Quellgruppe Nord, die Quellen des Wasserwerkes Dotternhausen, liegen mit ihren Einzugsgebieten außerhalb des Abbau-Erweiterungsgebietes und des zugehörigen hydrogeologischen Wirkraumes (Anlage 6). Auch das zugehörige, ausgewiesene Trinkwasser-Schutzgebiet liegt außerhalb des Steinbruches und des Erweiterungsgebietes (Anlage 3).
Durch die Abbauerweiterung im Süden, umfassend den Gesteinsabbau und die anschließende Rekultivierung, entstehen keine Auswirkungen auf die Quellgruppe Nord und das zugehörige Trinkwasserschutzgebiet, betreffend die Grundwasserbeschaffenheit und die Grundwassermenge.

9.7.2 Quellen des Wasserwerkes Dormettingen

Von der Quellgruppe West, den Quellen des Wasserwerkes Dormettingen liegen die 3 nördlichen Quellen **Kaltes Brünnle**, **Weiherle-Quelle** und **Tauchbrunnen** mit ihren

Einzugsgebieten außerhalb der Abbauerweiterung Süd und des zugehörigen hydrogeologischen Wirkraumes (Anlage 5 und Anlage 6). Durch die Abbauerweiterung im Süden, umfassend den Gesteinsabbau und die anschließende Rekultivierung, entstehen keine Auswirkungen auf diese Quellen, betreffend die Grundwasserbeschaffenheit und die Grundwassermenge (vgl. Kap. 9.5).

Die südliche der genutzten 4 Quellen des Wasserwerkes Dormettingen, die **Hangquelle**, liegt im randlichen Grundwasserabstrombereich des Erweiterungsgebietes Süd. Das vermutete Einzugsgebiet erstreckt sich bis auf den südwestlichen Rand des bestehenden Abbaugebietes und den äußersten nordwestlichen Randbereich des Erweiterungsgebietes (Anlage 6). Das Quelleinzugsgebiet mit einer Fläche von etwa 2,6 ha erstreckt sich überwiegend im Bereich der Hangschuttablagerungen aus Lockergestein und dem böschungsnahen, stärker aufgelockerten geklüfteten Festgestein des Impressa-Mergels. Die zentraler gelegenen, grundwassererfüllten Abbschnitte des Impressamergels liefern aufgrund des dort geringeren Kluftvolumens nur einen erheblich geringeren Beitrag zum Dargebot der Quelle (s. Anlage 7-2, West-Ost-Profil). Wie der Markierungsversuch von 2015 gezeigt hat, erfolgt auch ein geringerer, eher temporärer Zufluss aus dem ungesättigten Bereich oberhalb des grundwassererfüllten Kluftraums, insbesondere bei erhöhter Grundwasserneubildung.

Da ein Trockenabbau vorgesehen ist, der etwa 2 m <u>über</u> die Grundwasseroberfläche reicht, wird das Grundwasser im Einzugsgebiet der Quellen nicht freigelegt und nicht in seinem Grundwasserstand verändert. Auch die Grundwasserfließverhältnisse mit einer westlichen Fließrichtung werden durch die Abbauerweiterung nicht oder nur unwesentlich verändert. Die Änderung durch den Abbau betrifft die Mächtigkeit der Deckschicht über dem Grundwasser. Wie in Kap. 9.3 beschrieben, wird durch die Verringerung der Deckschichtenmächtigkeit die Grundwasserneubildung nicht verringert. Damit wird auch die Neubildungsfläche der Hang-Quelle nicht relevant verändert. Insgesamt entstehen durch die Abbauerweiterung im Süden, umfassend den Gesteinsabbau und die anschließende Rekultivierung, keine erheblichen Auswirkungen auf die Quellgruppe West, speziell die Hangquelle und das zugehörige Einzugsgebiet, betreffend die Grundwasserbeschaffenheit und die Grundwassermenge (vgl. Kap. 9.5).

9.7.3 Quellen des Wasserwerkes Ratshausen

Das gemeinsame Einzugsgebiet der beiden Plettenbergquellen des Wasserwerkes Ratshausen am Südhang des Plettenbergs erstreckt sich nach Norden und reicht dort bis auf die Fläche des Steinbrucherweiterungsgebietes am südlichen Rand (Anlage 6). Die Einzugsgebietsfläche besitzt eine Größe von etwa 13 ha, die sich auf Basis der Schüttungsmessungen und der mittleren Grundwasserneubildung ergibt. Durch die Abbauerweiterung ist der äußerst nördliche Teil des vermuteteten Einzugsgebietes mit einer Fläche von deutlich weniger als 1 ha davon betroffen.

Da ein Trockenabbau vorgesehen ist, der bis etwa 2 m <u>über</u> die Grundwasseroberfläche reicht, wird das Grundwasser im Einzugsgebiet der Quellen nicht freigelegt und nicht in seinem Grundwasserstand verändert. Auch die Grundwasserfließverhältnisse mit einer südlichen Fließrichtung werden durch die Abbauerweiterung nicht oder nicht wesentlich verändert. Die Änderung durch den Abbau betrifft die Mächtigkeit der Deckschicht über dem Grundwasser. Wie in Kap. 9.3 beschrieben, wird durch die Verringerung der Deckschichtenmächtigkeit die Grundwasserneubildung nicht verringert. Damit wird auch die Neubildungsfläche der Quellen nicht verändert. Insgesamt entstehen durch die Abbauerweiterung im Süden, umfassend den Gesteinsabbau und die anschließende Rekultivierung, keine erheblichen Auswirkungen auf die Quellgruppe Süd und die Quellen Ratshausen und das zugehörige Einzugsgebiet, betreffend die Grundwasserbeschaffenheit und die Grundwassermenge (vgl. Kap. 9.5).

9.7.4 Quellen des Wasserwerkes Hausen am Tann

Das Einzugsgebiet der Plettenhaldequelle des ehemaligen Wasserwerkes in Hausen am Tann reicht im Westen bis auf die Fläche des Steinbrucherweiterungsgebietes. Die Einzugsgebietsfläche wurde auf Basis der Schüttungsmessungen mit einer Größe von 2,6 ha bestimmt. Durch die Abbauerweiterung ist davon der westliche Teil mit etwa 0,5 ha betroffen. Da ein Trockenabbau vorgesehen ist, der bis 2 m <u>über</u> die Grundwasseroberfläche reicht, wird das Grundwasser im Einzugsgebiet der Quellen nicht freigelegt und nicht in seinem Grundwasserstand verändert. Die Änderung durch den Abbau betrifft die Mächtigkeit der Deckschicht über dem Grundwasser. Wie in Kap. 9.3 beschrieben, wird durch die Verringerung der Deckschichtenmächtigkeit die Grundwasserneubildung nicht verringert. Insgesamt entstehen durch die Abbauerweiterung im Süden,

umfassend den Gesteinsabbau und die anschließende Rekultivierung, keine erheblichen Auswirkungen auf die Quellgruppe Ost, betreffend die Grundwasserbeschaffenheit und die Grundwassermenge (vgl. Kap. 9.5).

Die Stelle-Quelle und die Zimmerwaldquelle liegen weiter östlich und reichen mit ihren Einzugsgebieten nicht auf die Fläche des Erweiterungsgebietes Süd.

Alle drei Quellen werden nicht mehr für die Trinkwasserversorgung genutzt.

9.7.5 Zusammenfassende Bewertung

Das Grundwasser fließt innerhalb des Trennflächengefüges des Impressamergels. Das Trennflächengefüge, das für die Grundwasserbewegung zur Verfügung steht, umfasst Kluftflächen und Schichtflächen mit einem im geplanten Erweiterungsbereich geringen nutzbaren Volumen von deutlich weniger als etwa 2 %. Der Impressamergel zeigt im Bereich des Plettenberges keine ausgeprägte Verkarstung und insbesondere keine Hohlräume, die eine höhere Durchlässigkeit und Abstandsgeschwindigkeit im Grundwasserbereich hervorrufen könnten. Der Impressamergel ist aufgrund seiner geohydraulischen Eigenschaften (z.B. kf-Wert < $1*10^{-6}$ m/s) als Grundwassergeringleiter einzustufen.

Der Gesteinsabbau findet aktuell und auch in Zukunft im Erweiterungsgebiet nur oberhalb des höchsten Grundwasserstandes statt. Im Zuge der Rekultivierung wird geringdurchlässiges, dichtendes und filterndes Bodenmaterial auf der untersten Sohle aufgebracht und so die Schutzfunktion der Deckschichten erhöht. Der Gesteinsabbau führt nicht zu einer Verringerung des Grundwasserneubildung (s. Kap. 4).

Wie die Untersuchungen zeigen, ist durch den Gesteinsabbau im Erweiterungsgebiet weiterhin, wie im bestehenden Abbaugebiet auch, die Unbedenklichkeit für das Grundwasser sowohl hinsichtlich der Grundwasserqualität als auch hinsichtlich der Grundwassermenge gegeben.

Die Grundwasserstände und das Strömungsfeld sowie die Qualität des Grundwassers werden nicht relevant verändert und beeinträchtigt.

9.8 Regenwasserableitung

Das bestehende Rückhalte- und Absetzbecken für die Regenwasserableitung sowie die daran angeschlossene Rohr-Leitung am Osthang sind für die genehmigte Abbaufläche mit einem Einzugsgebiet von 40 ha ausgelegt (s. Kap. 8). Nach Breinlinger Ingenieure (2011) werden für die Bemessung des Rückhaltebeckens im Hochwasserfall nach DWA-A 138 für den genehmigten Abbaustand folgende Randbedingungen angesetzt:

Einzugsgebiet (= „offene" Abbaufläche): A = 40 ha
Abflussbeiwert: Ψ_m = 0,6 (n. DWA A 138)
Versickerungsfläche (=Fläche Rückhalteraum): AS = 5.077 m² (Becken)
Zuschlagsfaktor nach DWA-A 117: f_Z = 1,2
Durchlässigkeit des Untergrunds: $k_f = 1 \times 10^{-6}$ m/s
Drosselabfluss: Q_{Dr} = 20 l/s
Regenhäufigkeit: n = 0,2 1/a (5-jährig); n = 0,01 1/a (100-jährig)

Für das 5-jährige Regenereignis ergibt sich danach ein erforderliches Rückhaltevermögen von 17.500 m³. Im Fall eines 100-jährigen Regenereignisses ist ein Rückhalteraum von etwa 30.000 m³ erforderlich.
Bei einer Fläche von 5.077 m² beträgt der Retentionsraum des Rückhaltebeckens bei einem Stauziel von 940,00 mNN V ~ 9.000 m³. Die tatsächliche Stauhöhe gemessen an der Geländehöhe im umgebenden Steinbruchbereich liegt bei 941,80 mNN. Bei Berücksichtigung eines Freibords von 30 cm ergibt sich bis 941,50 mNN unter Einbeziehung der tiefer gelegenen Flächen außerhalb des Rückhaltebeckens ein tatsächlicher Gesamtrückhalteraum im Hochwasserfall von aktuell ca. 43.000 m³. Der aktuelle Rückhalteraum ist damit für ein 100-jähriges Regenereignis ausreichend groß. Zu einer oberflächigen Entlastung aus dem Steinbruch bzw. dem Rückhaltebecken in das angrenzende, steile Waldgebiet wird es daher nach den Berechnungen der Breinlinger Ingenieure (2011) rechnerisch auch bei einem 100-jährigen Regenereignis nicht kommen.

Im Folgenden wird der Wasserhaushalt bei der zukünftigen Regenwasserableitung für die beiden Prognosezustände „Abbauende Süderweiterung" und „Komplette Rekultivierung des Steinbruches" berechnet und beschrieben.

Prognosezustand 1 - Abbauende Süderweiterung

Bis zum Ende des Abbaus der Süderweiterung wird das Rückhaltebecken mit der Drossel-Abgabe weiter in Betrieb bleiben. Durch die Abbauerweiterung vergrößert sich auch die Einzugsgebietsfläche des Rückhaltebeckens. Die Vergrößerung der Abbaufläche im Steinbruch durch das Erweiterungsgebiet führt generell zu einer Zunahme des oberirdischen Abflusses, wie in Kap. 4 dargelegt. Insbesondere nach Niederschlägen steigt die oberflächig abfließende Wassermenge an, weil der grundwassererfüllte Impressamergel aufgrund der geringen Durchlässigkeit nur eine begrenzte Sickerwassermenge aufnehmen kann. Damit vergrößert sich mit der Abbauerweiterung Süd die für den Hochwasserfall auftretende Abflussmenge und die im Rückhalteraum aufzunehmende Wassermenge.

Die hydraulische Berechnung des Rückhaltebeckens nach Breinlinger Ingenieure setzt ein Einzugsgebiet von 40 ha zu Grunde, das als „offene Abbaufläche“ mit erhöhtem Oberflächenabfluss wirksam ist. Dies entspricht der während des Abbaus im Wesentlichen abflusswirksamen Fläche, die aktuell mit etwa 35 ha etwas kleiner ist. Sie wird sich mit dem Fortgang des Abbaus auf der Süderweiterung generell nicht vergrößert, da gleichzeitig die Rekultivierung fortgesetzt wird und sich so die Rekultivierungsfläche permanent vergrößert. Auf den rekultivierten Flächen wird Lockergestein aufgebracht, das durch das speichernutzbare Porenvolumen bei Hochwasserereignissen naturgemäß eine „rückhaltende“ Wirkung auf den Abfluss entfaltet.

Hier wird aber als „worst case“-Ansatz keine Berücksichtigung der zukünftigen abbaubegleitenden Rekultivierung und deren Abfluss mindernden Wirkung berücksichtigt. Wenn in einem ersten Ansatz die kalkulierte Abbaufläche von 40 ha um die Fläche des Erweiterungsgebietes mit 8,8 ha vergrößert wird, erhält man eine Gesamtfläche für den Hochwasserabfluss von 48,8 ha. Bei einem zweiten Ansatz geht man gemäß der Angaben in Kap. 9.3 von der genehmigten Fläche von 55,6 ha aus, reduziert um die bereits rekultivierten und die Verzichts-Flächen von insgesamt 13,2 ha und rechnet die Fläche des Erweiterungsgebietes von 8,8 ha wiederum hinzu. So erhält man für einen worst case Ansatz eine maximale „offene Steinbruchfläche“ von etwa 51,2 ha. Folgende abflusswirksame Randbedingungen werden daher für den Endabbauzustand angesetzt:

Einzugsgebiet (= “offene“ abflusswirksame Abbaufläche): A = 51,2 ha
Abflussbeiwert: $\Psi_m = 0{,}6$ (n. DWA A 138)
Zuschlagsfaktor nach DWA-A 117: $f_Z = 1{,}2$

Durchlässigkeit des Untergrunds: $k_f = 1 \times 10^{-6}$ m/s
Drosselabfluss: $Q_{Dr} = 20$ l/s
Regenhäufigkeit: n = 0,2 1/a; n = 0,01 1/a
Rückhalteraum bzw. Versickerungsfläche: Insgesamt 3,5 ha.
Fläche des Rückhaltebeckens mit 5.077 m² plus umgebende Flächen von etwa 3 ha, die aufgrund der morphologischen Tieflage ebenfalls als Rückhalteraum und Versickerungsfläche wirksam sind.

Ausgehend davon errechnen sich als Hochwasserabflüsse für den Endabbauzustand unter den vorgenannten Randbedingungen und mit dem worst case Ansatz folgende Kennwerte (Tab. 9-1).

Tab. 9-1: Erforderliches Rückhaltevolumen bei Starkregenereignissen mit Hochwasserabfluss für die genehmigte Abbaufläche und das beantragte Erweiterungsgebiet im Endabbauzustand

	Genehmigte Fläche plus Erweiterungsgebiet	Genehmigte Abbaufläche
Regenhäufigkeit	Rückhaltevolumen bei Fläche Einzugsgebiet = 51,2 ha [1]	Rückhaltevolumen bei Fläche Einzugsgebiet = 40 ha [2]
5-jährig n = 0,2	25.900 m³	17.500 m³
100-jährig n = 0,01	43.000 m³	30.000 m³

Erläuterungen:
[1] nach DWA A 138
[2] nach Berlinger Ingenieure 2007

Bemessen für das 5-jährige Regenereignis im Endabbauzustand ergibt sich im worst case Fall für das bestehende Becken und die Umgebung ein erforderliches Rückhaltevermögen von 25.900 m³, was gegenüber dem erforderlichen Rückhalteraum bei der genehmigten Abbaufläche von 17.500 m³ eine Vergrößerung von 8.400 m³ bedeutet. Der tatsächliche Rückhalteraum von 43.000 m³ wird damit auch beim beantragten Abbau auf der gesamten Fläche einschließlich der Süderweiterung nicht erreicht oder überschritten. Legt man das 100-jährige Hochwasser zu Grunde, so ist ein Rückhalteraum von etwa 43.000 m³ erforderlich. Das bedeutet, dass der bestehende Rückhalteraum auch für ein 100-jähriges Regenereignis ausreichend groß ist.

Da der genaue Fortgang der abbaubegleitenden Rekultivierung nicht genau prognostiziert werden kann, empfehlen wir, dass bei Überschreitung der freien Steinbruchfläche von 40 ha zur Sicherheit das Rückhalte-Volumen um etwa 10.000 m³ zu vergrößern. Das sollte durch eine weiteres Rückhaltebecken erreicht werden, bei etwa 2 m Tiefe und einer Fläche von etwa 5.000 m². Damit ergeben sich keine Veränderungen gegenüber der bestehenden Abflusssituation und des bestehenden Rückhaltevolumens bei Hochwasser. Damit verändern sich auch die Hochwasserabflussverhältnisse außerhalb des Steinbruches nicht. Der wirksame Rückhalteraum beträgt dann 53.000 m³, was für ein HQ100 zuzüglich einem Sicherheitsaufschlag von 23 % entspricht.

Das Absetz- und Rückhaltebecken kann damit auch zukünftig das nach Regenereignissen anfallende Oberflächenwasser im Steinbruch aufnehmen und gedrosselt über die Leitung in Richtung Waldhausbach abgeben.

Prognosezustand 2: Komplette Rekultivierung auf gesamter Abbaufläche

Nach Abbauende und nach erfolgter Rekultivierung auf der gesamten vom Abbau betroffenen Fläche einschließlich der Süderweiterung auf dem Plettenberg wird durch das flächenhafte Aufbringen von Gesteinsschotter und Boden sowie den Bewuchs mit Gräsern, Sträuchern und anderen Pflanzen die Speicherfähigkeit des Oberbodens und der Rekultivierungsschicht gegenüber dem Abbauzustand wieder deutlich erhöht. Auf den dann vollständig rekultivierten Flächen ist der Abfluss deutlich geringer als beim jetzigen Abbauzustand mit offenen Kalkstein- und Mergelstein-Flächen. Der Oberflächenabfluss nach Regenereignissen wird daher gegenüber dem Abbauzustand generell deutlich zurückgehen.

Im Zuge der Rekultivierung und mit dem Aufbringen von Lockergesteinsmaterial mit einem deutlich höheren Porenvolumen, als das Festgestein, kann ein wirksamer Speicherraum geschaffen werden, der im Fall von Starkregenereignissen wirksam wird. Speichernutzbares Porenvolumen wird in folgender Größe durch die Rekultivierung entstehen:

1. <u>Rekultivierungsschicht:</u>
   Aufbringen einer flächenhaften Deckschicht aus:
   - 0,1 m Boden, Schluff, kiesig, tonig,
   - 1,7 m „Schotterschicht“ mit Kalkstein- und Mergelsteinschotter in unterschiedlichen Korngrößen (Steine, Kies, Sand, Schluff),

   Insgesamt im Mittel ca. 1,8 m mächtige Lockergesteinsauflage

Fläche = ca. 550.000 m²,
Volumen = 990.000 m³,
Speichernutzbares Porenvolumen n-sp = 0,16 bis 0,20 (16 bis 20 %),
Nutzbarer Porenraum = ca. 178.000 m³.
Dieser Porenraum ist aufgrund des nur sehr flachen Gefälles von weniger als etwa 5° auf der rekultivierten Sohle vollständig als Rückhalteraum für Wasser nutzbar.

2. Vorschüttung an Böschungen im Steinbruch:
   Vorschüttungen entlang der nördlichen und der westlichen Abbauböschung im Steinbruch auf etwa 700 m Länge.
   Material: Kalkstein- und Mergelsteinschotter in unterschiedlichen Korngrößen.
   Volumen = 420.000 m³,
   Speichernutzbares Porenvolumen n-sp = 0,16 - 0,20 (16 - 20 %).
   Nutzbarer Porenraum = ca. 76.000 m³.
   Aufgrund der Böschungsneigung von etwa 30° bis 40° ist von einem anteiligen oberflächigen Abfluss von etwa 20 % auszugehen. Der Abflusskoeffizient für steiles Gelände wird gemäß DWA-A138 mit Ψ_m = 0,1 - 0,3 angegeben. Daher sind als Speicherraum nach Niederschlägen vom Gesamtvolumen der Vorschüttung etwa 80 % wirksam, das sind etwa 61.000 m³.

3. Weitere Maßnahmen
   Zusätzliche Anhebung der flächenhaften Aufschüttung im Süden zu den Böschungen hin um etwa 1 bis 2 m.
   Gesamt-Volumen etwa 100.000 bis 150.000 m³.
   Nutzbares Porenvolumen etwa 23.000 m³

   Verfüllte Rückhaltebecken. Korngröße: Steine, Kies, Sand.
   Nutzbares Porenvolumen = ca. 10.000 m³

Auf der gesamten Fläche des Abbaubereiches entsteht so im Zuge der Rekultivierung ein bei Regenereignissen nutzbares Speichervolumen für versickerndes Wasser von mindestens etwa 270.000m³.

Hinzu kommt, dass sich das Festgestein im Abbaubereich durch die fehlende Auflast auf den Sohlen und an den Böschungen entspannt, so dass dadurch der Kluftraum er-

weitert wird, was gleichzeitig auch den Speicher- und Rückhalteraum für Wasser im Festgesteinskörper relevant vergrößert.

Vergleicht man dieses mit dem bestehenden Kluftvolumen, das vor dem Gesteinsabbau in den abgebauten Kalksteinen und Mergelsteinen bestand und mit folgender Größe berechnet werden kann:

- Volumen abgebauter Kalkstein und Mergelstein = ca. 22 Mio m³,
- Nutzbares Hohlraumvolumen Mergelstein und Kalkstein n-sp = 0,008 bis 0,015 (0,8 bis 1,5 %),
- Speichernutzbares Hohlraumvolumen Gestein: ca. 240.000 m³.

Dann folgt daraus, dass bezüglich des Speichervolumens nach der Rekultivierung gegenüber dem ursprünglichen Zustand keine relevante Verschlechterung eintritt.

Betreffend den Abfluss, speziell im Hochwasserfall bedeutet dies, dass im Vergleich zur Situation vor dem Gesteinsabbau für das im Hochwasserfall auftretende Regenwasser ein vergleichbares Speichervolumen im Boden zur Verfügung steht. Daher ist davon auszugehen, dass die Oberflächenabflüsse nach der Rekultivierung nicht wesentlich höher sein werden, als es vor dem Gesteinsabbau der Fall war.

Eine Abflussberechnung für den Hochwasserfall nach Abschluss der Rekultivierung ist mit folgenden abflusswirksamen Randbedingungen zu berechnen:

Einzugsgebiet (=abflusswirksame Fläche): A = 64,4 ha
Abflusskoeffizient Rekultivierte Flächen (gemäß DWA-A 138):
Flaches Gelände Ψ_m = 0,0 - 0,1
Steiles Gelände Ψ_m = 0,1 - 0,3
Zuschlagsfaktor nach DWA-A 117: f_Z = 1,2
Durchlässigkeit des Untergrunds: $k_f = 1 \times 10^{-5} - 1 * 10^{-6}$ m/s
Regenhäufigkeit: n = 0,2 1/a ; n = 0,01 1/a
Rückhalteraum bzw. Versickerungsfläche: etwa 2,5 ha
Morphologisch tiefere Flächen (ca. 941-942 mNN), die als Rückhalteraum und Versickerungsfläche wirksam sind.

Ausgehend davon errechnen sich als Hochwasserabflüsse für den Endabbauzustand unter den vorgenannten Randbedingungen und mit dem worst case Ansatz folgende Kennwerte (Tab. 9-2).

Tab. 9-2: Erforderliches Rückhaltevolumen und Einstauhöhe bei Starkregenereignissen mit Hochwasserabfluss für die genehmigte Abbaufläche und das beantragte Erweiterungsgebiet im Endzustand der Rekultivierung

	Endzustand Rekultivierung auf genehmigter Fläche plus Erweiterungsgebiet	
Regenhäufigkeit	Rückhaltevolumen bei Fläche Einzugsgebiet = 64,4 ha	Einstauhöhe, temporär
5-jährig [1]	11.100 m³	0,45 m
100-jährig [1]	19.000 m³	0,76 m

Erläuterungen:
[1] nach DWA A 138

Für die Berechnung wurde der Abflusskoeffizient für das gesamte Einzugsgebiet, trotz des überwiegend flachem Gelände auf einen worst case Wert von auf Ψ_m = 0,2 gesetzt, der für steiles Gelände gilt. Außerdem wurde der kf-Wert nicht mit dem höheren Wert der Rekultivierungsschicht (kf = 1 * 10^{-3} bis 10^{-5} m/s) gerechnet, sondern generell mit kf = 1 * 10^{-6} m/s, dem schlechteren Wert des Festgesteinsuntergrundes.

Bemessen für das 5-jährige Regenereignis im Endzustand der Rekultivierung ergibt sich im worst case Fall erforderliches Rückhaltevermögen von 11.100 m³. Für ein 100-jähriges Regenereignis ist ein Rückhalteraum von etwa 19.000 m³ ausreichend. Wenn die Rekultivierungsflächen so angelegt werden, dass eine Gesamtfläche von etwa 2,5 ha als leichte morphologische Senken bis etwa 1 m unter dem umgebenden Bereich angelegt werden, so reichen diese aus, um bei einem 100-jährigen Regenereignis den gesamten Abfluss, der auf der Gesamtrekultivierungsfläche von 64,4 ha entsteht vor Ort zurückzuhalten, wobei dabei temporäre Gewässer von 45 cm Tiefe (5-jähriges Regenereignis) oder 76 cm tiefe (100-jähriges Hochwasser) entstehen und das Wasser von dort in der Rekultivierungsschicht versickern kann. Der weitere Abfluss aus dem vollständig rekultivierten Abbaubereich erfolgt dann ausschließlich als unterirdischer Abfluss über den Grundwasserpfad, der die bestehenden Quellen an den Außenböschungen des Plettenbergs speist. Ein hoher Oberflächenwasserabfluss, auch nach einem 100-jährigen Regenereignis, entsteht auf der rekultivierten Fläche des ehemaligen Steinbruches nicht.

Das bestehende Regen-Rückhaltebecken mit Drossel im Steinbruch wird nach Abschluss der Rekultivierung nicht mehr benötigt. Das Becken kann mit Gesteinsschotter aufgefüllt werden, was dem Rückhalteraum weiter zur Verfügung steht.

Die hydrologische Wirksamkeit der Rekultivierungsauflage bezüglich der genannten Speicher- und Rückhalte-Funktion sollte während der Rekultivierungsphase durch Messungen überprüft werden (s. Kap. 10). Durch kontinuierliche Abflussmessungen kann der Einfluss der zunehmenden Vergrößerung der Rekultivierungsflächen gemessen werden.

9.9 Prüfung weiterer Anforderungen nach Anlage 4 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)

9.9.1 Anlage 4 Nr. 4c) ff) UVPG

Nach Anlage 4 Nr. 4c) ff) UVPG ist das Zusammenwirken mit den Auswirkungen anderer bestehender oder zugelassener Vorhaben oder Tätigkeiten zu prüfen; dabei ist auch auf Umweltprobleme einzugehen, die sich daraus ergeben, dass ökologisch empfindliche Gebiete nach Anlage 3 Nummer 2.3 betroffen sind (z.B. Schutzgebiete inkl. Wasserschutzgebiete, geschützte Biotope) oder die sich aus einer Nutzung natürlicher Ressourcen ergeben.

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens in Kap. 9 werden die Auswirkungen durch den genehmigten Steinbruch und die geplante Erweiterung zusammen betrachtet, so dass sich keine, darüber hinausgehende Wirkungen ergeben.

9.9.2 Anlage 4 Nr. 4c) gg) UVPG

Nach Anlage 4 Nr. 4c) gg) UVPG sind die Auswirkungen des Vorhabens auf das Klima, zum Beispiel durch Art und Ausmaß der mit dem Vorhaben verbundenen Treibhausgasemissionen, zu beschreiben.

Für das vorliegende Fachgutachten bedeutet dies, dass die Wirkungen des beantragten Vorhabens keinerlei wesentliche Auswirkungen auf das Klima haben.

9.9.3 Anlage 4 Nr. 4c) hh) UVPG

Nach Anlage 4 Nr. 4c) hh) UVPG ist die Anfälligkeit des Vorhabens gegenüber den Folgen des Klimawandels (zum Beispiel durch erhöhte Hochwassergefahr am Standort) prüfen.

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Auswirkungen der beantragten Abbauerweiterung auf das Grundwasser, den Wasserhaushalt und die Oberflächengewässer beschrieben und bewertet. Dabei wurden die aktuellen klimatischen Verhältnisse zu Grunde gelegt. Vor dem Hintergrund des Klimawandel, der von zahlreichen Studien für die kommenden Jahrzehnte prognostiziert wird, ist weiterhin zu prüfen, ob das Vorhaben in der Zukunft davon betroffen sein kann, z.B. durch eine erhöhte Hochwassergefahr am Standort.
Unter dem Stichwort „Klimawandel“ sind an gesicherten Prognosen für die Betrachtung des Wasserhaushaltes, des Grundwassers und der Oberflächengewässer für den Zeitraum bis 2050 folgende relevante Klimavariablen auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungen UM (2013), UM & LUBW (2016), LUBW (2013, 2015, 2018) und KLIWA (2018) anzusetzen:

- Temperatur: Für Baden-Württemberg prognostiziert LUBW (2015, 2018) eine Zunahme der mittleren Temperatur zwischen 1,1 und 1,3 °C
- Niederschlag: LUBW (2015, 2018) prognostiziert eine leichte Zunahme des Niederschlags für Baden-Württemberg insgesamt, bei einer leichten Abnahme im hydrologischen Sommerhalbjahr und einer Zunahme im hydrologischen Winterhalbjahr. Zudem wird ein zunehmender Teil der Niederschläge im Winterhalbjahr nicht mehr als Schnee fallen, der als Wasser-Zwischenspeicher fungiert.
- Niederschlagsextreme: Nach LUBW (2015, 2018) nehmen die Niederschlagsextreme in Baden-Württemberg überwiegend leicht zu. Es gibt eine Zunahme der Anzahl an Trockentagen, kurze trockene Episoden (bis zu einer Woche) nehmen ab und Trockenperioden länger als eine Woche nehmen zu. Starkniederschlagstage (Niederschlagssumme größer als 25 mm) nehmen im geringen Umfang zu, wie auch die Stärke der Starkniederschläge. Die Hälfte der Studien prognostiziert einen Anstieg der Regenmengen bei Starkregen um bis zu 6,5 % bis zum Jahr 2050.

Das bedeutet für die hydrologischen Größen relevante Auswirkungen bis 2050 wie folgt:

Wasserhaushalt:
Aufgrund der Temperaturzunahme wird sich die Verdunstung generell etwas erhöhen. Das hat zur Folge, dass die Wasserhaushaltskomponente Abfluss, mit Oberflächenabfluss und Grundwasserneubildungsrate, etwas zurückgehen kann. Vermutlich wird die Wasserbilanz aber durch die prognostizierte leichte Zunahme bei den Regenmengen wieder weitgehend ausgeglichen, so dass sich hier keine wesentlichen Veränderungen ergeben.

Grundwasserabfluss, Quellschüttungen:
Nach den Klimaprognosen werden sich für diese hydrologischen Größen die Kennwerte zum mittleren Abfluss und zum mittleren Grundwasserstand nicht in relevantem Maße verändern. Die prognostizierten Änderungen liegen im einstelligen Prozentbereich und heben sich in den Auswirkungen im geogenen Wasserhaushalt zum Teil gegenseitig auf. Jahreszeitliche Schwankungen bei Abfluss und Grundwasserstand können sich allerdings verstärken und zu längeren Niedrigwasserphasen oder auch längeren Phasen mit höheren Wasserständen oder Abflüssen führen.

Hochwasserabfluss und Regenwasserableitung:
Bei den Starkregenereignissen wird bis 2050 eine leichte Zunahme sowohl der Regenmengen (+6,5 %) als auch der Dauer (+ 0,7 Tage) prognostiziert. Daraus lässt sich aber nicht quantitativ sicher ableiten, welche Regenreihe ein 100-jähriges Hochwasserereignis z.B. im Jahr 2050 erzeugt. Bei den vorliegenden Berechnungen zum Hochwasserabfluss nach Starkniederschlägen, wie dem 100-jährigen Regenereignis (Kap. 9.8) auf Basis der aktuellen Daten wurden für die zu schaffenden Rückhalteräume, z.B. dem nutzbaren Speichervolumen der Rekultivierungsschicht, ausreichend Sicherheitszuschläge von deutlich mehr als 10 % in den Berechnungen berücksichtigt. Daher ist davon auszugehen, dass die Prognosen und Berechnungen zum Hochwasserabfluss und zum Starkregen und die dazu vorgeschlagenen Maßnahmen zum Rückhalteraum ausreichende Sicherheiten beinhalten, um auch die im Rahmen des Klimawandels prognostizierten höheren Regenmengen bei Starkregenereignissen und höheren Hochwasserabflüssen nach den derzeitigen Prognosen für den Zeitraum bis 2050 abdecken zu können.

10 Maßnahmen und Empfehlungen

Aufgrund der hohen Schutzbedürftigkeit des Grundwassers im Bereich des Steinbruchs und dessen Erweiterungsfläche sowie der für die Trinkwassergewinnung genutzten Quellen am Plettenberg-Hang sind mögliche Risiken eines Stoffeintrages in das Grundwasser zu minimieren und abbaubegleitende Maßnahmen gemäß dem Stand der Technik vorzusehen. Es sind Vorkehrungen zu treffen, um Risiken von Schadensfällen zu vermeiden, da sie insbesondere beim Abbaubetrieb durch Fahrzeuge oder Sprengungen in Form von Stoffeinträgen eintreten können. Folgende Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers werden empfohlen:

1. Bei den weiteren Abbautätigkeiten ist ein Mindestabstand von 2 m über dem Grundwasser einzuhalten.

2. Das Aufbringen einer filtrierenden Rekultivierungsdeckschicht in einer Mächtigkeit von 1,7 m im Mittel, mindestens 0,5 m, sollte abbaubegleitend fortgesetzt werden. Darauf wird eine belebte Bodenzone mit einer Mächtigkeit von etwa 0,1 m aufgebracht. Die Rekultivierung als Maßnahme des Grundwasserschutzes durch eine filtrierende Deckschicht mit belebter Bodenzone und in der Funktion als Zwischenspeicher für das Niederschlagswasser sollte durch eine lokal höhere Deckschichtenmächtigkeit und die Vorschüttungen an den Endabbau-Wänden weiter verbessert werden.

3. Die üblichen, im Steinbruch geltenden Schutzmaßnahmen bspw. bei der Betankung sind gemäß dem Stand der Technik zu beachten und ordnungsgemäß, wie u.a. auch in der aktuellen Abbaugenehmigung festgelegt, vorzunehmen.

4. Im Rahmen der weiteren Abbautätigkeiten ist es empfehlenswert, die geologisch-tektonischen Verhältnisse zu beobachten und die neu aufgeschlossenen Verhältnisse im Steinbruch hinsichtlich Störungen, Änderungen bei Schichtung und Klüftung sowie Wasserzutritten zu kontrollieren (Hydromonitoring).

5. Die Messungen der Grundwasserstände zur Erfassung der Höhenlage der Grundwasseroberfläche sind an den Grundwassermessstellen weiterhin durchzuführen (Hydromonitoring).

Folgende Maßnahmen werden im Rahmen eines abbaubegleitenden Monitorings vorgeschlagen:

1. Kontinuierliche Messung der Grundwasserstände mittels Datenlogger im Abbaubereich und im südlichen Erweiterungsgebiet an den Grundwassermessstellen:
   - GWM 2015-1
   - GWM 2015-2
   - GWM 2015-3
2. Einrichten eines Abflusspegels (Wehr) an der Ostböschung des Plettenberges und kontinuierliche Messung der Abflüsse am Auslauf der Rohrleitung aus dem Rückhaltebecken und aus dem Bohloch selbst. Ermittlung des Wasserhaushaltes und des Abflussverhaltens aus dem Steinbruch nach Niederschlägen. Kontrolle und Erfassung von Auswirkungen der Rekultivierungsschicht auf den Abfluss und Veränderungen im Zuge des Fortgangs der Rekultivierung.
3. Messung der Quellschüttung der Plettenberg-Quellen im Wasserwerk Ratshausen mit Hilfe der eingebauten Wasseruhr, Abfrage der Schüttungsmessdaten des Wasserwerkes Dotternhausen (Quellen Nord), Auswertung aller Quellschüttungsdaten.
4. Beprobung und hydrochemische Analytik von Quellwasser der genutzten Quellen und Grundwasser an den vorhandenen Grundwassermessstellen – 1mal jährlich. Analytikumfang: Haupt-Ionen, Nebeninhaltsstoffe (sprengstoffanzeigende Parameter).
5. Kontrolle und Übersichtskartierung der geologisch-tektonischen Verhältnisse im Steinbruch (1mal jährlich), besonders in den neuen Abbauabschnitten hinsichtlich tektonischer Auffälligkeiten, Änderungen bei Schichtung und Klüftung sowie Aufnahme und Messung von Wasserzutritten im Steinbruch.

Alle Messdaten und Untersuchungsergebnisse sollten einmal jährlich in einem Monitoring-Bericht zusammenfassend ausgewertet und dargestellt werden.

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

J. Pommerening

Dr. Johannes Pommerening

11 Literaturverzeichnis

Armbruster, V. (2002): Grundwasserneubildung in Baden Württemberg.- Freiburger Schriften zur Hydrologie, 141 S.

Breinlinger Ingenieure (2011): Genehmigungsplanung Einleitung in den Waldhausbach.- Gutachten

DWA (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.-

DWA (2006): Arbeitsblatt DWA-A 117 - Bemessung von Regenrückhalteräumen.-

Fernandez-Steger, Tomas et. al. (2017): Gutachten zu Fragen der Hangstabilität am Plettenberg.-

Fritz Planung GMBH (2002): Gemeinde Dormettingen Quellenuntersuchung. Erläuterungsbericht vom 04.10.2002.

Garschagen, C. (2016): Untersuchung von Massenbewegungen in den Schichten des Jura am Südhang des Plettenbergs bei Balingen.- Abschlussarbeit Master of Science; RWTH Aachen.

Geyer, O.F. & Gwinner, M.P. (2011): Geologie von Baden-Württemberg.- 5. Neu bearb. Auflage, 627 S.

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.) (1972): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000. Blatt 7718 Geislingen.

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.) (1987): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000. Blatt 7719 Balingen.

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.) (1987): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000. Blatt 7818 Wehingen.

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

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.) (1994): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000. Blatt 7819 Meßstetten.

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1974): Hydrogeologisches Gutachten zum Baugesuch des Portlandzementwerkes.-

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (GL BaWü) (1991): Informationen. Grundwasser und Gesteinsabbau. Freiburg im Breisgau.

Geyer, O. F. & Gwinner, M. P. (1984): Die Schwäbische Alb und ihr Vorland. Berlin: Gebrüder Bornträger.

Geyer, O. F. & Gwinner, M. P. (2011): Geologie von Baden-Württemberg. Stuttgart: Schweizerbart.

Hölting, B. & Coldewey, W. G. (2013): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Heidelberg: Springer-Spektrum.

Hölting, B., Haertle, T., Hohberger, K.-H., Eckl, H., Hahn, J., Koldehoff, C. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.- Empfehlungen für die Erstellung von hydrogeologischen Gutachten zur Bemessung und Gliederung von Trinkwasserschutzgebieten - Schutzgebiete für Grundwasser. (Geologisches Jahrbuch Reihe C, Band C 63).

Königlich statistisch-topographisches Bureau Württemberg [Hrsg.] – Autor: Paulus, Eduard (1875): Beschreibung des Oberamts Rottweil: mit drei Tabellen, einer geognostisch kolorirten Karte des Oberamts, einem Farbendruckbild und sechs Lithographien.- Band 56: Seite 500 – 501, Stuttgart.

KLIWA (Hrsg.) (2018): Klimaveränderung und Wasserwirtschaft. Online-Recherche unter http://www.kliwa.de. Abfrage vom 18.01.2018.

KOSTRA-DWD (2000): Niederschlagshöhen und –spenden.-

Landratsamt Zollernalbkreis – Amt für Wasser- und Bodenschutz (2014). Peter Hermann. Shapefile zur Lage der Quellen. Balingen.

Langguth, H.-R. & Voigt, R. (2004): Hydrogeologische Methoden.- 1006 S.

LfU – Landesamt für Umweltschutz BW (2006): Arbeitshilfen für den Umgang mit Regenwasser – Regenrückhaltung.-

LUBW (2004): Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft - Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaus von Kies und Sand. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (Hrsg.).

LUBW (2007): Abflusskennwerte in Baden-Württemberg. Informationssystem und 1 DVD. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (Hrsg.).

LUBW (2012): Wasser und Bodenatlas Baden-Württemberg. – Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Karten mit Begleittexten; Digitale Version; Karlsruhe.

LUBW (2013): Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg. Perspektiven aus regionalen Klimamodellen.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2015): Ensembles hoch aufgelöster regionaler Klimasimulationen zur Analyse regionaler Klimaänderungen in Baden-Württemberg und ihre Auswirkungen. Reihe KLIMOPASS-Berichte, Projektnr.: 4500188621/23. 83 S.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2018): Karten Klima-Zukunft BW. Online-Recherche unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/klimakarten-bw#_48_INSTANCE_WsMA2RqVvsNR_%3Dhttps%253A%252F%252Fwww.lubw.baden-wuerttemberg.de%252Fstatic-content%252FkartenKlimaBW%252F. Abfrage vom 18.01.2018.

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

Schwarz, H.-U. (2012): Das Schwäbisch-Fränkische Bruchmuster. Zeitschrift der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. Band 163, Heft 4. Stuttgart: Schweizerbart. 411-446.

Turner, A. K., & Schuster, R. L. (1996). Landslides, Investigation and Mitigation.Washington, D.C.: National Academy Press.

Regionalverband Neckar-Alb (2011): Landschaftsrahmenplan.-

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

UM (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2013): Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels. Fachgutachten für das Handlungsfeld Wasserhaushalt, Teil A: Langfassung, 193 S.

UM (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) & LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2016): Klimawandel in Baden-Württemberg Fakten - Folgen – Perspektiven, 47 S.Walter, R. (2007): Geologie von Mitteleuropa. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller).

Weidinger, J. T., & Vortisch, W. (2005). Massenbewegungen im System hart-auf-weich zwischen Traunstein und Dachstein (OÖ, STMK) und ihre anthropogene Beeinflussung. In J. T. Weidinger, & I. Spitzbart, Gmunder Geo-Studien 3, Beiträge zur Geologie des Gmunder Bezirks(S. 75-94). Gmunden: Erkudok © Institut.

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

A n l a g e n