

**Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis
zur Sammlung des Niederschlagswassers
aus dem Kalksteinbruch Plettenberg
in einem Sedimentationsbecken
und zur Versickerung in einem
nachgeschalteten Becken
sowie weitere Benutzungen**


**Erläuterungsbericht zum
wasserrechtlichen Antrag**

HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH

01. August 2023

Bearbeiter:

DR. KÖHLER & DR. POMMERENING GMBH
Am Katzenbach 2
31177 Harsum



Dr. Johannes Pommerening

Antragstellerin:

HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH
Zementwerk Dotternhausen
Dormettinger Straße 23
72359 Dotternhausen

	Seite
Inhaltsverzeichnis	
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Verzeichnis der Anhänge und Anlagen.....	VI
1 Allgemeines und bestehende wasserrechtliche Gestattungen für den Steinbruch Plettenberg.....	1
2 Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis vom 01.01.2024 bis zum 31.01.2029	3
3 Beschreibung der Becken und Anlagen	6
4 Unterlagen.....	9
5 Hydrogeologische Grundlagen.....	11
5.1 Durchlässigkeit, Versickerungsfähigkeit und Speichervolumen im Steinbruch....	11
5.2 Wasserstände in den Rückhalte- und Versickerungsbecken, Grundwasserstände im Umfeld der Becken und Reaktion der Wasserstände auf Niederschläge	14
5.3 Grundwasserstände im Steinbruch.....	15
5.4 Ableitung aus dem Becken zum Waldhausbach.....	17
6 Hydraulische Grundlagen und Berechnungen	19
6.1 Starkregenereignisse als Bemessungsregen.....	19
6.2 Einzugsgebiet der Becken.....	23
6.3 Abflusswirksame Teilflächen im Steinbruch.....	23
6.4 Abflussbilanz im Steinbruch bei Starkregenereignissen.....	26
6.5 Allgemeine Abflussbilanz Steinbruch Plettenberg.....	38
6.6 Grundwasseranteil am Abfluss	40
6.7 Abfluss vom Plettenberg über den Waldhausbach bis Hausen am Tann.....	41
7 Abflussmodell Szenario Starkniederschlag – iterativ	48
7.1 Hydrogeologischer Bau	48
7.2 Versickerungsleistung Steinbruchsohle	49
7.3 Rückhaltevermögen und Speichervolumen	51

7.4	Grundwasserabfluss nach außen (Quellen Plettenberghang).....	58
7.5	Wasserbilanz Plettenberg bei Starkregen.....	61
7.6	Zusammenfassung zum Abfluss bei Starkregen.....	74
8	Auswirkungen der Anlagen zur Regenwasserrückhaltung und -ableitung	76
8.1	Regenwasserabfluss	76
8.2	Grundwasser und Beckenwasserstand	77
8.3	Standicherheit	78
8.4	Rekultivierung und Abbaufortgang	79
8.5	Klimawandelprognose	80
9	Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie	82
9.1	Identifizierung und Beschreibung der betroffenen Wasserkörper (Ist-Zustand)...	82
9.2	Auswirkungen des Vorhabens.....	86
10	Monitoring	89

Abbildungsverzeichnis

1	
Abb. 3-1:	Lage der Becken mit Höhen-Einmessung 2022 7
Abb. 5-1:	Ganglinie der Beckenwasserstände 2021 und 2022 15
Abb. 5-2:	Ganglinie der Grundwasserstände im Umfeld der Becken im Steinbruch 2021 und 2022 16
Abb. 5-3:	Abfluss aus dem Becken-Außen über die Rohrleitung zum Waldhausbach 18
Abb. 6-1:	Anhaltswerte des Hochwasserschutzgrades (Wiederkehrzeit T_n in Jahren) für bestehende Nutzungsarten nach Arbeitshilfe DIN 19700 HRB Baden- Württemberg..... 19
Abb. 6-2:	Abflusswirksame Teilflächen im Steinbruch (Stand 2024)..... 25
Abb. 6-3:	Auswertung nach ATV A 138 – Versickerungsmulde Regenwasserabfluss 30
Abb. 6-4:	Reaktion von Grundwasserständen und Beckenwasserständen nach Starkregen am 28./29. Juni 2021 32
Abb. 6-5:	Radarauswertung zur Regenmenge auf dem Plettenberg nach DWD-RADOLAN 37
Abb. 6-6:	Radarauswertung zur Regenmenge auf dem Plettenberg nach kachelmannwetter.com..... 37
Abb. 6-7:	Ganglinien der Beckenwasserstände vom 12.04.2023 bis 04.06.2023 38
Abb. 6-8:	Schema zur Wasserbilanz auf hydrologisch unterschiedlich wirksamen Flächen des Plettenberg 40
Abb. 6-9:	Einzugsgebiet Waldhausbach (Abgrenzung nach BW-Abfluss) 43
Abb. 6-10:	Einzugsgebiet des Waldhausbaches mit historischer topographischer Karte 47
Abb. 7-1:	Hydrogeologischer Bilanzraum Steinbruch Plettenberg 48
Abb. 7-2:	Durchlässigkeit und Speichervolumen im Steinbruch..... 50
Abb. 7-3:	Teilflächen im Steinbruch mit unterschiedlichen Speicherräumen (Abk. Tab. 7-2) 53
Abb. 7-4:	Teilflächen Plettenberg mit unterschiedlichen Speicherräumen (Abk. s. Tab. 7-2) 57

Abb. 7-5: Abfluss Tageswerte der 4 Wehre unterhalb der Kalktuffquellen KTQ1 bis KTQ5 im April und Mai 2023	60
Abb. 7-6: Speicher- und Rückhalteraum im Steinbruch bei Starkregenereignissen – 24 h Niederschlag mit 115,6 mm/Tag	63
Abb. 9-1: Der Plettenberg im Teilbearbeitungsgebiet 40 „Oberer Neckar - Neckar bis einschließlich Starzel“ mit Flusswasserkörpern 40-03 und 40-07.....	83
Abb. 9-2: Der Plettenberg im Teilbearbeitungsgebiet 40 und die Grundwasserkörper.....	85

Tabellenverzeichnis

Tab. 5-1: Durchlässigkeitsbeiwerte kf im Steinbruch.....	13
Tab. 5-2: Nutzbares Porenvolumen oder Kluftvolumen (Speichervolumen) im Steinbruch	13
Tab. 6-1: Regenreihe 100-jährliches Ereignis nach KOSTRA-DWD-2020 für den Plettenberg	21
Tab. 6-2: Teilflächen im Steinbruch und deren Abflussbeiwert (Stand 2024)	24
Tab. 6-3: Randbedingungen der Starkregenabflussbilanz im Steinbruch Plettenberg nach den Berechnungen von Breinlinger 2019.....	26
Tab. 6-4: Teilflächen am Plettenberg und deren Wasserhaushalt	39
Tab. 6-5: Kenndaten des Hochwasserabflusses vom Plettenberg im Einzugsgebiet Waldhausbach vor Errichtung Steinbruch und heutiger Zustand.....	45
Tab. 7-1: Theoretische Versickerungsmenge der Teilflächen im Steinbruch.....	50
Tab. 7-2: Nutzbares Porenvolumen (Speichervolumen) im Steinbruch	52

Verzeichnis der Anhänge und Anlagen

Anhang 1: Lageplan

Anhang 2: Hydrogeologisches Profil

Anhang 3: Längsprofil der Becken

Anhang 4: Detailplan Schächte und Ablauf Rückhalte-/Versickerungsbecken

Anhang 5: Lageplan Wasserentnahme

Anlage 1: Fernandez-Steeger (2022): Gutachten zu Fragen der Böschungssicherheit der Absetz- und Versickerungsbecken für die Zwischenspeicherung von Niederschlagswässern im zentralen und östlichen Bereich des Steinbruchs auf dem Plettenberg.

Anlage 2: Fernandez-Steeger (2023): Stellungnahme zu Fragen der Standsicherheit des Felsriegels am Ostrand des Absetz- und Versickerungsbeckens für die Zwischenspeicherung von Niederschlagswässern im zentralen und östlichen Bereich des Steinbruchs auf dem Plettenberg für das Niederschlagsereignis am 07.05.2023

1 Allgemeines und bestehende wasserrechtliche Gestattungen für den Steinbruch Plettenberg

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. Im Steinbruchbetrieb werden auf einer genehmigten Fläche von ca. 55,6 ha Kalksteine des Oberen (Weißen) Jura rohstofflich in einer Menge von etwa 1 Mio. t pro Jahr im Trockenabbau hereingewonnen.

Zur Ableitung des Niederschlagswassers aus dem Steinbruch wird seit dem Jahr 2008 ein Sedimentationsbecken (im Folgenden als „Becken-Innen“ bezeichnet) und ein zweites nachgeschaltetes Rückhaltebecken (im Folgenden als „Becken-Außen“ bezeichnet) mit einer gedrosselten Ableitung über eine unterirdische Rohrleitung in den Waldhausbach unterhalb der östlichen Felsböschung genutzt.

Mit Datum vom 03.04.2008 erteilte das Landratsamt Zollernalbkreis der Holcim (Süd-deutschland) GmbH die wasserrechtliche Erlaubnis für die Versickerung von Niederschlagswasser aus dem Steinbruch Plettenberg, Flurstück 2786/0 nach Sammlung und Sedimentierung in einem Sedimentationsbecken in einem nachgeschalteten Becken im Steinbruch. Die Erlaubnis ist bis 31.12.2023 befristet.

Da sich die erforderliche Versickerungsrate im Becken-Außen nicht einstellte, wurde von der Holcim (Süd-deutschland) ein weiterer wasserrechtlicher Antrag auf gedrosselte Ableitung des gesammelten Niederschlagswassers aus dem Versickerungsbecken in den Waldhausbach gestellt. Mit Datum vom 05.02.2014 erteilte das Landratsamt Zollernalbkreis daraufhin die wasserrechtliche Erlaubnis für die gedrosselte Ableitung des gesammelten Niederschlagswassers aus dem bestehenden Versickerungsbecken des Kalksteinbruchs Plettenberg mit einer max. Wassermenge von 20 l/s in den Waldhausbach auf Flurstück 2795, Gemarkung Dotternhausen. Die Erlaubnis ist bis 31.01.2029 befristet.

Die Holcim (Süd-deutschland) GmbH hat am 28.06.2018 die Erteilung einer immissionsschutzrechtlichen Änderungsgenehmigung gemäß § 16 Abs.1 BImSchG zur wesentlichen Änderung des Steinbruchs auf dem Plettenberg beantragt. Gegenstand des Genehmigungsantrags ist unter anderem die südliche Erweiterung des bestehenden

Steinbruchs um ca. 8,78 ha, die Umwandlung einer genehmigten Rekultivierungsfläche in eine Abbaufäche sowie die Änderung und Anpassung der Abbau-, Verfüllungs- und Rekultivierungsplanung (sog. Süderweiterung). Das Änderungsgenehmigungsverfahren ist noch nicht abgeschlossen.

Für den bestehenden Steinbruch hat das Landratsamt Zollernalbkreis zuletzt am 18.12.2020 eine immissionsschutzrechtliche Änderungsgenehmigung nach § 16 Abs. 4 BImSchG zur Abbauplanung und Konkretisierung der Rekultivierungsplanung erteilt. Die Änderungsgenehmigung ist zeitlich befristet bis zum 31.12.2025.

Die Neuerteilung der genannten wasserrechtlichen Erlaubnis zur Ableitung des Niederschlagswassers vom 03.04.2008 und der Ableitung des gesammelten Niederschlagswassers in den Waldhausbach vom 05.02.2014 muss – soweit diese Erlaubnisse dann der Entwässerung des UVP-pflichtigen Steinbruchs mit Süderweiterung dienen – nach § 11 Abs. 1 WHG in einem Verfahren erteilt werden, das den Anforderungen des UVPG entspricht. Erforderlich ist also ein Verfahren mit UVP-Bericht, Öffentlichkeitsbeteiligung und zusammenfassender Bewertung der Umweltauswirkungen.

Es ist unwahrscheinlich, dass die immissionsschutzrechtliche Änderungsgenehmigung für die Süderweiterung einschließlich der in einem Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung zu erteilenden wasserrechtlichen Erlaubnisse für die Versickerung und Ableitung des Niederschlagswassers aus dem Steinbruch (mit Süderweiterung) noch bis zum Ende der Befristung der Versickerungserlaubnis am 31.12.2023 erteilt werden können.

Aus diesem Grund wird für den Übergangszeitraum bis zur Erteilung der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung für die Süderweiterung und der neuen wasserrechtlichen Erlaubnisse eine befristete Übergangserlaubnis für die Versickerung beantragt. Die Übergangserlaubnis wird für den Zeitraum vom 01.01.2024 bis zum 31.01.2029 beantragt, um einen zeitlichen Gleichlauf mit der bestehenden Erlaubnis für die Ableitung des Niederschlagswassers zu gewährleisten.

2 Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis vom 01.01.2024 bis zum 31.01.2029

Die technischen Anlagen mit den beiden Becken und den Zulauf- und Auslaufbauwerken im Steinbruch Plettenberg sind im Kartenbild und im Profil auf den Anhängen 1-4 dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung und Darstellung der technischen Anlagen liegt in Breinlinger (2019) vor.

Die bestehende Erlaubnis zur Sammlung und Sedimentierung in einem Sedimentationsbecken und einem nachgeschalteten Rückhalte- und Versickerungsbecken im Steinbruch ist bis zum 31.12.2023 befristet. Die weitere Erlaubnis zur Ableitung des Wassers aus den Versickerungsbecken in den Waldhausbach läuft erst am 31.01.2029 ab.

Die Holcim (Süddeutschland) GmbH beantragt daher eine wasserrechtliche Erlaubnis für folgenden Tatbestand:

- Weiterer Betrieb des bestehenden Sedimentationsbeckens und eines nachgeschalteten Rückhalte- und Versickerungsbeckens zur Sammlung und Sedimentation des zufließenden Niederschlagswassers aus dem Steinbruch Plettenberg.

Die Erlaubnis soll vom 01.01.2024 an gelten und bis zum 31.01.2029 befristet sein. Im Anschluss könnten dann beide wasserrechtlichen Tatbestände zusammengeführt werden.

Die hier beantragte Erlaubnis gilt für die Benutzungstatbestände des § 9 Abs. 1 Nr. 2 WHG – Aufstauen von oberirdischen Gewässern – und § 9 Abs. 1 Nr. 4 WHG – Einbringen und Einleiten von Stoffen in Gewässer, sowie § 9 Abs. 1 Nr. 5 WHG - Zutageleiten von Grundwasser.

Darüber hinaus wird für die Entnahme von Wasser aus dem Becken-Außen zur Fahrwegsbewässerung und Fahrzeugreinigung die Entnahme von Wasser aus einem oberirdischen Gewässer nach § 9 Abs. 1 Nr. 1 WHG beantragt (s. auch Lageplan in Anhang 5 zu den folgenden Textabschnitten):

- a. Zur Reduzierung von Staubemissionen bei trockener Witterung sollen die Fahrwege im Kalksteinbruch auf dem Plettenberg mit Wasser aus dem Versickerungsbecken bewässert werden. Dazu soll – wie in der Vergangenheit bereits geschehen (siehe E-Mail von Herrn Junginger von Holcim an Herrn Harry Maisner vom Landratsamt Zollernalbkreis am 03.08.2018) – Wasser aus dem Becken-

Außen im Kalksteinbruch entnommen werden. Das Becken-Außen ist gewählt worden, da hier eine kleinere Sedimentlast zu erwarten ist.

Es ist geplant, ein geeignetes Wasserfass mittels einer Pumpe aus dem Becken zu befüllen. Das Wasser soll danach möglichst zeitnah ohne Zuhilfenahme von Zusatzstoffen auf den Fahrwegen verteilt werden. Je nach Witterung sollen bis zu 160 m³ pro Tag entnommen werden.

Die exakte Art des Verbringens wird von der auszuwählenden Technologie abhängen (beispielsweise Breitverteiler oder Exaktverteiler). Es soll nur so viel Wasser ausgebracht werden, dass möglichst nur die sich auf der Fahrbahn befindliche Staubschicht benässt wird. Diese Schicht ist stellenweise mehrere Zentimeter mächtig. Das in der Staubschicht gebundene Wasser würde dann über die Zeit verdunsten.

Betriebsbedingt könnte eine kurzzeitige Zwischenlagerung des Wassers notwendig sein (bspw. über Nacht). Sollte das Wasser nicht benötigt werden, kann es über das Absetzbecken wieder der Versickerung beziehungsweise Ableitung zugeführt werden.

Die Wasserentnahme zur Fahrwegsbewässerung soll so lange durchgeführt werden, wie es witterungsbedingt notwendig ist. Konkret wird die Durchführung der Maßnahmen für den Zeitraum ab Anfang April bis Ende September beantragt. In dieser Periode kann es erfahrungsgemäß zu Staubemissionen auf Grund der Fahrbewegungen der Großgeräte im Steinbruch kommen. Es sollen maximal 4.000 m³/Jahr aus dem Becken-Außen zur Fahrwegsbewässerung entnommen werden.

- b. Zur Wäsche der Fahrzeuge soll ebenfalls Wasser aus dem Becken-Außen im Kalksteinbruch auf dem Plettenberg entnommen werden. Dies ist vor allem für die Großgeräte notwendig. So muss eine Reinigung beispielsweise für die jährliche UVV-Inspektion (Hauptuntersuchung für gewerblich genutzte Fahrzeuge) durchgeführt werden. Ebenso kann eine Reinigung bei Wartungs- und Reparaturarbeiten notwendig sein. Für die Reinigung aller Großgeräte werden jedes Mal circa 5 Tage benötigt.

Das Vorgehen ist äquivalent zum bereits in den vergangenen Jahren genehmigten Verfahren: Das Waschwasser wird zunächst aus dem Becken-Außen ent-

nommen. Die Reinigung selbst erfolgt in der genehmigten Fahrzeughalle mit versiegeltem Boden und ohne Zuhilfenahme von Zusatzstoffen. Das Schmutzwasser wird in ein mobiles Fass gepumpt, in das Zementwerk Dotternhausen transportiert und dort fachgerecht über einen Ölabscheider entsorgt. Das maximal aus dem Versickerungsbecken zu entnehmende Wasservolumen für die Fahrzeugwäsche beträgt 1.000 m³/Jahr.

Als Maßnahme zur Ableitung des Niederschlagswassers aus dem Nordostbereich des Steinbruches besteht eine Rohrleitung (Zuleitungskanal DN400) als „Wasserableitung zum Becken-Innen“ (s. Anhang 1). Diese wird ertüchtigt.

Weiterhin wurde ein etwa 130 cm hoher Wall mit Eigenmaterial aus dem Steinbruch an der östlichen Böschungskante nördlich vom Becken–Außen aufgeschüttet. Damit wird das bei Starkregen abfließende Wasser auf der Betriebsfläche der Nordkulisse zurückgehalten. Es wird verhindert, dass Wasser über die tiefer liegende Böschungskante beim verfüllten alten Becken in den darunterliegenden Hangschuttkörper fließt. Der Wall ist auf der Anhang 1 dargestellt.

Die Firma Dr. Köhler & Dr. Pommerening GmbH wurde mit der Erstellung der erforderlichen Unterlagen zu diesem Antrag beauftragt. Die hydraulischen Erläuterungen und Berechnungen sind in diesem Bericht dargelegt.

3 Beschreibung der Becken und Anlagen

Die zwei Becken für den Rückhalt bei Regenereignissen und die Versickerung sowie kontrollierte Ableitung aus dem Steinbruch liegen im zentralen und östlichen Bereich der unteren Abbausohle. Das Sedimentationsbecken/Absetzbecken im inneren Steinbruchbereich fungiert als Rückhalte- und Absetzbecken (Becken-Innen). Es hat bei einer Höhe von 939,8 mNN einen Überlauf in das Becken-Außen. Das Becken-Außen ist ebenfalls ein Rückhaltebecken für den Regenwasserabfluss und hat zusätzlich auch die Funktion eines Versickerungsbeckens. Beide Becken haben eine Oberkante der Beckenböschungen bei etwa 941,0 mNN. Wenn der Wasserstand höher steigt, fließt Wasser in die umgebenden Teile der unteren Steinbruchsohle. Ab einem Wasserspiegel von etwa 942,0 mNN könnte Wasser theoretisch über die Außenböschung nach Osten aus dem Steinbruch hinaus in Richtung des Einzugsgebietes vom Waldhausbach abfließen. Wie aktuelle Vermessungen zeigen, ist die Geländehöhe im Steinbruch an der Ostböschung an allen Stellen mindestens 942 mNN oder höher.

Die folgenden Kenndaten der Rückhaltebecken im Steinbruch sind anzugeben:

Becken-Außen:

- Mittlerer Wasserstand = 938,56 mNN
- Höhe Überlauf Rohrleitung zum Waldhausbach = 938,50 mNN
- Fläche bei Wasserstand 938,50 mNN = 4.700 m²
- Fläche Becken bis 940 mNN = 6.000 m²
- Fläche Becken bis 940,5 mNN = 8.000 m²
- Fläche Becken gesamt bis 941 mNN = 9.300 m²
- Rückhalte-Volumen zwischen 938,5 und 940 mNN = 8.000 m³
- Rückhalte-Volumen zwischen 938,5 und 940,5 mNN = 12.500 m³
- Rückhalte-Volumen zwischen 938,5 und 941 mNN = 17.000 m³
- Genehmigte maximale Wasserabgabemenge aus Becken-Außen über Rohrleitung in Waldhausbach = 20 l/s

Becken-Innen:

- Mittlerer Wasserstand 939,80 mNN = Höhe Überlauf Rohrleitung zum Becken-Außen
- Fläche bei Wasserstand 939,8 mNN = 3.000 m²
- Fläche bis Außenkante Becken 940,5 mNN = 6.000 m²

- Fläche Becken + angrenzende Tief-Bereiche bis 941 mNN = 14.500 m²
- Rückhalte-Volumen zwischen 939,8 und 940 mNN = 1.000 m³
- Rückhalte-Volumen zwischen 939,8 und 940,5 mNN = 4.500 m³
- Rückhalte-Volumen zwischen 939,8 und 941 mNN = 12.000 m³

Fläche der Becken gesamt bis 941 mNN = 23.100 m²

Speichervolumen der Becken gesamt bis 941 mNN = 29.000 m³

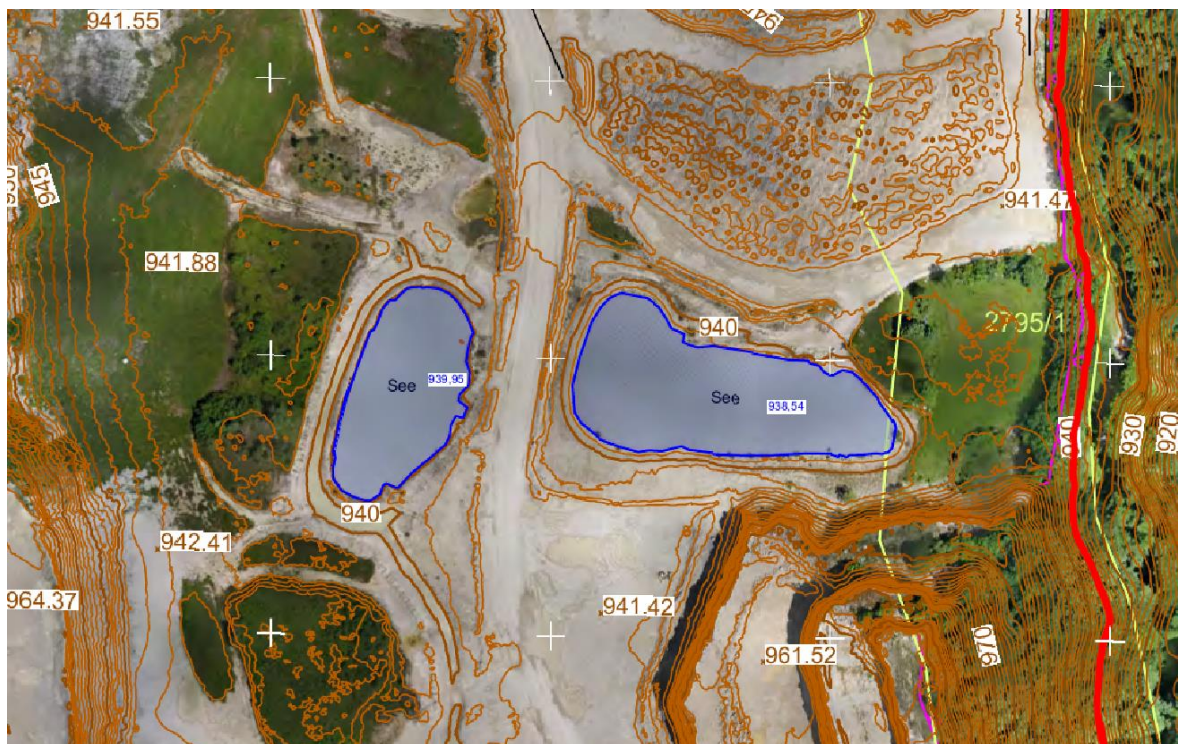


Abb. 3-1: Lage der Becken mit Höhen-Einmessung 2022



Abb. 3-2 Foto des neuen Walles, Blickrichtung Ost

4 Unterlagen

Folgende Untersuchungen liegen vor und wurden für den Wasserrechtsantrag genutzt:

DWD (2020): KOSTRA-DWD 2020 - Niederschlagshöhen und –spenden

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

Breinlinger Ingenieure (2019): Süderweiterung des Steinbruchs Plettenberg - Entwässerungskonzept/Retentionsmaßnahmen.-

Fernandez-Steeger (2022): Gutachten zu Fragen der Böschungssicherheit der Absetz- und Versickerungsbecken für die Zwischenspeicherung von Niederschlagswässern im zentralen und östlichen Bereich des Steinbruchs auf dem Plettenberg.-

Fernandez-Steeger (2023): Stellungnahme zu Fragen der Standsicherheit des Felsriegels am Ostrand des Absetz- und Versickerungsbeckens für die Zwischenspeicherung von Niederschlagswässern im zentralen und östlichen Bereich des Steinbruchs auf dem Plettenberg für das Niederschlagsereignis am 07.05.2023

Fuchs, S., Ziesche, M. & Nillert, P. (2017): Empirische Verfahren zur Ableitung verschiedener Porositätsarten aus Durchlässigkeitsbeiwert und Ungleichkörnigkeitszahl – ein Überblick.- Grundwasser- Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie.

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

Köhler & Pommerening (2018): Hydrogeologisches Gutachten zur beantragten Abbauerweiterung.-

Köhler & Pommerening (2022a): Hydrogeologie und Hochwasserabfluss im Bereich des Steinbruches und des Rückhaltebeckens sowie der Ost-Böschung des Plettenbergs.- Stellungnahme vom 10.11.2022

Köhler & Pommerening (2022b): Hydraulische Versuche im Steinbruch Plettenberg zur Bestimmung der Durchlässigkeit der Abbausohle und der Rekultivierungsschicht.- Stellungnahme vom 10.11.2022

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

- LUBW (2007): Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg.-
- LUBW (2012): Hinweise zu "Stauanlagen von untergeordneter Bedeutung" - Definition, Anforderungen und Umgang.-
- KLIWA (Hrsg.) (2023): Klimaveränderung und Wasserwirtschaft. Online-Recherche unter <http://www.kliwa.de>. Abfrage vom 12.02.2023
- 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 (2022): Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie - Begleitdokumentation Teilbearbeitungsgebiet 40 Oberer Neckar - Neckar bis einschließlich Starzel – mit Kartenanhang – Stand: Dezember 2021 –
- DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, 2013
- DWA-A 138-1 Versickerungsanlage Entwurf (11/2020)
- DWA-A 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, 2007
- Informationssystem Abfluss-Kennwerte in BW; BW-Abfluss, LUBW, 2023
- Seidel, J. (2022): Erstellung und Auswertung von Starkregenszenarien für den Steinbruch Plettenberg – Projektbericht.- Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie

5 Hydrogeologische Grundlagen

5.1 Durchlässigkeit, Versickerungsfähigkeit und Speichervolumen im Steinbruch

Im Jahr 2021 und im Jahr 2022 wurden insgesamt 15 hydraulische Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit im Steinbruch, speziell der Sohlflächen, durchgeführt. Mit 9 Versuchen wurde die bereits hergestellte Rekultivierungsschicht untersucht. Weitere 6 Versuche wurden auf der unteren Abbausohle, direkt auf dem freigelegten Impressamergel durchgeführt. Die Versuche sind in der Stellungnahme vom November 2022 dokumentiert.

Auf der unteren, offenen Steinbruchsohle beträgt die generelle Durchlässigkeit nach den Versuchen etwa $k_f = 1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $k_f = 5,2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Auf besonders stark verdichteten Abschnitten (z. B. den Fahrstraßen mit ständigem Fahrzeugverkehr) sind auch kleinere Durchlässigkeiten möglich, die im Bereich $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s und darunter liegen. Diese kleinen Werte sind auf die Hauptfahrstraßen im Steinbruch beschränkt. Die Steinbruchsohle ist durch den anstehenden Impressamergel, mit geklüfteten und relativ flach gelagerten Mergelstein- und Kalksteinbänken geprägt. Auf dem anstehenden Fels liegt verbreitet eine etwa 0,2-0,5 m mächtige Lockergesteinsauflage, die durch Kalkstein-Schotter mit feinkörnigen Kalkstein-Beimengungen der Korngrößen Sand, Kies und auch Schluff geprägt ist. Lokal kann diese Auflage auch bis etwa 1 m mächtig sein. Darunter ist das anstehende Gestein bis etwa 2 m Tiefe durch die fehlende Auflast erkennbar aufgelockert.

Die Durchlässigkeit im Grundwasser des geklüfteten, unverwitterten Impressamergels, also etwa 2 bis 10 m unter der Oberkante der Steinbruchsohlfläche, beträgt nach geohydraulischen Versuchen im Mittel etwa $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $k_f = 4 \cdot 10^{-6}$ m/s. Wie die GWM09 zeigt, kann lokal die Durchlässigkeit auch $k_f < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s betragen. Im oberflächennahen Bereich, wo aufgrund der Druckentlastung nach dem Abbau eine Entspannung des Gebirges und eine Weitung der Klüfte eingetreten ist, liegt die Durchlässigkeit auch etwas höher bei $k_f \sim 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s, wie die B2015-3 im zentralen Abbaubereich zeigt.

Die hydraulischen Versuche auf den bereits rekultivierten Flächen zeigen eine große Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $k_f = 1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die Rekultivierungsschicht

mit etwa 2 m Mächtigkeit besteht überwiegend aus grobkörnigem Kalkstein mit feinkörnigerem Anteil in Sand- und Kieskorngroße und Schluffen. Darunter steht eine etwa 0,2 - 0,5 m mächtige Lockergesteinsschicht aus Kalkstein-Schotter mit feinkörnigen Beimengungen sowie der Impressamergel als Kluffgestein an.

Die hydraulischen Versuche zeigen, dass auf der Rekultivierungsschicht eine generell große Durchlässigkeit mit $k_f \sim 1 \cdot 10^{-4}$ bis $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s besteht. Der darunter anstehende Impressamergel ist im oberflächennahen, aufgelockerten Bereich durch eine mittlere Durchlässigkeit ($k_f \sim 1 \cdot 10^{-5}$ m/s) und darunter im unverwitterten Grundwasserbereich von einer mittleren bis mäßigen Durchlässigkeit ($k_f \sim 1 \cdot 10^{-6}$ m/s) geprägt.

Die Steinbruchfläche ist damit als durchlässig und versickerungsfähig und die rekultivierte Fläche des Steinbruchs als sehr gut durchlässig und ebenfalls versickerungsfähig einzustufen. Die großen Durchlässigkeiten der Rekultivierungsschicht ermöglichen eine relativ schnelle Versickerung des Wassers nach Regenfällen und weisen auf ein großes Rückhaltevermögen hin. Die hydraulischen Versuche zeigen, dass auf den rekultivierten Flächen die Versickerungsfähigkeit gegenüber der unteren Abbausohle im Steinbruch deutlich größer ist. Der Oberflächenabfluss wird sich auf den rekultivierten Flächen gegenüber der Steinbruchsohle sehr stark verringern. Der von Breinlinger (2019) für die Steinbruchsohle angesetzte Abflussbeiwert von $\psi = 0,6$ kann für die Rekultivierungsfläche auf etwa $\psi = 0,1$ bis $\psi = 0,2$ verkleinert werden. Da im rekultivierten Zustand der Oberflächenabfluss nach Regenfällen deutlich verkleinert ist, sind die Rückhaltebecken nach erfolgter Rekultivierung des Steinbruchs nicht mehr erforderlich.

Für das hydrologische Abflussmodell zum Hochwasserabfluss und zur Versickerungsfähigkeit im Steinbruch wird mit den in der Tab. 5-1 angegebenen mittleren k_f -Werten gerechnet, die durch hydraulische Versuche im Steinbruch ermittelt wurden.

Für das effektive Porenvolumen oder das effektive Kluffvolumen wird bei der Bilanzierung in Kap. 7 mit den in Tab. 5-2 aufgeführten Werten gerechnet. Die k_f -Werte leiten sich aus den hydraulischen Versuchen vor Ort ab. Die Werte zum effektiven Porenvolumen und zum Kluffvolumen stammen aus Berechnungen auf Basis der k_f -Werte (Fuchs et. al 2017) und aus Erfahrungswerten.

Tab. 5-1: Durchlässigkeitsbeiwerte kf im Steinbruch

Bereich im Steinbruch	Durchlässigkeit ¹			Bemerkung
	Mittlere	Maximal	Minimal	
	kf [m/s]	kf [m/s]	kf [m/s]	
Offene Steinbruchflächen (bis ca. 2 m Tiefe)	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Impressamergel, Wohlgeschichtete Kalke, oberflächennah, druckentlastet
Offene Steinbruchfläche, verdichtet (Wege)	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-7}$	Durch Fahrzeugverkehr verdichtet
Impressamergel, unverwittert, (>2 m u. GOK)	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	
Rekultivierungsflächen	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	

Erläuterungen:

1: Werte nach hydraulischen Versuchen (Pumpversuche, Auffüllversuche, Versickerungsversuche)

Tab. 5-2: Nutzbares Porenvolumen oder Kluftvolumen (Speichervolumen) im Steinbruch

Bereich im Steinbruch	Mittl. Durchlässigkeit kf	Effektives Porenvolumen oder Kluftvolumen (Speichervolumen) ¹		Bemerkung
		Bereich	Mittl. Wert	
	Kf [m/s]	[-]		
Offene Steinbruchflächen (bis ca. 2 m Tiefe)	$2 \cdot 10^{-5}$	1-4 %	2 %	Kalksteinschotter über Impressamergel, geklüftet, oberflächennah druckentlastet
Offene Steinbruchfläche, verdichtet (Wege)	$1 \cdot 10^{-6}$	<0,5 %	< 0,5%	Schotter, mit feinkörnigem Material, durch Fahrzeugverkehr verdichtet
Impressamergel, unverwittert, (>2 m u. GOK)	$2 \cdot 10^{-6}$	0,5 % -2%	1,5 %	Festgestein Impressamergel (Kalkstein, Mergelstein), geklüftet
Rekultivierungsflächen	$4 \cdot 10^{-4}$	15% - 33 %	25%	Lockergestein aus Steinbruch, mit Korngröße: Feinsand, Mittelsand, Grobsand, Kies, Steine, z. T. Schluff

Erläuterungen:

1: Werte nach Hölting & Coldewey 2013, Langguth & Voigt 2004

5.2 Wasserstände in den Rückhalte- und Versickerungsbecken, Grundwasserstände im Umfeld der Becken und Reaktion der Wasserstände auf Niederschläge

Auf der Abb. 5-1 sind die Ganglinien der Beckenwasserstände von Juni 2021 bis Oktober 2022 dargestellt. Der höchste Wasserstand wurde am 30.06.2021 mit etwa 940,10 mNN in beiden Becken nach einem Starkregenereignis gemessen.

Im gesamten Verlauf von Juni 2021 bis Oktober 2022 zeigt sich, dass der Wasserspiegel im Becken-Außen zumeist im Bereich zwischen 938,50 mNN (der Überlaufhöhe der Ableitung in den Waldhausbach) und etwa 939,0 mNN um etwa 0,5 m schwankt als Reaktion auf Niederschlagszuflüsse aus dem gesamten Steinbruch. Nur bei sehr starken Regenfällen, wie am 28.06.2022 (67 mm) oder z. B. am 19.08.2022 (52,8 mm) wird ein Beckenwasserstand von 939,0 mNN überschritten und maximal etwa 940,10 mNN erreicht. Ein Überlaufen des Beckens über den Beckenrand bei 941 mNN hinaus tritt nicht ein. Der höchste gemessene Wasserstand betrug am 30.06.2021 im Becken-Außen 940,14 mNN.

Becken-Wasserstände < 938,5 mNN sind nach längeren Trockenphasen zu beobachten, insbesondere im Sommer. Dann sinkt der Wasserspiegel im Becken unter das Niveau des Rohr-Überlaufes in die Leitung nach außerhalb des Steinbruches zum Waldhausbach ab. Das zeigt, dass auch eine Versickerung aus dem Becken in das tiefer liegende Grundwasser (vorrangig östlich vom Becken) erfolgt. Die Absenkung des Wasserstandes in Folge der Versickerung in das Grundwasser erfolgt langsamer als oberhalb 938,50 mNN, wenn das Wasser über die Rohrleitung mit einigen l/s abfließen kann.

Für die Versickerung kann man aus dem Absenkverlauf eine Versickerungsrate von etwa 42 l/min für die Versickerungs-Fläche beim niedrigen Beckenwasserstand (ca. 3.600 m²) ableiten. Der zeigt für die Trockenphasen, z. B. im November 2021 oder im Juli 2022 etwa einen gleichartigen Verlauf. Daraus ergibt unter Berücksichtigung eines kleinen Grundwasserzustromes von etwa 0,5-0,8 m³/h (Becken-Außen) eine konstante Versickerungswassermenge von etwa 2-3,5 m³/h (Becken-Außen), was bei der Ausdehnung des Beckens etwa einer Durchlässigkeit der Beckensohle von $k_f = 6 \cdot 10^{-7}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$ m/s entspricht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf der Beckensohle Feinsediment abgelagert ist.

Dass der Wasserspiegel im September 2022 nicht weiter absinkt, liegt daran, dass die Sohle des Loggers und des Pegelrohrs bei 938,18 mNN erreicht ist. Das Becken reicht im zentralen Abschnitt noch etwas tiefer bis etwa 938,0 mNN. Mitte September 2022 ist das Becken-Außen fast komplett trockengefallen.

Auch das Becken-Innen zeigt eine temporäre Absenkung des Wasserspiegels unter die Überlauf-Höhe von 939,80 mNN und damit ebenfalls eine Versickerung in das Grundwasser, bei einem etwas kleineren kf-Wert ($k_f = \text{ca. } 4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$).

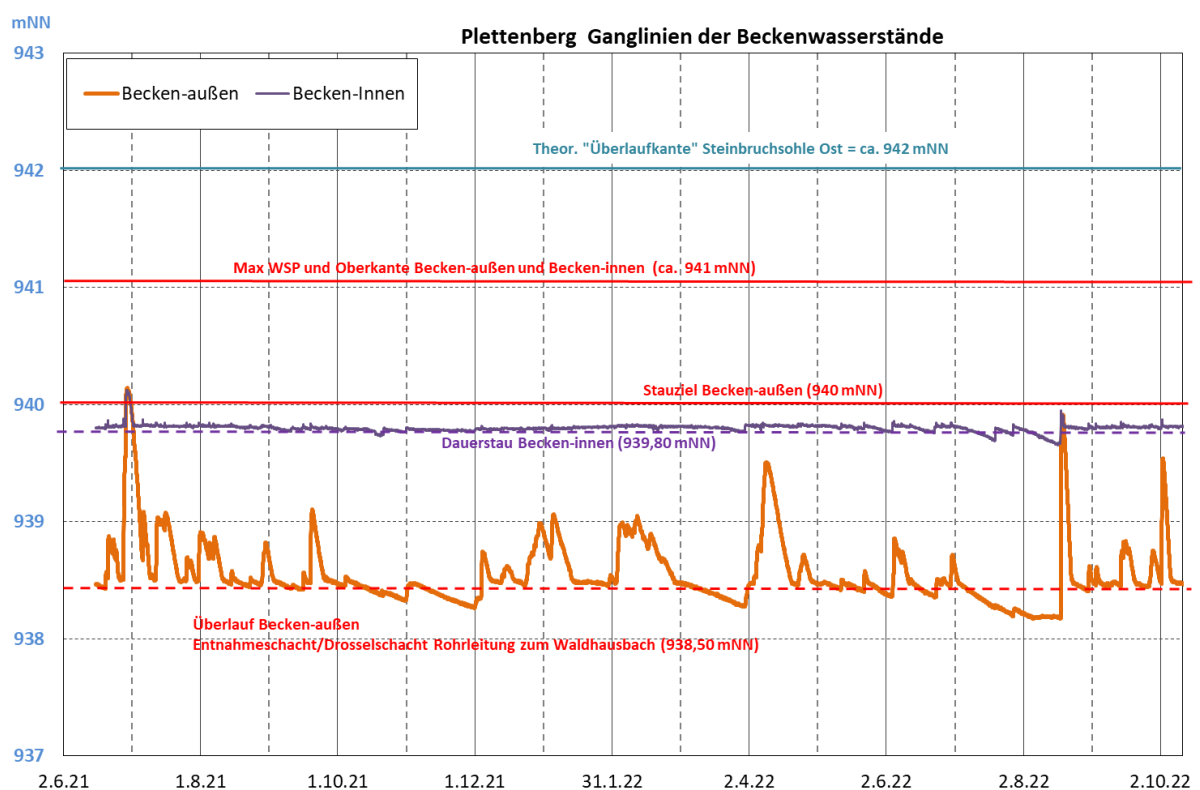


Abb. 5-1: Ganglinie der Beckenwasserstände 2021 und 2022

5.3 Grundwasserstände im Steinbruch

Die Ganglinien der Grundwasserstände im Steinbruch im Umfeld der Becken sind in Abb. 5-2 dargestellt. Die Grundwasserstände im Steinbruch liegen in nassen Perioden, im Winter und Frühjahr sowie nach stärkeren Niederschlägen, bei etwa 940 bis 941 mNN. In Trockenphasen sinken die Grundwasserstände im Steinbruch auch deutlich unter 940 mNN ab. GWM09 und GWM03 zeigen im August 2022 Grundwasserstände bei etwa 936,5-937 mNN. In der GWM01, die etwa 40 m westlich der östlichen

Außenböschung vom Steinbruch liegt, sind die mittleren und minimalen Grundwasserstände mit etwa 932-933 mNN am niedrigsten, da in Richtung der Außenböschung der Grundwasserabstrom im geklüfteten Grundwasser des Steinbruches (Impressamer gel) erfolgt.

In Anhang 2 sind in einem West-Ost Profilschnitt die Grundwasserstände im Bereich der Becken und der Ost-Böschung sowie den Verlauf der Grundwasseroberfläche an der Ostböschung für mittlere Grundwasserstände dargestellt.

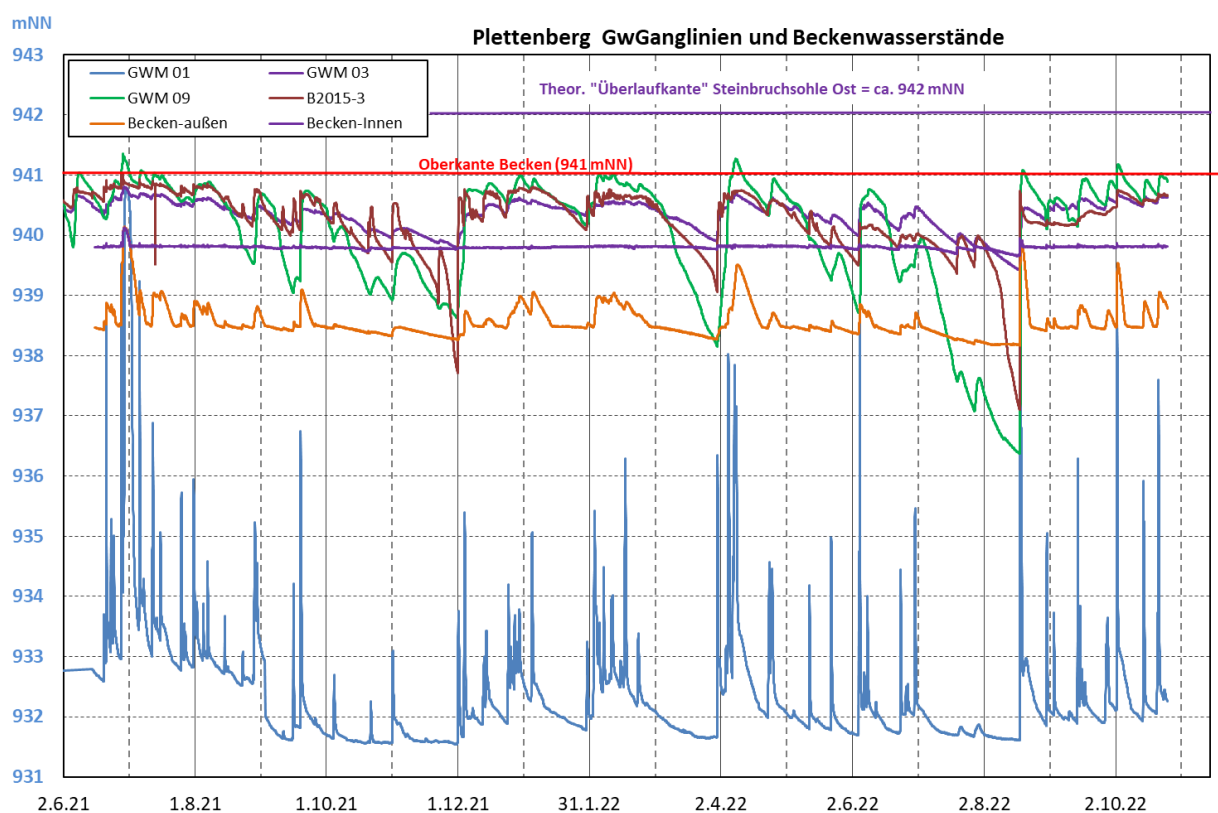


Abb. 5-2: Ganglinie der Grundwasserstände im Umfeld der Becken im Steinbruch 2021 und 2022

Die Wasserstände in beiden Becken liegen zumeist tiefer als die Grundwasseroberfläche im zentralen Abbaubereich. Das zeigen die Ganglinie der B2015-3, der GWM09 und der GWM03 in Abb. 5-3. Das Grundwasser kann somit den Becken zufließen. Östlich vom Becken-Außen in Richtung der Außenböschung vom Plettenberg liegt das Grundwasser fast immer tiefer als im Becken, wie die Ganglinie der GWM01 zeigt.

Daher kann vom Becken-Außen auch eine beständige Versickerung in das Grundwasser und ein Abstrom nach Osten stattfinden (s. Profilschnitt Anhang 2). Temporär in Trockenphasen sinken die Grundwasserstände im zentralen Abbaubereich unter den Wasserstand der Becken (z. B. August 2022). Dann geben beide Becken über die Versickerung Wasser an das Grundwasser ab (s. Abb. 5-2). Auch die weiteren Grundwasserstände im Umfeld sinken temporär unter den Wasserstand in Becken-Innen ab.

5.4 Ableitung aus dem Becken zum Waldhausbach

Der Abfluss aus dem Becken-Außen erfolgt über eine Rohrleitung zum Waldhausbach. Die Abflussmengen werden über eine Wasseruhr aufgezeichnet. In Abb. 5-4 ist die Abflussganglinie der Jahre 2021 bis 2023 dargestellt.

In diesem Zeitraum betrug der mittlere Abfluss aus dem Becken-Außen $Q = 3,3$ l/s. Nach Regenfällen steigt der Abfluss kurzzeitig an. Die Rohrleitung zum Waldhausbach ist auf einen Durchfluss von 20 l/s gedrosselt. Wie die Aufzeichnungen der Wasseruhr zeigen, wurde dieser Wert nach starken Regenfällen im Juli 2021 oder im Zuge der Schneeschmelze im Januar 2021 kurzzeitig überschritten. Die Schiebereinstellung an der Drossel wurde zwischenzeitig in 2023 neu eingestellt. In längeren Trockenphasen geht der Abfluss aus dem Becken-Außen auf 0 l/s zurück.



Abb. 5-3: Abfluss aus dem Becken-Außen über die Rohrleitung zum Waldhausbach

Der gesamte Abfluss aus dem Becken über die Rohrleitung zum Waldhausbach beträgt nach den Aufzeichnungen der Wasseruhr im Zeitraum 01.01.2021 bis 27.02.2023 $Q = 224.204 \text{ m}^3$. Daraus errechnen sich folgende Mittelwerte des Durchflusses:

$$MQ_{RL} = 3,3 \text{ l/s} = 11,9 \text{ m}^3/\text{h} = 286 \text{ m}^3/\text{Tag} = 104.068 \text{ m}^3/\text{Jahr}.$$

6 Hydraulische Grundlagen und Berechnungen

6.1 Starkregenereignisse als Bemessungsregen

6.1.1 Jährlichkeit

Für die Bemessung der Wasserrückhaltung in einem Steinbruch, wie auf dem Plettenberg, gibt es keine allgemein gültigen Vorgaben oder Richtlinien, welche maximale Regenmenge anzusetzen ist. Für ein Bauwerk zur Regenrückhaltung wird üblicherweise als Überflutungsnachweis ein 30-jährlicher Bemessungsregen angesetzt, maximal 100-jährlich [DIN 1986-100:2016-12].

Die verbleibende Hochwassergefahr für Unterlieger kann in Baden-Württemberg mittels der Hochwassergefahrenkarten aufgezeigt werden. Die Hochwassergefahrenkarten enthalten u. a. die bei einem HQ100 tatsächlich überfluteten bzw. durch einen Damm geschützte Bereiche [Arbeitshilfe DIN 19700 HRB in Baden-Württemberg].

Die Arbeitshilfe DIN 19700 HRB in Baden-Württemberg gibt folgende Anhaltswerte des Hochwasserschutzgrades für bestehende Nutzungsarten an:

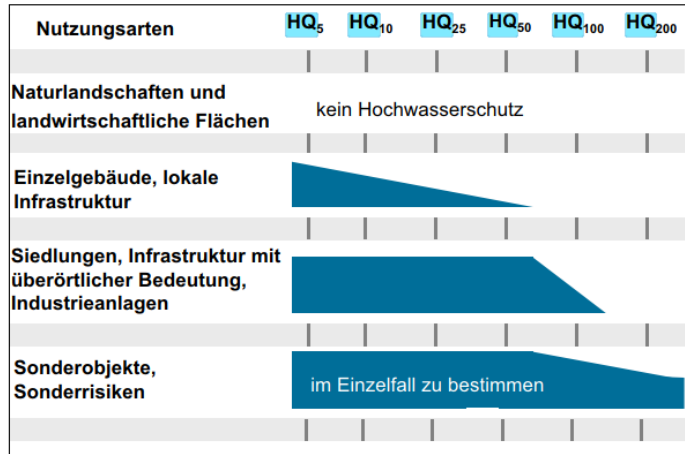


Abb. 6-1: Anhaltswerte des Hochwasserschutzgrades (Wiederkehrzeit T_n in Jahren) für bestehende Nutzungsarten nach Arbeitshilfe DIN 19700 HRB Baden-Württemberg

Demnach sind Regenereignisse mit einer Wiederkehrzeit von > 100 Jahren nur für Sonderobjekte und Sonderrisiken anzusetzen. Die Situation auf dem Plettenberg muss nach unserer fachlichen Einschätzung nicht dazu gerechnet werden.

6.1.2 KOSTRA-Regen

Die KOSTRA-Regendaten werden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um tabellarische Auflistungen von Modellregen unterschiedlicher Jährlichkeit die Raster-basiert für das gesamte Bundesgebiet (25 km² Raster) seit mehr als 30 Jahren vorliegen. Es gab mehrere Fortschreibungen der Daten. Zwischen 2018 und 2022 wurde der Datensatz dann grundlegend überarbeitet und erneut fortgeschrieben. Hier wird der aktuelle, seit dem 01.01.2023 verfügbare Datensatz KOSTRA-DWD-2020 mit dem Bezugszeitraum 1951-2020 genutzt.

Ein wesentlicher Anwendungsbereich für die rasterbasierte Starkniederschlagsauswertung ist die Dimensionierung wasserwirtschaftlicher Bauwerke, wie z. B. Kanalnetze, Kläranlagen, Pumpwerke, Rückhaltebecken und Versickerungsanlagen. Die Daten ermöglichen auch, die Niederschlagshöhe starker Regenereignisse bezüglich ihrer Jährlichkeit einzuschätzen.

Für den Plettenberg entspricht nach den aktuellen KOSTRA-Daten ein 100-jährlicher Regen einem Tagesniederschlag von etwa 115 mm. Der Modellregen der vorherigen Regenreihe KOSTRA-DWD-2010 hatte hierfür einen etwas geringeren Wert von 110 mm/Tag angegeben.

Für den Plettenberg hat der KOSTRA-Regen den in Tab. 6-1 aufgelisteten Verlauf. Dieser Modellregen gibt für den Plettenberg ein Regenereignis mit den folgenden Tagessummen der Regenmenge vor:

- 1 Tag = 115,6 mm
- 2 Tage = 139,6 mm
- 3 Tage = 155,9 mm

Tab. 6-1: Regenreihe 100-jährliches Ereignis nach KOSTRA-DWD-2020 für den Plettenberg

Zeit			Regenmenge - aufsummiert	Regenmenge je Zeitabschnitt
[min]	[h]	[d]	[mm]	[mm]
5	0,08	0,003	20,1	20,1
10	0,17	0,007	26,8	6,7
15	0,25	0,010	31,0	4,2
20	0,33	0,014	34,1	3,1
30	0,50	0,021	38,8	4,7
45	0,75	0,031	43,9	5,1
60	1,00	0,042	47,8	3,9
90	1,50	0,063	53,7	5,9
120	2,00	0,083	58,3	4,6
180	3,00	0,125	65,3	7,0
240	4,00	0,167	70,7	5,4
360	6,00	0,250	79,1	8,4
540	9,00	0,375	88,4	9,3
720	12,00	0,50	95,6	7,2
1080	18,00	0,75	106,9	11,3
1440	24,00	1,0	115,6	8,7
2880	48,00	2,0	139,6	24,0
4320	72,00	3,0	155,9	16,3
5760	96,00	4,0	168,6	12,7
7200	120,00	5,0	179,2	10,6
8640	144,00	6,0	188,3	9,1
10080	168,00	7,0	196,4	8,1

6.1.3 Aufgezeichnete Starkregenereignisse Station Balingen-Heselwangen

Von der Station Balingen – Heselwangen (Stations ID 00277) (Höhe 573 m NHN, etwa 8 km NE vom Steinbruch) liegen Wetter-Aufzeichnungen seit 1931 vor. Diese Station liegt etwa 400 m tiefer als der Steinbruch und ausreichend nahe, dass die Niederschlagsdaten von dort für den Plettenberg verwendet werden können. Die Regendaten dieser Station werden für die Wasserhaushaltsberechnungen für den Plettenberg von uns herangezogen. Aufgrund der Höhenlage ist die Niederschlagssumme auf dem Plettenberg sehr wahrscheinlich etwas höher als an der Station Heselwangen. Für die auf Mittelwerten basierenden langjährigen Bilanzberechnungen zum Niederschlag,

Versickerung, Verdunstung und Abfluss wird ein Faktor 1,25 zur Berücksichtigung der Höhenlage aufgeschlagen. Für die Starkregenereignisse wird auf einen Zuschlag zu den Werten der Station Balingen-Heselwangen verzichtet, da für diese Regenereignisse die Höhenlage weniger ausschlaggebend ist.

Der höchste Tages-Niederschlag der vergangenen 91 Jahre lag an der Station Balingen-Heselwangen bei 95,5 mm (10.08.1984). Die nächstfolgenden Starkniederschläge lagen bei 84,8 mm (1953) und 67,3 mm (1994). Der Niederschlag am 28.06.2021 war mit 65,7 mm der vierthöchste der vergangenen 91 Jahre. Zu diesem Starkregenereignis liegen detaillierte Messungen der Wasserstände und Abflüsse auf dem Plettenberg vor, die im Rahmen des Monitorings gemacht werden konnten und die in diesem Erläuterungsbericht für Auswertungen zu den dadurch hervorgerufenen Abflüssen und Wasserstände auf Grundlage der dabei erhobenen Messdaten genutzt wird.

6.1.4 Starkregenszenarien nach Gutachten Seidel 2022

Das Gutachten Seidel (2022) legt für den Plettenberg eine detaillierte Auswertung zu den Starkregenereignissen vor, die in der Vergangenheit aufgezeichnet wurden, und zu Szenarien für Starkregenereignisse, die zukünftig mögliche oder zu erwarten sind. Als Datengrundlage für eine extremwertstatistische Auswertung wird vom Autor die Station Klippeneck, etwa 10 km südwestlich vom Plettenberg gelegen, aufgrund der Nähe und etwa gleicher Höhenlage verwendet. Von dieser Station liegen Daten seit 1947 vor. Der höchste Tagesniederschlag an dieser Station war in diesem Zeitraum 84,6 mm am 07.07.1987. Darüber hinaus verwendet der Autor synthetische Niederschlagsreihen, z. B. NiedSim. Auf Grundlage der Niederschlags-Daten der Wetterstation Klippeneck und auf der Grundlage synthetischer Regenreihen werden vom Autor Korrelation für Jährlichkeiten bis 10.000 Jahre gerechnet, die entsprechenden Verteilungsfunktionen dargestellt und diese unter anderem hinsichtlich der Vorhersagegenauigkeit bewertet.

Seidel (2022) weist darauf hin, dass im Hinblick auf das Retentionsvermögen auf dem Plettenberg „eher lang anhaltende Niederschläge (> 12 h) potentiell gefährlich“ seien, vor allem, „wenn diese im Winter im Zusammenhang mit Schneeschmelze und/oder gefrorenem Boden“ auftreten.

Um eine Verifizierung des für den Plettenberg-Steinbruch angesetzten Abflussbeiwertes von 0,6 zu ermöglichen, schlägt Seidel vor, ein entsprechendes Monitoring der Niederschläge und Wasserstände vor Ort zu installieren. Das ist zwischenzeitig bereits umgesetzt. So kann ein Starkregenereignis vom 28.-30.06.2021 mit 65,7 mm Niederschlag an einem Tag und 90,3 mm an 3 Tagen mit den Auswirkungen auf die Wasserstände und Abflüsse auf dem Plettenberg an Hand der erhobenen Messdaten ausgewertet werden (s. Kap. 6.4.3).

Die Empfehlungen im Gutachten Seidel (2022) werden in der hier vorliegenden Ausarbeitung übernommen und umgesetzt. So werden auch 2- und 3-tägige Starkniederschläge und auch extreme Randbedingungen mit Starkregenereignissen auf gefrorenem Boden oder bereits gefüllten Rückhaltebecken in die Auswertungen hinsichtlich des Rückhaltevermögens auf dem Steinbruchareal einbezogen (s. Kap.7).

6.2 Einzugsgebiet der Becken

Die Steinbruchfläche gemäß der Genehmigung beträgt etwa 55 ha. Eine Fläche von 49,5 ha ist auf Grundlage eines aktuellen Höhenmodells von 2022 dem Einzugsgebiet der Becken im Steinbruch zuzurechnen. Eine Fläche von 5,5 ha betrifft Randflächen, die nicht zum Steinbruchinneren hin entwässern, das gilt insbesondere für die noch nicht abgebauten Flächen der Gesteinskulisse im Südosten. Auf der Abb. 6-2 im folgenden Kapitel sind die unterschiedlich abflusswirksamen Teilflächen im Steinbruch dargestellt. Das Einzugsgebiet der beiden Rückhaltebecken umfasst alle farbigen Flächen, mit Ausnahme der grau gefärbten Flächen, die nicht in den Steinbruch entwässern.

6.3 Abflusswirksame Teilflächen im Steinbruch

Auf der Abb. 6-2 sind die Teilflächen des Steinbruchareals weiter untergliedert in verschiedenen abflusswirksame Flächen. Dabei kann hauptsächlich unterschieden werden zwischen den „offenen Steinbruch-Flächen“ und den „Rekultivierungsflächen“. Dargestellt ist der zukünftige Abbau- und Rekultivierungszustand im Jahr 2024. In der Tab. 6-2 sind dazu die Flächengrößen und der Abflussbeiwert Ψ gemäß DWA-A 153 angegeben.

Die offenen Steinbruchflächen werden noch weiter unterteilt, da die Fahrwege im Steinbruch durch die schweren Fahrzeuge verdichtet sind und eine kleinere Durchlässigkeit aufweisen, als die übrigen offenen Steinbruchflächen (s. Kap. 5.1). Auf die Rekultivierungsflächen sind zu unterteilen in die „ebenen Flächen“ und die „rekultivierten Böschungen“, da hier der Versickerungswasseranteil aufgrund der Morphologie unterschiedlich hoch ist.

Die Abflussbeiwerte Ψ orientieren sich an den Vorgaben der ATVA (Richtlinie DWA A153). Über die Abflussbeiwerte errechnen sich die einzelnen abflusswirksamen Flächengrößen. Die Begründung für die Abflussbeiwerte der einzelnen Flächen erfolgt in Kap. 6.4.2. Aus der gesamten Einzugsgebietsgröße der Becken von 49,5 ha ergibt sich eine abflusswirksame Fläche von etwa 15 ha. Das entspricht einem mittleren Abflussbeiwert von $\Psi = 0,30$. Die Abflussmessungen nach einem Starkregenereignis Ende Juni 2021 erbrachten nach den Aufzeichnungen der Wasseruhr am Becken-Außen einen Abflussanteil am gesamten Regen von etwa 100 mm in 4 Tagen (90,7 mm in 3 Tagen) eine Abflussanteil von 36 % der Niederschlagsmenge, was die Größenordnung des Abflussbeiwertes etwa bestätigt (s. Kap. 6.4.3). Im Jahr 2021 war der Anteil der Rekultivierungsflächen noch kleiner, sodass hierfür der Abflussbeiwert etwas höher anzusetzen ist.

Tab. 6-2: Teilflächen im Steinbruch und deren Abflussbeiwert (Stand 2024)

Teil-Fläche	Flächen- größe	Abflussbeiwert Ψ	Abflusswirksame Fläche
	[m ²]	[-]	[m ²]
Offene Steinbruchfläche	234.000	0,3	70.200
Offene Steinbruchfläche mit verdichteter Oberfläche (Wege)	50.000	0,8	40.000
Rekultivierungsflächen - Böschungen	85.000	0,2	17.000
Rekultivierungsflächen – Ebene	114.000	0,1	11.400
Wasserfläche	7.500	1	7.500
Gebäude	4.500	1	4.500
Steinbruchflächen mit Abfluss zu den Becken	495.000	0,304	150.600
Randflächen mit Abfluss <u>nicht</u> in den Steinbruch und zu den Becken	55.000	0	0
Gesamt	550.000		159.800

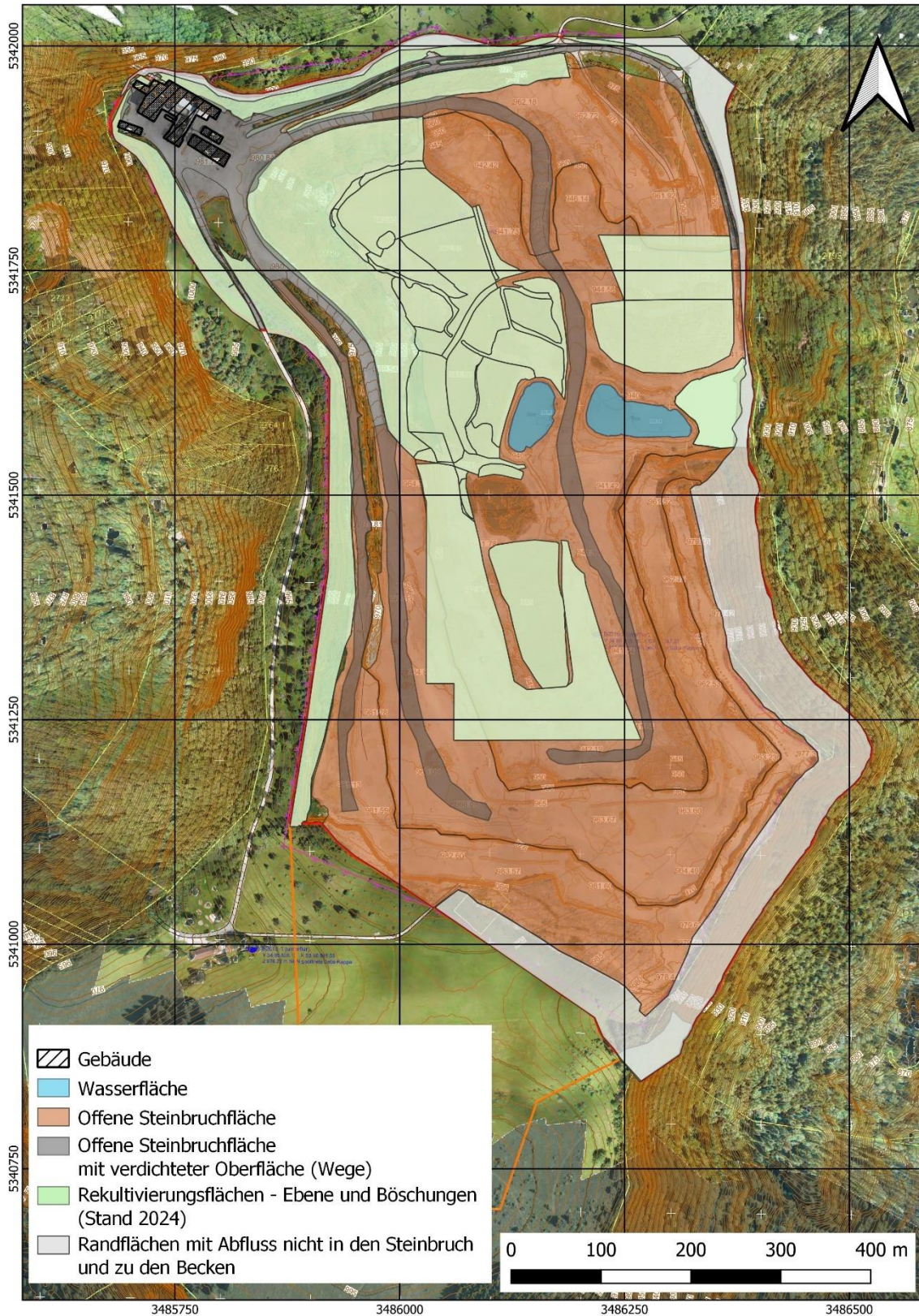


Abb. 6-2: Abflusswirksame Teilflächen im Steinbruch (Stand 2024)

6.4 Abflussbilanz im Steinbruch bei Starkregenereignissen

Im Folgenden werden Bilanzberechnungen zum Abfluss nach Starkregen im Steinbruch Plettenberg auf Grundlage mehrerer Ansätze mit Modellregen und mit tatsächlichen Regenereignissen beschrieben.

6.4.1 Abflussberechnungen nach Breinlinger 2019

Zum Abfluss bei Hochwasser und Starkregenereignissen wurden von Breinlinger Ingenieure im Jahr 2011 hydraulische Berechnungen für das Verfahren zur bestehenden Genehmigung vorgelegt. Im Jahr 2019 wurden diese Berechnungen von Breinlinger Ingenieure für ein neues Gutachten überarbeitet.

Für den hydraulischen Nachweis wurde ein 100-jährliches Regenereignis nach den KOSTRA-Regenreihen (2010) für den Standort Plettenberg zu Grunde gelegt. In der damaligen Genehmigungsplanung zur Einleitung in den Waldhausbach und den darauf basierenden Berechnungen wurde von einer offenen Steinbruchfläche von 40 ha ausgegangen. Bei der hydraulischen Berechnung aus dem Jahr 2019 wurde der Abbaustand des Jahres 2018 zu Grunde gelegt. Rekultivierte Flächen wurden bewusst nicht berücksichtigt und als „Reserven“ angesetzt. Als pauschaler Abflussbeiwert wurde $\Psi = 0,6$ angesetzt.

Tab. 6-3: Randbedingungen der Starkregenabflussbilanz im Steinbruch Plettenberg nach den Berechnungen von Breinlinger 2019

Einzugsgebiet der Becken	A = 40 ha = 400.000 m ²	nach Breinlinger 2019 und eigenen Auswertungen
100-jährliches Regenereignis =	N ₁₀₀ = 110 mm/Tag	s. Breinlinger 2019, KOSTRA-DWD 2010
Abflussbeiwert ψ	$\Psi = 0,6$	n. Breinlinger 2019

Für die Bilanzierung eines 100-jährlichen Regenereignisses im Steinbruch Plettenberg mit einer Regenmenge von 110 mm/Tag (Kostraregen) auf einer Einzugsgebietsfläche von 400.000 m² wurde von Breinlinger 2019 bei einem pauschalen Abflussbeiwert $\Psi = 0,6$ eine abflusswirksame Regenmenge von 26.400 m³ bestimmt. Breinlinger begründet den Ansatz für den Abflussbeiwert mit einer Abschätzung der Durchlässigkeit

im Steinbruch von $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Die inzwischen vorliegenden Durchlässigkeitsuntersuchungen (s. Kap. 5.1) und auch die Abflussmessungen nach Starkregen (s. Kap. 6.4.3) zeigen aber, dass der gewählte Abflussbeiwert zu groß ist.

Da seitdem mehr als 5 Jahre vergangen sind und der Abbaustand sich erweitert hat, ist eine neue Abflussberechnung erforderlich. Außerdem hat sich die Rekultivierungsfläche auf etwa 15 ha im Jahr 2023 deutlich vergrößert, so dass diese in die Berechnungen einbezogen werden muss.

Weiterhin sind die KOSTRA-Regendaten aktualisiert worden. Mit Stand 2020 wurden neuer Regenreihen veröffentlicht. Für den Standort Plettenberg ergeben sich etwas höhere Abflüsse bei dem 100-jährlichen Regenereignis im Vergleich zur 2010 veröffentlichten Regenreihe. Der 100-jährliche Regen erhöht sich von 110 mm/Tag auf 115,6 mm/Tag.

Im folgenden Kapitel wird eine aktuelle hydraulische Berechnung zum Hochwasserabfluss auf Basis des aktuellen Bemessungsregen (KOSTRA 2020) und auf Basis des Abbaustandes und Rekultivierungsstandes 2024 erstellt.

6.4.2 Abflussberechnung gemäß ATV138 bei 100-jährlichem Regen (Modellregen n. KOSTRA-DWD 2020) und Abbau- und Rekultivierungsstand 2024 im Steinbruch Plettenberg

Zur Abflussbilanz und den Auswirkungen eines Starkregenereignisses im Steinbruch wird im Folgenden ein theoretisches 100-jährliches Regenereignis (KOSTRA-Regen) berechnet und bilanziert. Zum Vergleich wird im Kapitel 5.2.3 das Starkregenereignis vom 28.06.2021, zu dem genaue Messdaten zu Abfluss und Wasserstand aus den Becken vorliegen, ebenfalls ausgewertet und bilanziert.

Für die offene Steinbruchfläche wurde ein Abflussbeiwert von $\Psi = 0,3$ angesetzt. Das Gelände ist überwiegend flach, die Durchlässigkeit mit $k_f = 1 - 5 \cdot 10^{-5}$ m/s als „durchlässig“ einzustufen. Erst in Tiefen von > 2 m unterhalb der Steinbruchsohle sind die Durchlässigkeiten mit $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $k_f = 4 \cdot 10^{-6}$ m/s kleiner. Ein Teil der offenen Steinbruchfläche ist durch den Fahrzeugverkehr stärker verdichtet und geringer durchlässig mit Werten von $k_f < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Dort wurde ein Abflussbeiwert von $\Psi = 0,8$ angesetzt. Insgesamt bestehen im Steinbruch 284.000 m² „offene Steinbruchfläche“, davon 50.000 m² im Bereich von Wegen mit verdichteter Oberfläche. Insgesamt ergibt sich eine abflusswirksame Fläche von $70.200 + 40.000 = 110.200$ m². Für die offene

Steinbruchfläche insgesamt ergibt sich daraus ein mittlerer Abflussbeiwert von $\Psi = 0,39$.

Für die Rekultivierungsflächen wurde ein Abflussbeiwert von $\Psi = 0,1$ (Ebene Flächen) und $\Psi = 0,2$ (Böschungen und Vorschüttungen) angesetzt. Bei der auf den Rekultivierungsflächen gemessenen hohen bis sehr hohen Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $k_f = 1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s findet nur ein minimaler Oberflächenabfluss statt, so dass die gewählten Abflussbeiwerte angemessen sind und eher im ungünstigen Bereich liegen.

Für den hydraulischen Nachweis und die **Bilanzierung eines 100-jährlichen Regenereignisses** im Steinbruch Plettenberg gilt:

Genehmigte Abbaufäche Steinbruch Plettenberg:

$$A_{ges} = 550.000 \text{ m}^2$$

Einzugsgebietsfläche der Rückhalte- und Versickerungsbecken im Steinbruch:

$$A_{EZG} = 495.000 \text{ m}^2$$

Eine Fläche von 55.000 m² entwässert nicht in den Steinbruch. Es handelt sich vorwiegend um bewaldete Flächen am Ostrand der Gesteinskulisse Richtung Außenböschung am Plettenberg

Abflusswirksame Fläche gemäß Tab. 6-2:

$$A_w = 150.600 \text{ m}^2$$

Mittlerer Abflussbeiwert gesamter Steinbruch:

$$A_w/A_{EZG} = 150.600/495.000 = \Psi = 0,304$$

Regenmenge (100-jährlich): 115 mm/Tag auf einer Einzugsgebietsfläche von 495.000 m², die als Einzugsgebiet der Rückhalte- und Versickerungsbecken im Steinbruch abzugrenzen ist. Das entspricht einer Regenmenge insgesamt von:

$$R = 495.000 \text{ m}^2 \times 0,115 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 56.925 \text{ m}^3$$

Versickerungsfläche Becken:

$$\text{Fläche der Becken} < 941 \text{ mNN} = 23.100 \text{ m}^2$$

Mittlere Durchlässigkeit:

Im Bereich der Versickerungsfläche (tiefer als 2 m) $k_f = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

Notwendiges Speichervolumen (abflusswirksame und rechnerisch zurückzuhaltende Regenmenge) bei den in Tab. 6-2 aufgeführten Teilflächen und Abflussbeiwerten – Zur Berechnung nach ATV138 s. Abb. 6-3:

$$Q_A = \underline{27.588 \text{ m}^3}$$

Der Rückhalteraum der beiden Becken hat in Abhängigkeit vom Wasserstand folgende Volumina V:

- Mittl. Wasserstand bis 940 mNN: $V = 8.000 + 1.000 = 9.000 \text{ m}^3$
- Mittl. Wasserstand bis 940,5 mNN: $V = 12.500 + 4.500 = 17.000 \text{ m}^3$
- Mittl. Wasserstand bis 941 mNN: $V = 17.000 + 12.000 = 29.000 \text{ m}^3$

Der Abfluss aus dem Becken-Außen über die Drossel-Leitung in den Waldhausbach erfolgt mit maximal $20 \text{ l/s} = 72 \text{ m}^3/\text{h}$. Das ergibt einen Abfluss aus dem Becken-Außen von $1.728 \text{ m}^3/\text{Tag}$. Die abflusswirksame Regenmenge reduziert sich durch die Rohr-Ableitung damit um $1.728 \text{ m}^3/\text{Tag}$.

Damit verbleibt eine rechnerische zurückzuhaltende Regenmenge nach einem 100-jährlichen Ereignis von $Q_{A2} = 27.588 - 1.728 = \underline{25.860 \text{ m}^3}$.

Dem steht als Rückhaltevolumen in den beiden Becken zusammen ein Wert von 29.000 m^3 gegenüber. Das Rückhaltevolumen bis 941 mNN würde demnach zu etwa 89 % gefüllt.

Die bei einem 100-jährlichen Regen von 115 mm/Tag im Steinbruch Plettenberg in den Becken zurückzuhaltende Wassermenge von 25.860 m^3 würde zu einem maximalen Anstieg des Wasserspiegels in den Becken bis etwa 940,85 mNN führen.

Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 138		Seite 2
	A138-XP	Dr. Köhler & Dr. Pommerening Am Katzenbach 2 31177 Harsum Lizenznr.: 301-0402-0505
Dimensionierung von Versickerungsanlagen		Datum 17.4.2023

Projekt	
Bezeichnung:	Plettenberg Steinbruch
Bearbeiter:	Dr. Johannes Pommerening
Bemerkung:	

Eingangsdaten		
angeschlossene undurchlässige Fläche	Au	159800 m ²
maximale Versickerungsfläche	As	23100 m ²
wassergesättigte Bodendurchlässigkeit	kf	0,000002 m/s
Niederschlagsbelastung	Station	Balingen
Zuschlagsfaktor	n	0,01 1/a
	fz	1,2

Bemessung der Versickerungsmulde			
D [min]	rD(n) [l/(s·ha)]	V [m ³]	Erforderliche Größe der Anlage
5	670.0	4403.2	<p><u>notwendiges Speichervolumen</u></p> <p>V = 27587.6 m³ $V = [(A_U + A_s) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(m)} - A_s \cdot \frac{k_f}{2}] \cdot D \cdot 60 \cdot f_z$</p> <p><u>mittlere Einstauhöhe</u></p> <p>z_M = 1.19 m $z_M = V / A_s$</p> <p><u>rechnerische Entleerungszeit</u></p> <p>t_E = 331.74 h $t_E = 2 \cdot z_M / k_f$</p> <p><u>Nachweis der Entleerungszeit für n=1/a</u></p> <p>Nachweis der Entleerungszeit für n=1/a nicht möglich!</p>
10	446.7	5865.9	
15	344.4	6778.1	
20	284.2	7451.9	
30	215.6	8467.7	
45	162.6	9560.8	
60	132.8	10393.1	
90	99.4	11631.1	
120	81.0	12600.5	
180	60.5	14041.4	
240	49.1	15118.9	
360	36.6	16752.5	
540	27.3	18515.3	
720	22.1	19756.7	
1080	16.5	21670.5	
1440	13.4	23015.5	
2880	8.1	25930.2	
4320	6.0	26948.5	
5760	4.9	27587.6	
7200	4.1	26899.3	
8640	3.6	26590.2	
10080	3.2	25712.2	

Abb. 6-3: Auswertung nach ATV A 138 – Versickerungsmulde Regenwasserabfluss

6.4.3 Wasserbilanz bei extremen Niederschlagsereignissen am Beispiel des Starkniederschlagsereignisses vom 28.06.2021 und den folgenden Tagen

Zwischen dem 27.06.2021 und dem 30.06.2021 mit Schwerpunkt am 28.06.2021 kam es auf dem Plettenberg zu einem Starkregenereignis. Dabei fiel in 4 Tagen eine Regenmenge von knapp 100 mm (Station Balingen-Heselwangen 98,6 mm) und allein am 28.06.2021 in Balingen 65,7 mm. Das entspricht dem vierthöchsten Tagesregen der vergangenen 91 Jahre in Balingen. Auch benachbarte Messstellen zeigten ähnlich hohe Niederschläge, sodass auch für den Steinbruch Plettenberg dieses Starkregenereignis in etwa dieser Größenordnung anzusetzen ist. Bezogen auf eine wirksame Einzugsgebiets-Fläche im Steinbruch von etwa 49,5 ha ergibt sich daraus eine Regenmenge von etwa 49.500 m³ (Flächengröße 495.000 m² x Niederschlag 0,100 m).

Vom 28.06.2021 bis 08.07.2021 zeigte der Wasserstand in den beiden Becken als Reaktion auf die hohen Niederschläge auf dem Plettenberg einen deutlichen Anstieg. Die Abb. 6-4 zeigt die Reaktion der Grundwasserstände im Steinbruch auf das Starkregenereignis am 28.06.2021 und den folgenden Tagen. Die Grundwasserstände steigen auf Werte von 940,80-941,20 mNN an. Auch nahe der Außenböschung stellen sich diese hohen Wasserstände kurzzeitig bis maximal 3 Tage ein, die aber bereits nach wenigen Tagen wieder um mehrere Meter absinken (Abb. 6-4).

Die maximalen Wasserstände in den beiden Becken erreichten etwa 940,10 mNN. Im Becken-Außen lag der höchste Wasserstand genau bei 940,14 mNN im Becken-Innen bei 940,12 mNN. Die Wasserstände lagen damit noch um etwa 0,9 m unterhalb der Böschungsoberkante des Becken-Außen (etwa 941 mNN). Eine Überflutung der Umgebung der Becken im Steinbruch trat nicht ein.

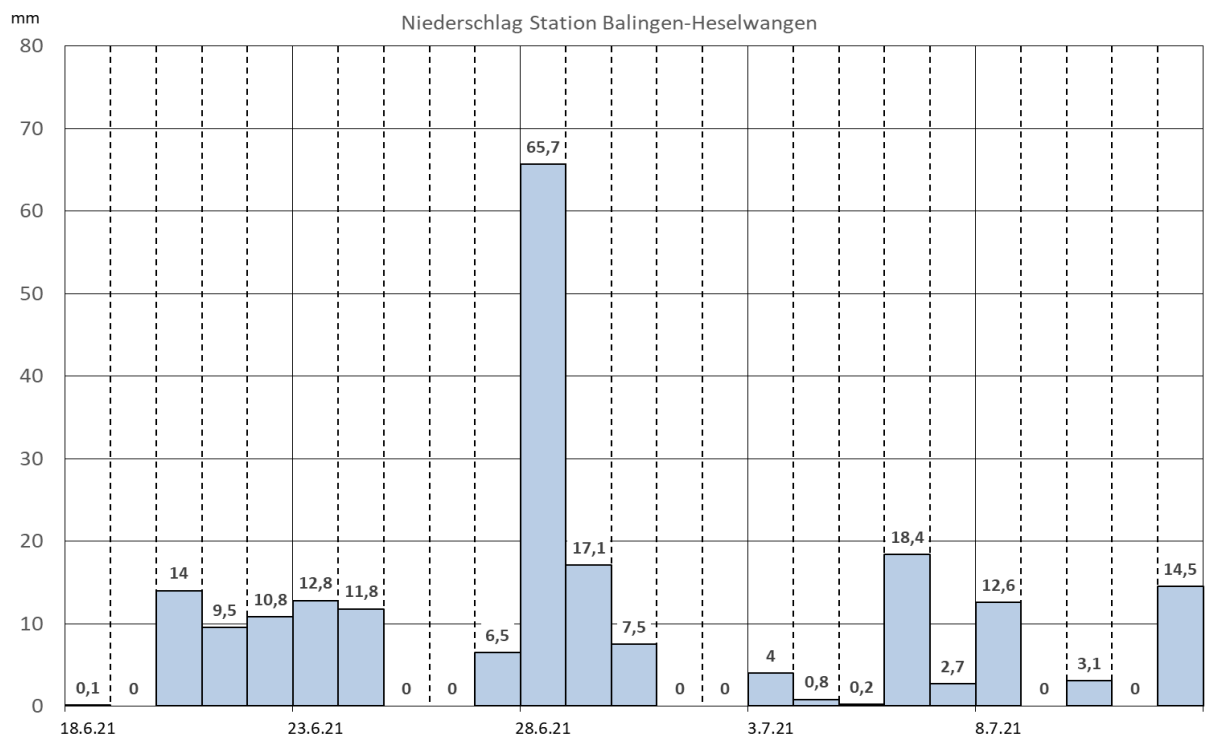
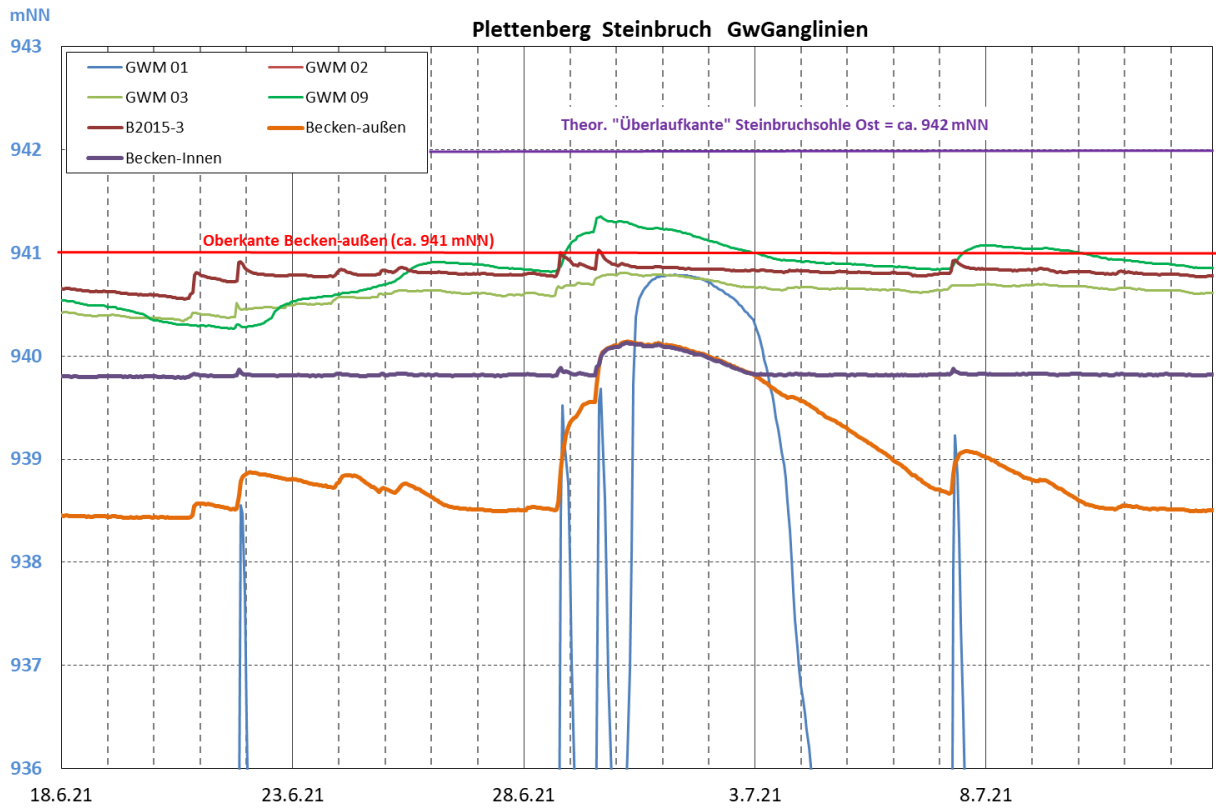


Abb. 6-4: Reaktion von Grundwasserständen und Beckenwasserständen nach Starkregen am 28./29. Juni 2021

Die kontinuierlichen Messungen der Wasserstände in den Becken ermöglichen es, die Abflusswassermenge für dieses Regenereignis zu quantifizieren (s. Abb. 6-4). Im Becken-Außen stieg der Wasserstand ausgehend von 938,50 mNN (Höhe des Überlaufes) sehr schnell innerhalb eines Tages um etwa 1,6 m an und sank nach etwa 2 Tagen auf dem erhöhten Niveau um etwa 0,3 m/Tag wieder ab, was etwa der eingestellten Wasserabgabemenge von 20 l/s über die Rohrleitung zum Waldhausbach entspricht. Wenn man berücksichtigt, dass auch an den ersten Tagen während des Anstiegs des Wasserstands und während der Plateau-Phase bereits eine Abgabe über die Leitung erfolgte und der Zufluss zum Becken zum Teil über mehrere Tage verzögert eintritt, ergibt sich über die 9 Tage bis zum 07.07.2021 bei einem konstanten maximalen Abfluss von 20 l/s (= 1.728 m³/Tag) ein Abfluss über das Rückhaltebecken von etwa 16.000 m³. Der Wasserstand in den Becken war bis zum 07.07.2021 wieder nahezu auf das Ausgangsniveau abgesunken. Die Aufzeichnung der Wasseruhr am Auslauf hat zwischen dem 29.06.2021 und dem 07.07.2021 eine Abflussmenge von 18.044 m³ aufgezeichnet, da die Einstellung des Schiebers an der Drossel einen leicht höheren Abfluss als 20 l/s zulässt.

Damit beträgt für dieses Starkregenereignis der Anteil des gesamten Oberflächenabflusses am Niederschlag ca. 36 % (18.000 m³ / 49.500 m³). Da die beiden Becken im morphologisch tiefsten Teil des Steinbruches liegen, erfassen sie den gesamten Oberflächenabfluss im Steinbruch.

Das bedeutet, dass nach dem 27.06.2021 bis zum 07.07.2021 etwa 64 % des Regenwassers (etwa 31.500 m³) versickert oder verdunstet sind, wobei der Verdunstungsanteil bei diesem kurzen Regenereignis eher vernachlässigbar gering sein dürfte.

6.4.4 Wasserbilanz über einen mehrmonatigen Zeitraum (Juni 2021-März 2022)

Betrachtet man alle Regen-Abflussereignisse im 10-monatigen Zeitraum Juni 2021 bis März 2022, ergibt sich auf der Basis der Station Balingen-Heselwangen eine Niederschlagssumme von $N = 599$ mm. Unter Berücksichtigung der Höhenlage des Plettenbergs wird die Niederschlagssumme der Station Balingen mit dem Faktor 1,23 multipliziert [Köhler&Pommerening 2018], so ergibt sich ein Niederschlag von 737 mm und, bezogen auf die Steinbruchfläche von 49,5 ha, eine Regen-Menge von insgesamt 365.000 m³ in den betrachteten 9 Monaten. Im gleichen Zeitraum erfolgte aus dem

Rückhaltebecken ein durch die Wasseruhr aufgezeichneter Überlauf in den Waldhausbach von insgesamt 78.000 m³. Der Oberflächenabfluss-Anteil im Zeitraum Juni 2021 bis März 2022 beträgt somit $78.000/365.000 =$ etwa 21 % der Niederschlagsmenge. Streng genommen stammt ein Teil des Abflusses über die Rohrleitung aus zugeströmtem Grundwasser. Dessen Anteil ist aber gering und wird hier vernachlässigt. Zudem entstammt der Grundwasserzustrom zu den Becken dem zuvor im Nahbereich im Steinbruch versickerten Regenwasser.

Bezogen auf den 9-monatigen Zeitraum ist auch die Verdunstung in höherem Maße als wirksame Komponente zu betrachten, z. B. auch durch Verdunstung aus den Wasserflächen. Die Verdunstung im Jahresverlauf kann im Steinbruch derzeit mit etwa 35 % des Niederschlages veranschlagt werden [Köhler&Pommerening 2018]. Die Niederschlagsmenge im Steinbruch teilt sich im mehrmonatigen Bilanzzeitraum auf in

- Verdunstung = etwa 35 %
- Oberflächen-Abfluss = etwa 21 %
- Versickerung in das Grundwasser = etwa 44 %.

Die sehr schnell einsetzende Versickerung nach Niederschlägen ist auch an den Ganglinien der Grundwassermessstellen zu erkennen (s. Kap. 5.3). Die Grundwasserganglinien zeigen darüber hinaus ein schnelles Absinken der zuvor erhöhten Grundwasserstände. Das Grundwasser strömt also in Richtung der Plettenberghänge ab, so dass der Poren- und Kluftraum nicht für längere Zeit aufgefüllt und „blockiert“ ist, sondern auch größere Regenmengen bei mehrtägigen Niederschlägen weiter versickern können (s. hierzu die Bilanzierung in Kap. 7).

6.4.5 Wasserbilanz Starkregenereignis am 07.05.2023

Am 07.05.2023 ereignete sich auf dem Plettenberg ein lokales Starkregenereignis, bei dem der Wasserstand in den beiden Becken auf einen Höchststand von 940,90 mNN angestiegen ist. Da die Wetterstation im Steinbruch erst im Juli 2023 aufgebaut worden ist, liegen zu diesem Regenereignis keine direkten Messdaten zur Regenmenge vom Plettenberg vor. An der Station Balingen-Heselwangen war an diesem Tag nur etwa 12 mm Regen gefallen. Auch an den anderen Stationen der Umgebung gab es nicht vergleichbar starken Regen an diesem Tag. Das Regenereignis auf dem Plettenberg war somit lokal eng begrenzt. Dass die Regenintensität aber sehr hoch gewesen sein

muss, zeigten unter anderem die extremen Hochwasserabflüsse an der Eyach, die in Balingen zu Überflutungen und Schäden führten.

Um die lokale Regenmenge auf dem Plettenberg an diesem Tag zu ermitteln, kann man auf Auswertungen von Regen-Radarmessungen der Wetterdienste zurückgreifen. Auf dem Portal des DWD ergab sich nach Regenradarmessungen für den Plettenberg am 07.05.2023 eine Regenmenge von 35,8 mm auf der Kachel, die den südlichen Teil des Steinbruches erfasst und von 46,0 mm auf der Kachel des nördlichen Steinbruchteils (s. Abb. 6-5, www.dwd.de/DE/leistungen/radolan/radolan). Nach den Radarmessungen vom Portal „Kachelmann-Wetter“ war auf dem Plettenberg am 07.05.2023 Nachmittag bis 14:30 Uhr innerhalb eines sehr kurzen Zeitabschnittes von weniger als 1 h eine Regenmenge von etwa 50 mm gefallen. Die Tagesmenge lag bei etwa 60 mm, aber konzentriert auf etwa 1-2 h Regendauer (Abb. 6-6; <https://kachelmannwetter.com/de/radar-standard/zollernalbkreis/20230507-1230z.html> und entsprechende Uhrzeiten und Zeitabschnitte).

Die tatsächlich auf den Steinbruch an diesem Tag gefallene Regenmenge lässt sich auch aus den Wasserstandsreaktionen in den Becken eingrenzen und die Regenmenge im Steinbruch herleiten (s. Abb. 6-7). Aus dem Verlauf des Beckenwasserstandes ergibt sich folgende Bilanz:

Anstieg des Beckenwasserstandes am 07.05.2023 innerhalb weniger Stunden:

- Becken-Außen: von 939,10 mNN auf 940,90 mNN
- Becken-Innen: von 939,80 mNN auf 940,90 mNN

Das entspricht nach der Geometrie der Becken (s. Kap. 3) einem zugeströmten Wasservolumen von:

- Becken-Außen = ca. 13.000 m³
- Becken-Innen und Umgebung = ca. 10.500 m³

Die zusätzliche Wassermenge, die am 07.05.2023 in die Becken gelangte betrug somit insgesamt $V = 23.500 \text{ m}^3$.

Bezogen auf die Fläche des Einzugsgebietes in Steinbruch von 49,5 ha entspricht diese Wassermenge einer Regenmenge von $N = 47,5 \text{ mm}$. Es muss also mindestens 47,5 mm Regen gefallen sein, um den Wasserspiegelanstieg der Becken auf

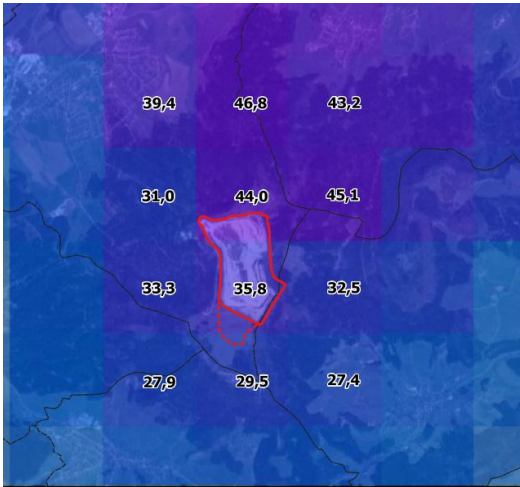
940,9 mNN in wenigen Stunden zu erklären. Wenn man annimmt, dass das Regenwasser nicht vollständig zu 100 % bis in die Becken gelangt ist, betrug die Regenmenge auf das Steinbruchareal am 07.05.2023 sicher mehr als 50 mm.

Demnach erscheint es sehr plausibel, dass das Regenereignis am 07.05.2023 gemäß den Radaraufzeichnungen von „Kachelmannwetter“ bei einer sehr kurzen Dauer von etwa 1 h eine Regenmenge von etwa 50 mm auf den Steinbruch Plettenberg aufgebracht hat.

Hinzu kommt, dass es in den Wochen zuvor ebenfalls relativ viel geregnet hatte, sodass die natürlichen Speicher (Porenraum Rekultivierungsschicht, Kluftraum Festgestein) im Steinbruch bereits teil-gefüllt waren. Durch die große Regenmenge in kurzer Zeit (ca. 1h) war die sonst in Teilen wirksame Versickerung auf den gut durchlässigen Rekultivierungsflächen auch stark eingeschränkt, sodass der Oberflächenabfluss zu den Becken vorherrschte. Fast die gesamte Regenmenge dieses Ereignisses landete so in den Becken, deren Wasserstand auf 940,90 mNN anstieg. Außerdem war der Wasserstand in den Becken vor Beginn des Regens bereits vom normalen Stand bei etwa 938,50 mNN (Überlaufrohr) auf 939,10 mNN in der Folge vorangegangener Regenereignisse angestiegen.

Auffällig ist das relativ langsame Absinken des Wasserstandes in den Becken nach dem Maximal-Stand am 10.05.2023. Am 26.05.2023 war mit 939,80 mNN der Normalwasserstand des Becken-Innern erreicht. Am 03.06.2023 war mit 938,50 der Normalwasserstand in Becken-Außen erreicht. Als Ursache für das relativ langsame Abfließen des Wassers aus den Becken über die Rohrleitung zum Waldhausbach kommen folgende Ursachen in Betracht:

- Zufluss durch weitere, fast tägliche Niederschläge bis zum 17.05.2023.
- Verzögerter Zufluss des zwischengespeicherten Wassers im Porenraum der Rekultivierungsschicht und im Kluftraum der im Steinbruch anstehenden Gesteine sowie aus der direkten Umgebung der Becken.
- Temporär verminderter Ablauf über die Wasserleitung aufgrund des eingestellten Schiebers (bis 12.05.2023 etwa 12-16 l/s statt 20 l/s).



RADOLAN - Niederschlagsdaten 07.05.23

- Plettenberg_Bestand
 - Bestand_Erweiterung
 - bis 1
 - bis 2
 - bis 5
 - bis 10
 - bis 50
 - bis 80
 - > 80
- RADOLAN-Daten
- mm
 - 0

Abb. 6-5: Radarauswertung zur Regenmenge auf dem Plettenberg nach DWD-RADOLAN

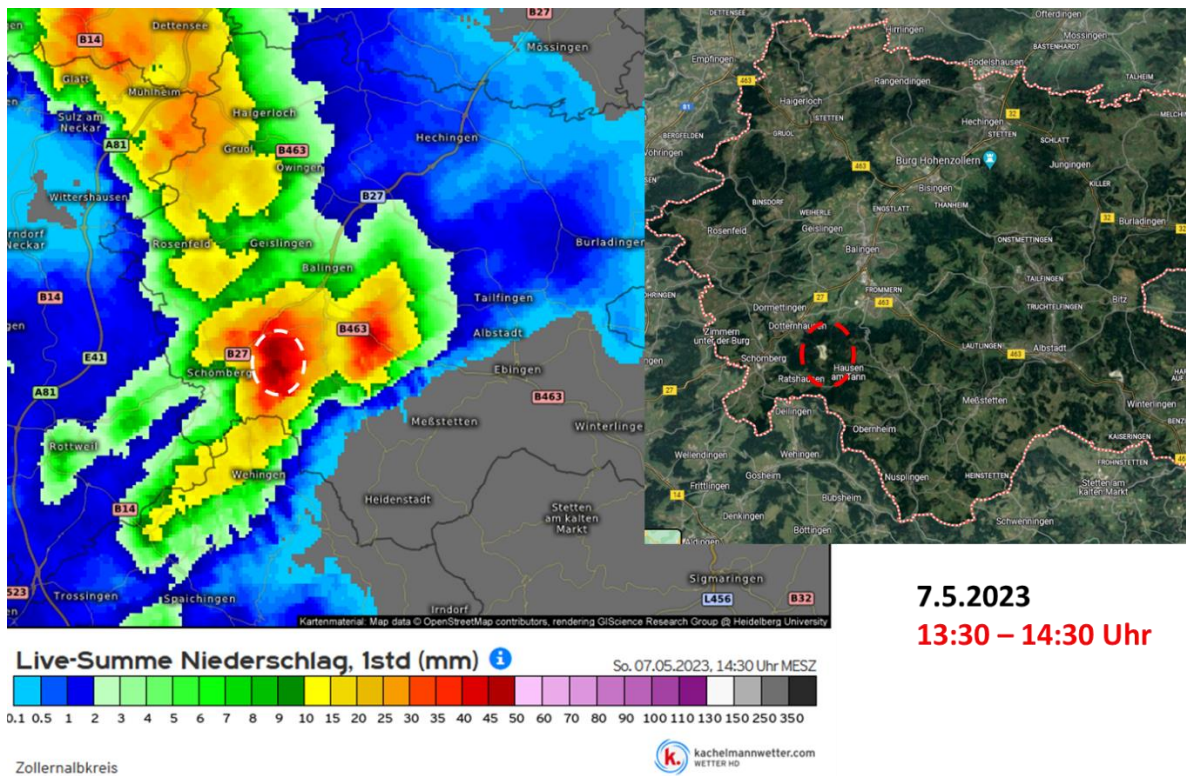


Abb. 6-6: Radarauswertung zur Regenmenge auf dem Plettenberg nach kachelmannwetter.com

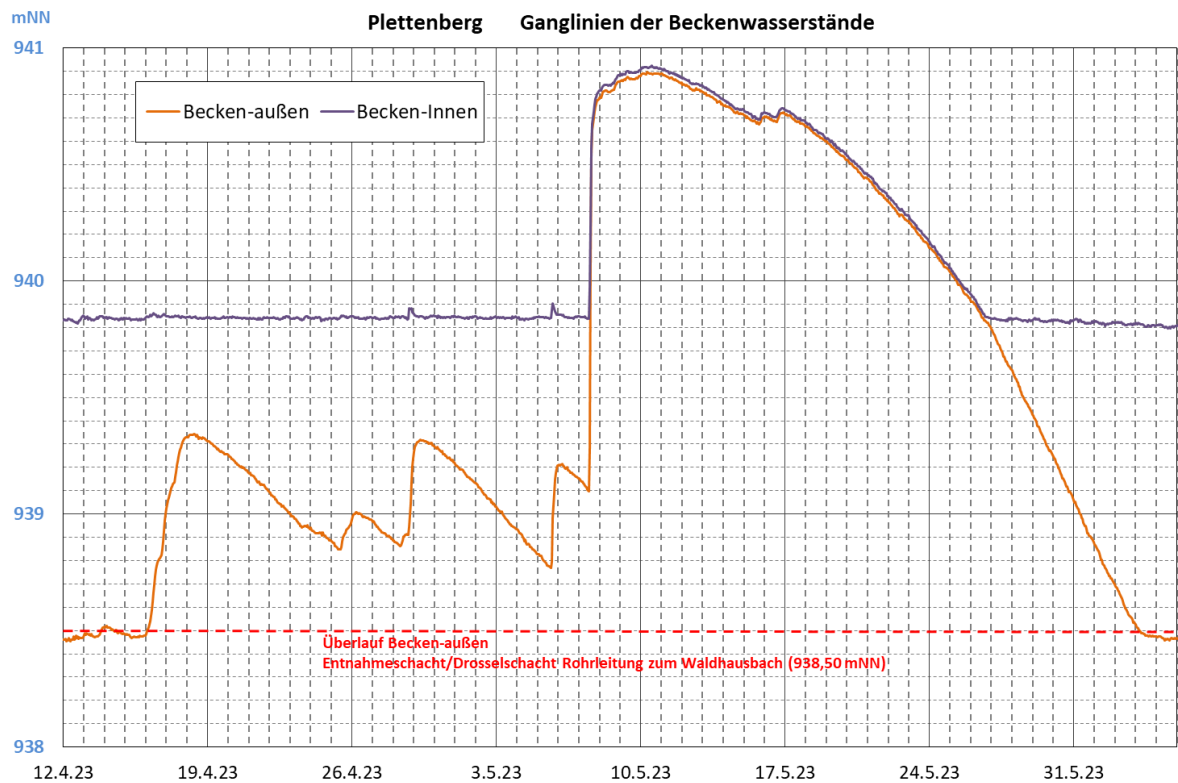


Abb. 6-7: Ganglinien der Beckenwasserstände vom 12.04.2023 bis 04.06.2023

6.5 Allgemeine Abflussbilanz Steinbruch Plettenberg

Zur Beschreibung der Pfade, die das Regenwasser anteilmäßig im Verlauf der Versickerung, der Ableitung, der Verdunstung auf dem Plettenberg nimmt, sind die unterschiedlichen Teilflächen im Steinbruch und auf dem Plettenberg und deren hydrologische Eigenschaften zu berücksichtigen. Das umfasst damit eine Wasserbilanz mit den verschiedenen hydrologisch zu unterscheidenden Flächen im Steinbruch, die in der Tab. 6-4 aufgeführt und beschrieben sind.

Bezogen auf folgende Flächen berechnet sich die Wasserbilanz:

- Fläche Steinbruch genehmigt = 55 ha = 550.000 m², davon:
- Einzugsgebiet Rückhaltebecken = 49,5 ha
- Davon Fläche rekultiviert = ca. 19,9 ha

Grunddaten zur Wasserbilanz mit Jahresdurchschnittswerten Steinbruch Plettenberg [aus Köhler & Pommerening 2018]:

- Mittlerer Niederschlag = 1.040 mm
- Verdunstung offene Steinbruchflächen = 350 mm
- Verdunstung (mit Pflanzenverdunstung) Rekultivierte Flächen = 436 mm
- Abfluss-gesamt offene Steinbruchflächen = 690 mm
 - Abfluss unterirdisch (=Versickerung) offene Steinbruchflächen
 - Abfluss oberirdisch offene Steinbruchflächen
- Abfluss Rekultivierungsflächen = 604 mm

Die Angaben zum Abfluss umfassen in Summe den oberirdischen Abfluss und den unterirdischen Abfluss (Grundwasserneubildung).

Auf der Abb. 6-5 sind für die unterschiedlichen Teilflächen die prozentualen Anteile am Niederschlag von den Bilanzparametern „oberirdischer Abfluss“, „Versickerung und unterirdischer Abfluss“ und „Evapotranspiration“ auf Grundlage des aktuellen Auswertungsstandes, insbesondere auf Basis von hydraulischen Versuchen auf den Flächen, dargestellt.

Tab. 6-4: Teilflächen am Plettenberg und deren Wasserhaushalt

Flächen-Beschreibung	Fläche	Evapotranspiration	Abfluss oberirdisch	Grundwasserabfluss
Offener Steinbruch, z. T. mit Lockergesteinsauflage (Schotter), wenig verdichtet, z. T. mit verdichteter Oberfläche (Fahrfläche)	28,4 ha	35 %	35-50 %	15-30 %
Rekultivierte Flächen im Steinbruch	19,9 ha	45 %	10 %	45 %
Wasserflächen (Rückhalte-Becken) Gebäude	1,2 ha	50 %	50 %	0 %
Flächen im Genehmigungsgebiet, nicht abgebaut, Abfluss nicht zum Steinbruch	5,5 ha	45 %	10 %	45 %
Plettenberg-Hochfläche außerhalb Abbaubereich, überw. mit Wacholderheide	60 ha	45 %	10 %	45 %

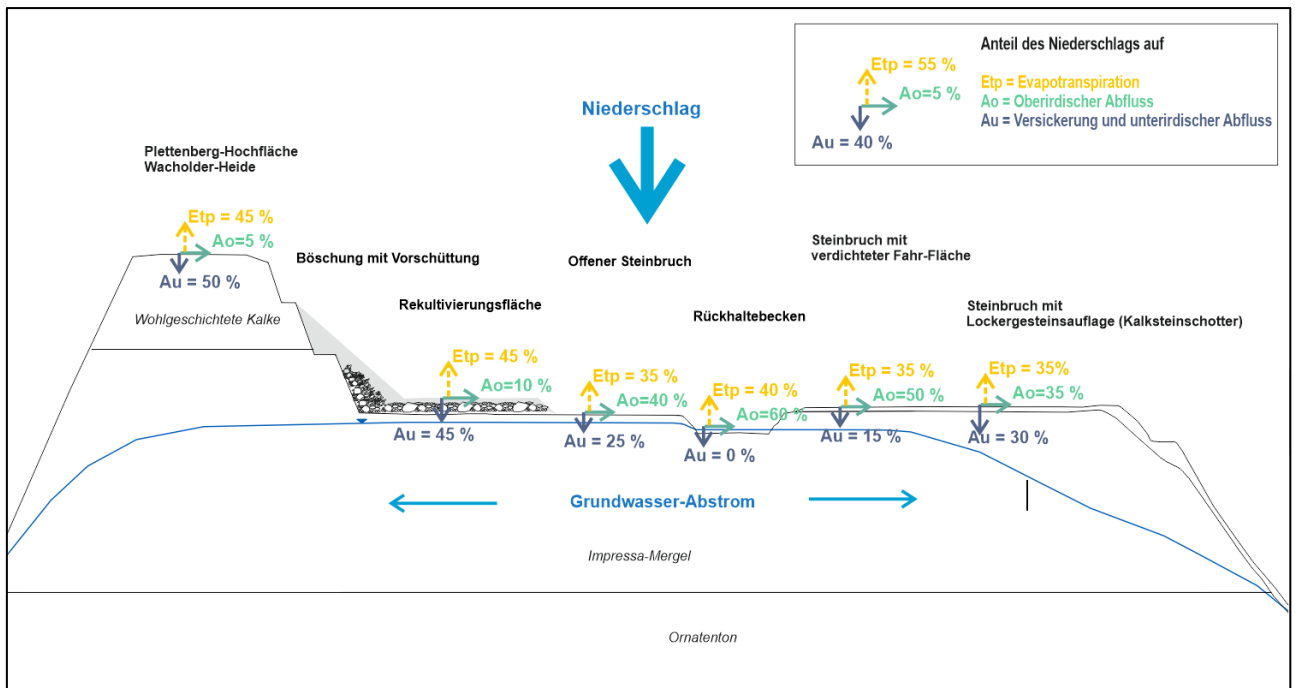


Abb. 6-8: Schema zur Wasserbilanz auf hydrologisch unterschiedlich wirksamen Flächen des Plettenberg

6.6 Grundwasseranteil am Abfluss

Die beiden Rückhalte- und Versickerungsbecken liegen mit ihren Beckensohlen im Bereich des Grundwassers bzw. des Grundwasserschwankungsbereichs. Wie die Messungen zeigen, liegt der Beckenwasserstand zumeist unter dem Grundwasserstand im zentralen Steinbruchbereich (s. Kap. 5.2 und Kap. 5.3). Damit strömt den Becken neben dem Oberflächenwasser nach Regenfällen auch ein gewisser Anteil an Grundwasser zu. Weiterhin zeigen die Becken eine Versickerung in das Grundwasser, im Fall des Becken-Innen temporär während sommerlicher Trockenphasen, im Fall des Becken-Außen permanent.

Die Berechnung zum Grundwasserzustrom zu den Becken (Becken-Außen) erfolgt mit dieser Formel:

$$Q = k_f \cdot I \cdot B \cdot H$$

mit:

Q = Grundwasserzustrom [m³/s]

$k_f = 4 \cdot 10^{-6}$ m/s mittlere Durchlässigkeit Impressamergel, oberflächennah verwittert, geklüftet

$I = 0,025$ hydraulisches Gefälle

$B = 300$ m Zustrombreite

$H = 5$ m Zustromhöhe (Ansatz: 2,5fache Wasserstandsdifferenz Becken zu Grundwasser im zentralen Steinbruchbereich = $940,5 - 938,5$ mNN = $2 \text{ m} \times 2,5 = 5 \text{ m}$)

Daraus errechnet sich ein **Grundwasserzustrom zum Becken-Außen** mit

$Q = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,15 \text{ l/s} = 0,54 \text{ m}^3/\text{h} = 13,0 \text{ m}^3/\text{Tag} = \mathbf{4.730 \text{ m}^3/\text{Jahr}}$

Der mittlere Abfluss aus dem Becken über die Rohrleitung zum Waldhausbach beträgt nach den Aufzeichnungen der Wasseruhr im Zeitraum 01.01.2021 bis 27.01.2023

$Q = 224.204 \text{ m}^3$. Daraus errechnen sich folgende Mittelwerte des Durchflusses:

$MQ_{RL} = 3,3 \text{ l/s} = 11,9 \text{ m}^3/\text{h} = 286 \text{ m}^3/\text{Tag} = 104.069 \text{ m}^3/\text{Jahr}$.

Der Grundwasserzufluss zum Becken beträgt damit etwa 4,5 % des Gesamtabflusses aus den Becken.

Zu berücksichtigen ist auch die direkte Versickerung aus dem Becken-Außen in das Grundwasser. Bei einer Versickerungsmenge von etwa $2 \text{ m}^3/\text{h}$ aus dem gesamten Becken-Außen sind das etwa $17.500 \text{ m}^3/\text{Jahr}$.

6.7 Abfluss vom Plettenberg über den Waldhausbach bis Hausen am Tann

6.7.1 Hydrologische Kennwerte

Der Plettenberg mit dem Steinbruch liegt zum größten Teil im natürlichen Einzugsgebiet des Waldhausbaches. Die Abb. 6-6 zeigt das Einzugsgebiet des Waldhausbaches am Gewässerknoten in Hausen (grüne Markierung). Der Waldhausbach weist in Hausen am Tann folgende Abflusskennwerte auf (LUBW: BW-Abfluss):

- Größe des Einzugsgebietes Waldhausbach in Hausen (s. Abb. 6-6):

$$F_{wb} = 3,45 \text{ km}^2$$

Die genehmigte Fläche des Steinbruchs beträgt: $F_{st} = 0,55 \text{ km}^2$

- 0,35 km³ davon liegen innerhalb des natürlichen Einzugsgebietes Waldhausbach
- 0,15 km² des Steinbruches sind dem EZG Waldhausbach hinzuzurechnen (westl. Steinbruchfläche, blau markiert), da von diesen Flächen der Oberflächenabfluss letztlich dem Waldhausbach zufließt
- Durch den Steinbruch wurde das EZG Waldhausbach in Hausen damit um 4,5 % auf insgesamt 3,6 km² vergrößert

Die Abflusskennwerte des Waldhausbach am Knoten Hausen am Tann lauten (n. BW-Abfluss und bezogen auf das angegebene Einzugsgebiet von $F_{Wb} = 3,45 \text{ km}^2$):

- $MNQ = 2,1 \text{ l/s}$ ($MNq = 0,62 \text{ l/skm}^2$)
- $MQ = 51,2 \text{ l/s}$ ($Mq = 14,88 \text{ l/skm}^2$)
- $MHQ = 3.120 \text{ l/s}$ ($MHq = 907 \text{ l/skm}^2$)
- $HQ10 = 6.268 \text{ l/s}$ ($Hq-10 = 1.822 \text{ l/skm}^2$)
- $HQ100 = 14.214 \text{ l/s} = 51.170 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Hq-100 = 4.132 \text{ l/skm}^2$)

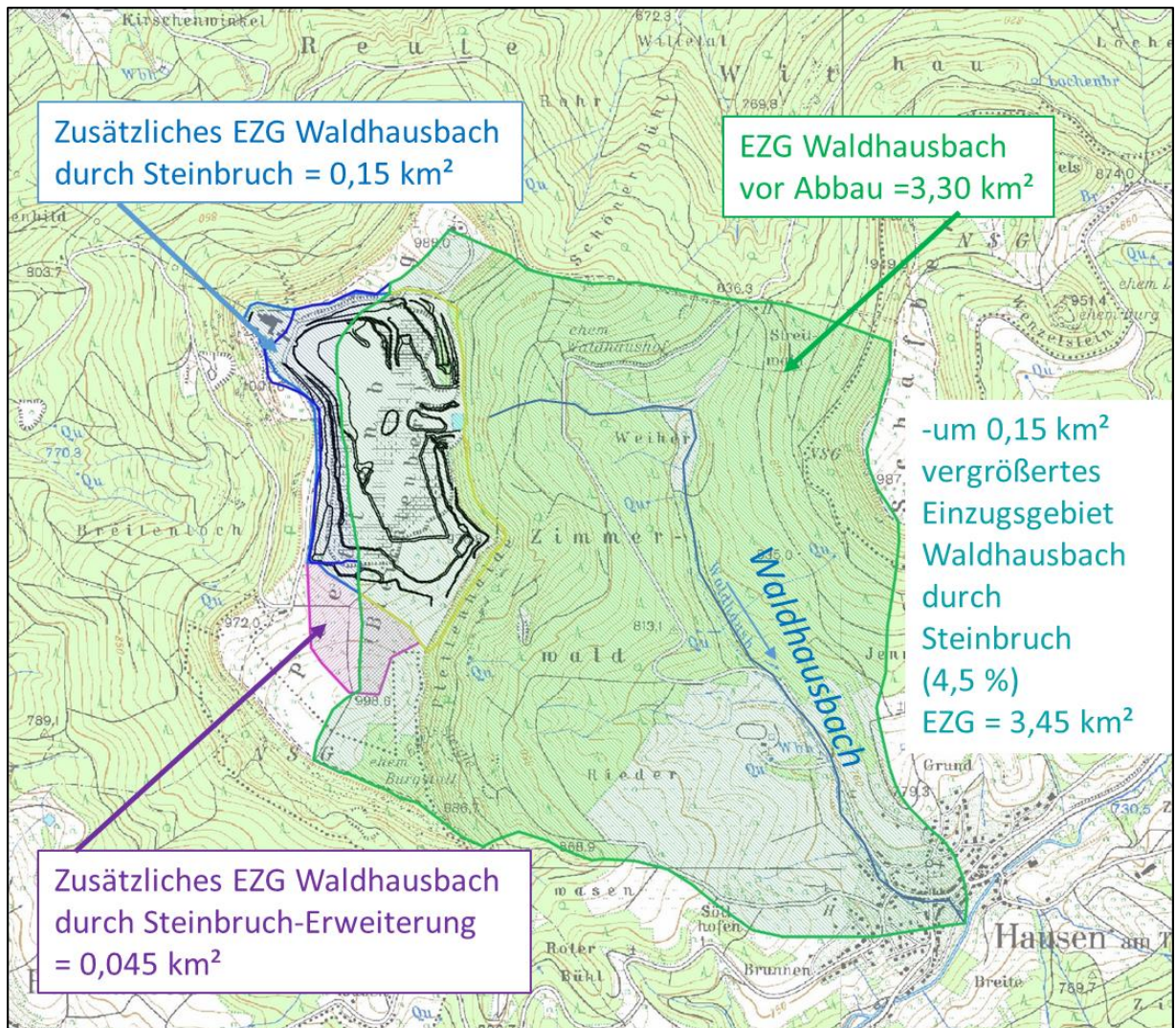


Abb. 6-9: Einzugsgebiet Waldhausbach (Abgrenzung nach BW-Abfluss)

6.7.2 Abfluss vom Plettenberg vor Errichtung des Steinbruches und Veränderungen durch den Steinbruch

Vor Errichtung des Steinbruches auf dem Plettenberg lag ein größerer Teil der Hochfläche im Einzugsgebiet des Waldhausbaches. Das zeigen historische topographische Karten, auf denen die oberirdische Wasserschiede näher an der westlichen Böschungskante in Nord-Süd-Richtung verläuft. Außerdem sind die geologischen Schichten leicht nach Südosten gekippt, so dass auch der unterirdische Abfluss über der als Stauschicht wirksamen Tonstein des Mittleren Jura bevorzugt nach Südosten

in Richtung Waldhausbach erfolgt. Die Einzugsgebietsabgrenzung des Waldhausbaches nach BW-Abfluss folgt im Bereich Plettenberg auch der ehemaligen morphologischen Grenze.

Die natürlichen Abflussverhältnisse vom Plettenberg und der natürliche Wasserhaushalt auf dem Plettenberg vor der Errichtung des Steinbruches sind wie folgt gekennzeichnet. Entsprechend der oberirdischen Einzugsgebietsgrenze auf der Plettenberg-Hochfläche erfolgte der Abfluss nach Regenereignissen zum größten Teil in Richtung Waldhausbach. Die oberirdische Wasserscheide verlief nach den alten topographischen Karten auf der Hochfläche nicht zentral von Nord nach Süd, sondern zum Teil etwas näher an der westlichen Außenböschung. Damit entwässerten von der gesamten Hochfläche, die etwa 102 ha umfasst, etwa 60 ha nach Osten zum Waldhausbach.

Nach Starkregenereignissen erfolgt auf der Plettenberghochfläche im Einzugsgebiet zum Waldhausbach (= ca. 600.000 m²) vermutlich eine weitgehende Versickerung des Regenwassers. Das anstehende Gestein (Wohlgeschichtete Kalke) ist gut durchlässig, stark geklüftet und zum Teil verkarstet. Der Oberflächenabfluss dürfte maximal etwa 10 % betragen (Abflussbeiwert $\psi = 0,1$). Bei den meisten Regenereignissen ist von einer kompletten Versickerung auf der Hochfläche auszugehen. Bei Starkregenereignissen ist aber von einem zumindest begrenzten Oberflächenabfluss auszugehen. Dafür sprechen die vereinzelt auftretenden und lokal auch steilen Eintalungen oder Einkerbungen an der äußeren Böschungskante.

Da unter den geklüfteten und durchlässigen Wohlgeschichteten Kalken mit dem Impressamergel und dem mittleren Jura zur Tiefe hin stauende Tonschichten dominieren, wird das versickerte Regenwasser auch bei den ursprünglichen Verhältnissen auf dem Plettenberg mit dem Grundwasserabstrom in Richtung der zahlreichen Quellen am Fuß der steilen Böschungen und im Bereich der Rutschkörper strömen. Die Quellen bei etwa 880 bis 910 mNN springen nach Starkregen sehr schnell an und ihre Schüttung steigt sehr stark an (zum Teil bis > Faktor 50 gegenüber dem Niedrigwasserabfluss).

Eine Gegenüberstellung der Kenndaten im Zuge des Hochwasserabflusses im ursprünglichen Zustand des Plettenbergs (ohne Steinbruch) mit der heutigen Situation des Steinbruches inklusive der Rückhaltebecken ergibt folgende Veränderungen oder Unterschiede (Tab. 6-5):

Tab. 6-5: Kenndaten des Hochwasserabflusses vom Plettenberg im Einzugsgebiet Waldhausbach vor Errichtung Steinbruch und heutiger Zustand

	Plettenberg Einzugsgebiet Waldhausbach	
	Früher - ohne Steinbruch	Heute - mit Steinbruch
Hochfläche Plettenberg – insgesamt	105 ha	105 ha
Davon Entwässerungs- fläche zum Einzugsge- biet Waldhausbach	60 ha	Summe = 75 ha, mit: 49,5 ha genehmigte Steinbruchfläche mit Ab- fluss zu den Becken 5,5 ha Genehmigte Steinbruchfläche mit Ab- fluss natürlich 4 ha Plettenberghochfläche nördlich 16 ha Plettenberghochfläche südlich
Abflussbeiwert Ψ	0,0 – 0,2	Offener Steinbruch: 0,3 (0,8) Rekultivierungsfläche: 0,0-0,2 Steinbruch im Mittel: 0,3 Hochfläche außerhalb Steinbruch: 0,0-0,2
Abfluss	Ohne zeitliche Verzögerung	Abfluss aus Steinbruch über Drossel und Ableitung (max. 20 l/s) MQ = ca. 110.000 m ³ /a auf 49,5 ha
Abflusswirksame Flä- che [Fläche * Ψ]	60*0,1 = 6 ha	49,5 * 0,3 = 15 ha (5,5 ha + 4 ha +16 ha) * 0,1 = 2,6 ha Insgesamt = 17,6 ha

Gegenüber den ursprünglichen hydrologischen Verhältnissen auf dem Plettenberg im Einzugsgebiet des Waldhausbaches hat sich durch den Steinbruch die abflusswirk-
samen Fläche rechnerisch von 6 ha auf 17,6 ha um 11,6 ha vergrößert. Bezogen auf
die Einzugsgebietsgröße des Waldhausbach bei Hausen von 3,44 km² (= 344 ha)

Die Vergrößerung des Einzugsgebietes wird dadurch kompensiert, dass aus dem Steinbruch der Oberflächenabfluss Richtung Waldhausbach nur über die gedrosselte Rohleitung erfolgt. Der maximale Abfluss beträgt dann 20 l/s. Das ist vernachlässigbar gegenüber z. B. dem HQ100 von 14.214 l/s im Waldhausbach in Hausen. Sehr wahrscheinlich ist der Beitrag des Steinbruches zum Abfluss des Waldhausbaches bei einem Starkregen wie dem HQ100 geringer als der Abflussbeitrag der früher bestehenden Plettenberg-Hochfläche. Im Steinbruch besteht ein zusätzlicher Rückhalteraum, der die zusätzlichen Abflüsse aufgrund des größeren Einzugsgebietes und der höheren Abflussbeiwerte im offenen Steinbruch kompensiert. Außerdem fallen durch den Gesteinsabbau Teile der steilen Böschung am östlichen Plettenberg weg, die aufgrund der Morphologie im natürlichen Zustand einen höheren Abflussbeiwert haben. Gegenüber dem natürlichen Abflusszustand im Einzugsgebiet Waldhausbach bis Hausen entsteht durch den Steinbruch daher keine Verschlechterung der Abflussverhältnisse bei Starkregen und Hochwasserereignissen.

Nach der Rekultivierung fällt das Rückhaltebecken und die Drossel weg. Dafür bewirkt die Rekultivierungsfläche eine vergleichbare Retentionswirkung wie der ursprüngliche Plettenberg. Es entstehen im Steinbruch zwar rekultivierte Böschungen mit Vorschüttungen. Diese ersetzen aber weitgehend die natürlichen steilen Böschungen am Osthang zwischen etwa 945 mNN (Steinbruchsohle) und 1.000 mNN. Es ist im rekultivierten Steinbruch ein Abflussbeiwert zwischen 0,0 und 0,2, im Mittel etwa $\psi = 0,1$ anzusetzen, der gegenüber der Plettenberghochfläche zuvor keine Verschlechterung aufweist. Das zeigen u. a. die Durchlässigkeitsversuche. Es bleibt nur die Flächenvergrößerung des Einzugsgebietes zum Waldhausbach von etwa 15 ha. Wenn die Rekultivierungsoberfläche nach Ende der Rekultivierung eine ebene bis leicht konkave Form aufweist, so verbleibt im Unterschied zur konvex geformten früheren Plettenberghochfläche dort ein zusätzlich zum Poren-/Kluftvolumen wirksamer Speicher und Rückhalteraum, der grundsätzlich einen Oberflächenabfluss von der rekultivierten Steinbruchfläche zum Waldhausbach verhindert, auch bei einem Starkregenereignis, wie z. B. dem 100-jährlichen Hochwasserabfluss.

Damit verbleibt im Endzustand eine um 4,5 % vergrößerte Einzugsgebietsfläche des Waldhausbaches in Hausen, die aber nicht unmittelbar abflusswirksam ist. Es entsteht somit auch nach Ende des Abbaus und der Rekultivierung dauerhaft keine Verschlechterung durch den rekultivierten Steinbruch gegenüber dem ursprünglichen hydrologischen Zustand am Plettenberg bei Starkregen und Hochwasserabflüssen.

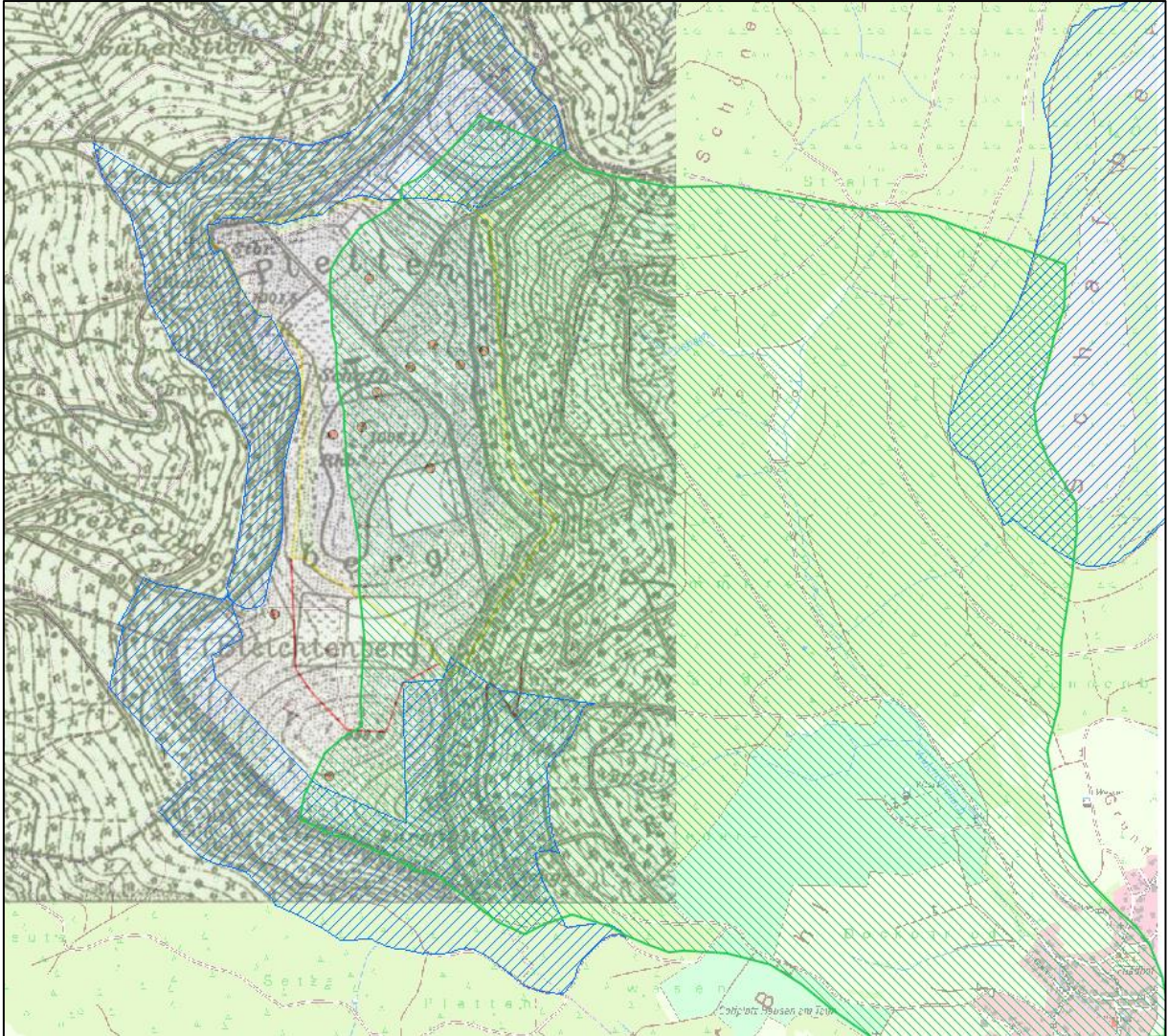


Abb. 6-10: Einzugsgebiet des Waldhausbaches mit historischer topographischer Karte

7 Abflussmodell Szenario Starkniederschlag – iterativ

7.1 Hydrogeologischer Bau

Der für die Abflüsse nach Starkregenereignissen wirksame Bilanzraum des Steinbruches Plettenberg ist in Abb. 7-1 in einem schematischen Profilschnitt mit den wirksamen Randbedingungen dargestellt. Folgende Teilflächen innerhalb des Steinbruches sind für die Abfluss-Szenarien zu unterscheiden:

- Offene Steinbruch-Fläche
 - Untere Sohle, unverdichtet, z. T. Kalksteinschotterauflage
 - Untere Sohle, verdichtet (Fahrwege)
 - Obere Sohlen unverdichtet, z. T. Kalksteinschotterauflage
 - Obere Sohlen, verdichtet (Fahrwege)
- Rekultivierungsflächen, Ebene
- Rekultivierungsflächen, Böschungen
- Wasserflächen
- Gebäudeflächen

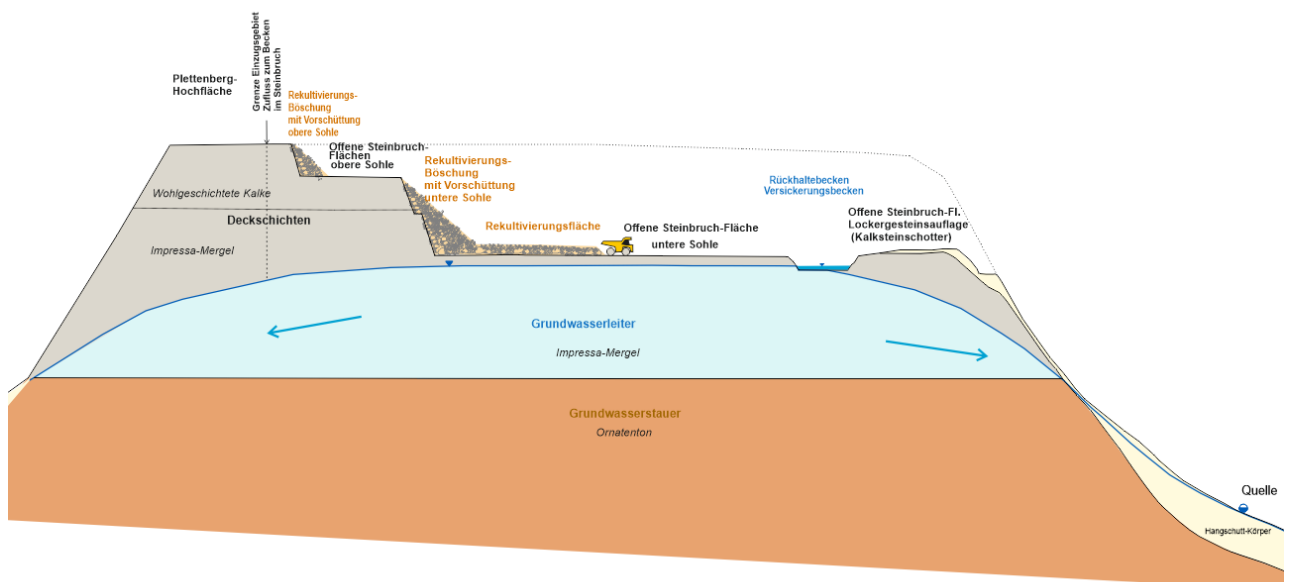


Abb. 7-1: Hydrogeologischer Bilanzraum Steinbruch Plettenberg

Im Folgenden werden für den Steinbruch auf dem Plettenberg „die Wege des Wassers“ nach Starkniederschlägen bezüglich

- Versickerung,
- Zwischen-Speicherung und
- oberirdischer sowie unterirdischer Abfluss

modellhaft, zunächst für die einzelnen Wirkkomponenten getrennt (Kap. 7.2, Kap. 7.3, Kap. 7.4), dann in Kap. 7.5 in iterativer Näherung für unterschiedliche Szenarien als Gesamtbilanz betrachtet.

7.2 Versickerungsleistung Steinbruchsohle

Zur Frage: Wieviel Wasser kann in den Boden unter dem Steinbruch versickern (Versickerungsrate/Zeit) – Versickerungsfähigkeit des Untergrundes

Die Durchlässigkeiten der anstehenden Schichten und der Rekultivierungsschicht bestimmen die Wassermenge, die versickert werden kann (s. Kap. 5.1).

Berechnung der Versickerungsrate: $Q = k_f \cdot I \cdot F$ [m³/s]

Mit:

$F = 495.000 \text{ m}^2$ (gesamt) oder Teilflächen gemäß Tab. 7-1

$I = 0,5$ (Versickerung)

$k_f =$ unterschiedlich (s. Tab. 7-1)

Daraus ergeben sich die in Tab. 7-1 aufgelisteten theoretischen Versickerungswassermenge, angegeben im m³/Tag. Die tatsächliche Versickerungswassermenge ist abhängig vom vorhandenen Porenvolumen oder Kluftvolumen als Speicherraum (s. Kap. 7.3).

Tab. 7-1: Theoretische Versickerungsmenge der Teilflächen im Steinbruch

Bereich im Steinbruch	Fläche	Durchlässigkeit Mittlere	Versickerungsmenge	Bemerkung
	[m ²]	kf [m/s]	[m ³ /Tag]	
Offene Steinbruchflächen, oberflächennah aufgelockert (bis ca. 2 m Tiefe)	230.000	$2 \cdot 10^{-5}$	198.720	Impressamergel, Wohlgeschichtete Kalke, oberflächennah aufgelockert, Schotterauflage
Offene Steinbruchflächen, unterhalb Rekultivierungs-Flächen (bis ca. 2 m Tiefe)	199.000	$2 \cdot 10^{-5}$	171.936	Impressamergel, Wohlgeschichtete Kalke, oberflächennah aufgelockert, <u>unter</u> Rekultiv.-Sch.
Offene Steinbruchfläche, verdichtet (Wege)	50.000	$1 \cdot 10^{-6}$	2.160	Impressamergel, Schotterauflage verdichtet
Festgestein, tiefer, unverwittert, (> 2 m u. GOK)	187.000	$2 \cdot 10^{-6}$	16.157	Impressamergel, Wohlgeschichtete Kalke, außerhalb der unteren Abbausohle
Rekultivierungsflächen	199.000	$4 \cdot 10^{-4}$	3.438.720	

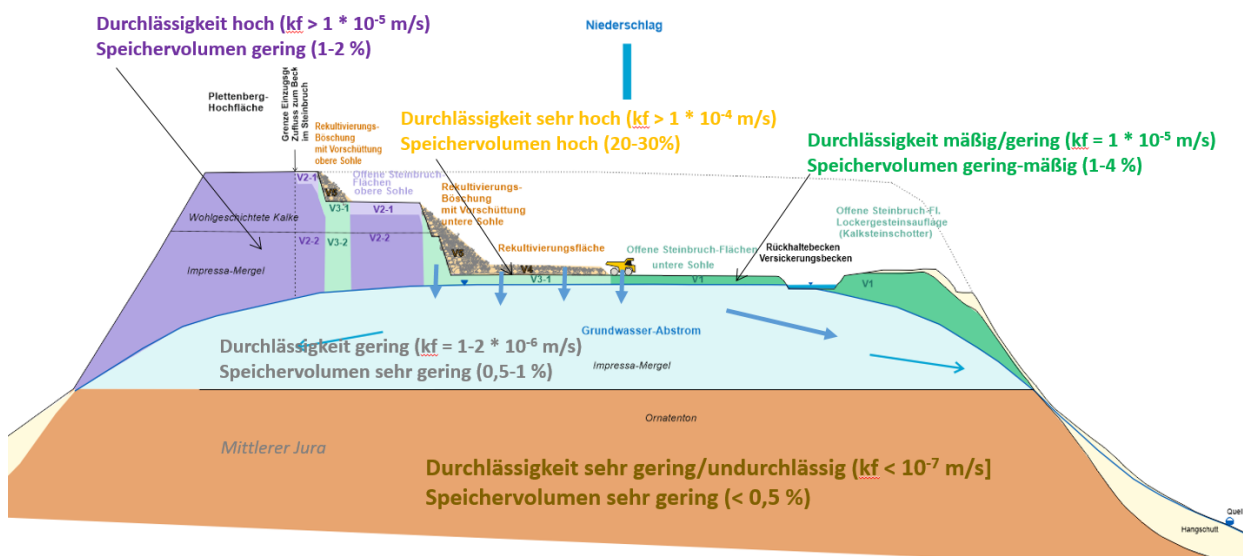


Abb. 7-2: Durchlässigkeit und Speichervolumen im Steinbruch

7.3 Rückhaltevermögen und Speichervolumen

7.3.1 Steinbruch im Rekultivierungszustand 2024

Zur Frage, wieviel versickerndes Wasser kann im Boden unter dem Steinbruch oder in der Rekultivierungsaufgabe (zwischen-)gespeichert werden (Wassermenge), werden die natürlichen Randbedingungen beschrieben und eingestuft. Im Folgenden wird der Speicherraum im Steinbruch, einerseits über der Geländeoberkante und andererseits im Kluft- und Porenraum des anstehendes Festgesteins und des aufgebracht Lockergesteins auf dem Steinbruchareal beschrieben und quantifiziert.

Das Hohlraumvolumen im Gestein kann das Wasser, das während und nach dem Regenereignis versickert, aufnehmen und zwischenspeichern. Die natürlichen Hohlräume unter der Steinbruch-Sohle und oberhalb vom Grundwasser sowie die geschaffenen Hohlräume in der Rekultivierungsschicht dienen als Speicherraum für das Regenwasser. Beim Festgestein (Impressamergel und Wohlgeschichtete Kalke) sind hierfür Klüfte und Trennflächen wirksam, beim Lockergestein, insbesondere der Rekultivierungsschicht, ist der Porenraum maßgebend. Die im Folgenden unterschiedenen Teilflächen sind in Tab. 7-2 aufgelistet und beschrieben sowie auf der Abb. 7-2 und Abb. 7-3 in einem schematischen Profilschnitt illustriert. Die Werte für das effektive Kluftvolumen oder Porenvolumen sind in Kap. 5.1 erläutert.

Tab. 7-2: Nutzbares Porenvolumen (Speichervolumen) im Steinbruch

Abk.	Bereich im Steinbruch	Fläche	Mächtigkeit	Mächtigkeit,	Effektives Porenvolumen/Kluftvolumen	Speichervolumen gesamt	Bemerkung
			von-bis	Im Mittel			
		[m ²]	[m]	[m]	[-]	[m ³]	
V1	Offene Steinbruchflächen, untere Sohle (bis ca. 2 m Tiefe)	86.000	1 bis 2	1,5	2 %	2.580	Impressamer-gel, oberflächen-nah, druckent-lastet
V2-1	Offene Steinbruchflächen, höhere Sohlen, (bis ca. 2 m Tiefe)	148.000	2	2	2 %	5.920	
V2-2	Offene Steinbruchflächen, höhere Sohlen, tiefere Bereiche (> 2 m Tiefe)	148.000	20 bis 50	27	1,5 %	59.940	
VX	Offene Steinbruchfläche, verdichtet (Wege)	50.000	0,1 bis 0,4	0,2	< 1 %	0	Kein relevantes Speichervolumen
V3-1	Ehemals offene Steinbruch-Flächen unter Re-kultivierungsflä-chen , (bis ca. 2 m Tiefe)	199.000	2	2	2 %	7.960	
V3-2	Ehemals offene Steinbruch-Flä-chen unter Re-kultivierungsflä-chen, tiefere Be-reiche (2-50 m)	39.000	20 bis 50	27	1,5 %	15.795	
V4	Rekultivierungs-flächen, Ebene	114.000	1 bis 2,2 m	1,8	25 %	51.300	
V5-1	Rekultivierungs-flächen, Bö-schungen hoch 940-960 mNN	30.000	20 bis 40	30	25 %	112.500	Böschungswin-kel 45° ange-nommen
V5-2	Rekultivierungs-flächen, Bö-schungen klein	55.000	2 bis 8	5	25 %	34.375	Böschungswin-kel 45° ange-nommen
	Gesamt					290.370	

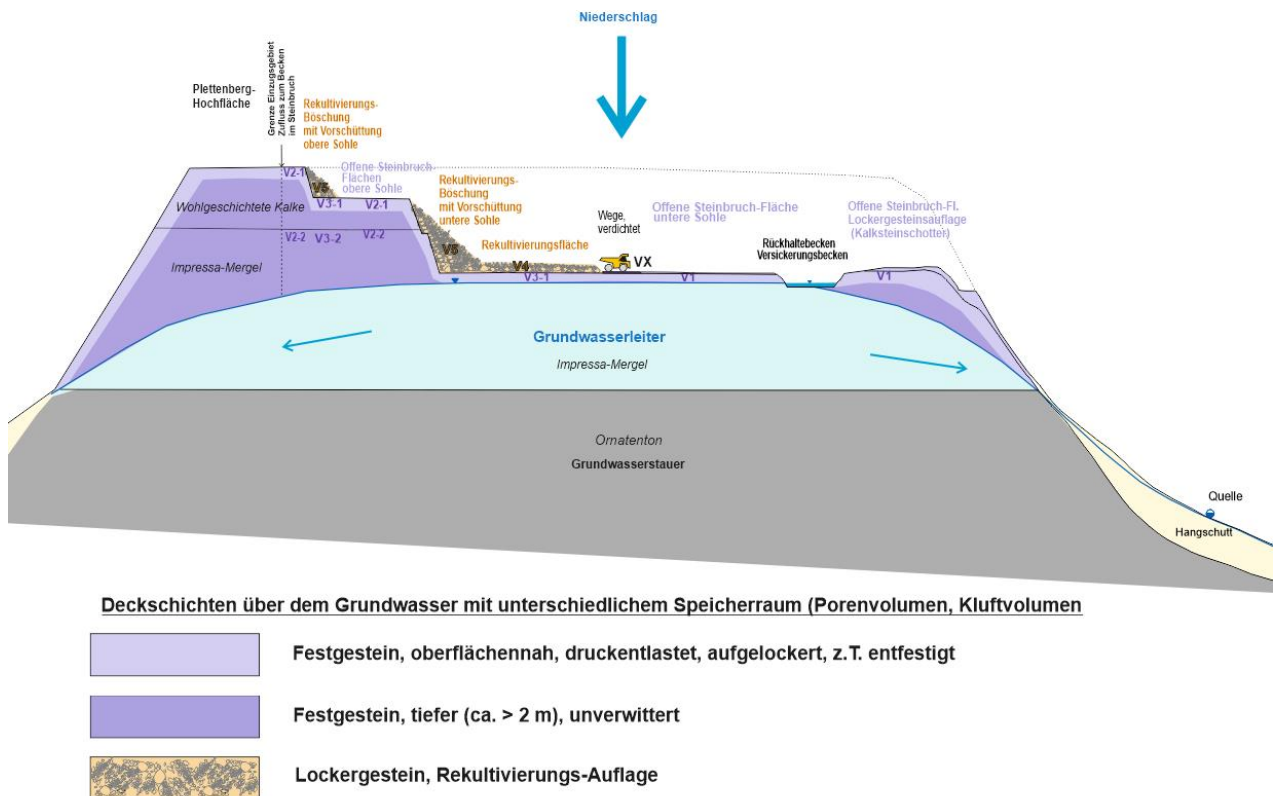


Abb. 7-3: Teilflächen im Steinbruch mit unterschiedlichen Speicherräumen (Abk. Tab. 7-2)

Im Einzelnen berechnet sich das Speichervolumen wie folgt (s. Tab. 7-2, Abb. 7-2, Abb. 7-3).

V1: Offene Steinbruchfläche untere Sohle, oberflächennah aufgelockert (ca. 8,6 ha):

Oberflächennaher, aufgelockelter Bereich, bis etwa 2 m Tiefe oberhalb Grundwasser:
 Speichernutzbare Porenvolumen $n_{sp} = \text{ca. } 2\%$ (1 % bis 4 %)

→ Hohlraumvolumen je $\text{m}^3 = 0,02 \text{ m}^3$

→ Tiefe über Grundwasser = 1-2 m (im Mittel 1,5 m)

→ Volumen 8,6 ha x 1,5 m Tiefe (Vol. = 0,172 Mio m^3) → $n_{sp} = \text{ca. } 2\%$

→ Speichervolumen **V1 = 2.580 m^3**

V2: Offene Steinbruchfläche höhere Sohlen (ca. 14,8 ha)

V2-1: Oberflächennaher, aufgelockerter Bereich 2 m Tiefe:

$n_{sp} = \text{ca. } 2 \% (1 \% \text{ bis } 4 \%)$

→ Hohlraumvolumen je $\text{m}^3 = 0,02 \text{ m}^3$

→ Volumen $14,8 \text{ ha} \times 2 \text{ m Tiefe (Vol. = 0,296 Mio. m}^3) \rightarrow n_{sp} = 2 \%$

→ Speichervolumen **V2-1 = 5.920 m³**

V2-2: Tieferer Bereich (> tiefer als 2 m)

→ Mächtigkeit = 20-50 m (im Mittel 27 m)

→ $n_{sp} = \text{ca. } 1,5 \% \rightarrow \text{Hohlraumvolumen je } \text{m}^3 = 0,015 \text{ m}^3$

→ Volumen $14,8 \text{ ha} \times 27 \text{ m Tiefe (Vol. = 4,0 Mio. m}^3) \rightarrow n_{sp} = 1,5 \%$

→ Speichervolumen **V2-2 = 59.940 m³**

V3: Ehemals offene Steinbruch-Flächen unter Rekultivierungsflächen

Oberflächennaher, aufgelockerter Bereich 2 m Tiefe: $n_{sp} = \text{ca. } 2 \% \rightarrow \text{Hohlraumvolumen je } \text{m}^3 = 0,02 \text{ m}^3$

2-50 m Tiefe (im Mittel 27 m Tiefe): $n_{sp} = \text{ca. } 1,5 \% \rightarrow \text{Hohlraumvolumen je } \text{m}^3 = 0,015 \text{ m}^3$

V3-1: Untere Sohle = $19,9 \text{ ha} * 2 \text{ m Tiefe (Vol. = 0,398 Mio. m}^3) \rightarrow n_{sp} = 2 \%$

→ Speichervolumen **V3-1 = 7.960 m³**

V3-2: Obere Sohlen = $3,9 \text{ ha} \times 27 \text{ m Tiefe (Vol. = 1,053 Mio. m}^3) \rightarrow n_{sp} = 1,5 \%$

→ Speichervolumen **V3-2 = 15.795 m³**

V4: Rekultivierungsschicht Fläche (Sohle) 11,4 ha:

n_{sp} = im Mittel 25 % → Hohlraumvolumen je $m^3 = 0,25 m^3$

→ Volumen Sohle 11,4 ha * 1,8 m Tiefe (Vol. = 0,205 Mio. m^3) → 25 %

→ Speichervolumen **V4 = 51.300 m^3**

V5: Rekultivierungsschicht (Böschungen von 45°) 8,3 ha:

n_{sp} = im Mittel 25 % → Hohlraumvolumen je $m^3 = 0,25 m^3$

V5-1: Hohe Böschungen 945-980 mNN → mittlere Höhe = 30 m → Fläche = 30.000 m^2

→ Volumen hohe Böschungen 3,0 ha * 30 m * 0,5 (Vol. = 0,45 Mio. m^3)

→ Speichervolumen **V5-1 = 112.500 m^3**

V5-2: Kleine Böschungen, Höhe ca. 5 m im Mittel → Fläche = 5,5 ha = 55.000 m^2

→ Volumen kleine Böschungen 5,5 ha * 5 m * 0,5 (Vol. = 0,1375 Mio. m^3)

→ Speichervolumen **V5-2 = 34.375 m^3**

Auf der Gesamtfläche im Steinbruch Plettenberg von 49,5 ha ergibt sich so ein

Gesamt-Speicherraum für versickerndes Wasser im Untergrund (Stand 2024):

$$V-Sp = V1 + V2-1 + V2-2 + V3-1 + V3-2 + V4 + V5-1 + V5-2$$

$$V-Sp = 290.370 m^3$$

Dieser Gesamt-Speicherraum gliedert sich in

- das Kluftvolumen der anstehenden Festgesteine und
- das Porenvolumen der Lockergesteinsbedeckung der Rekultivierungsschicht.

Im Speicher des **anstehenden Gesteins** (Kluftraum von Impressamergel und Wohlgeschichtete Kalke) stehen zur Verfügung:

$$\mathbf{V\text{-Gestein} = V1 + V2\text{-}1 + V2\text{-}2 + V3\text{-}1 + V3\text{-}2 = \mathbf{92.195\ m^3}}$$

Davon liegen **16.460 m³** im gut durchlässigen Gesteinsspeicher der oberen aufgelockerten 2 m, die schnell aufgefüllt werden können (innerhalb von 1 Tag).

Das übrige Kluftvolumen von **75.735 m³** liegt in den tieferen Kluft-Hohlräumen, tiefer als 2 m, wo die Durchlässigkeit geringer ist und ein schnelles Auffüllen bremst. Der komplette tiefer gelegene Kluftraum ist vermutlich erst nach mehreren Tagen aufgefüllt.

Das Speichervolumen im Gestein teilt sich auf in

$\mathbf{V_{Gest\text{-}ges} = 92.195\ m^3}$, mit

$$\mathbf{V_{Gest\text{-}aufgel} = 16.460\ m^3} \text{ (} V1 + V2\text{-}1 + V3\text{-}1 \text{) und}$$

$$\mathbf{V_{Gest\text{-}tief} = 75.735\ m^3} \text{ (} V2\text{-}2 + V3\text{-}2 \text{)}$$

Im Speicher der **Rekultivierungsschicht** (Porenraum) stehen zur Verfügung:

$$\mathbf{V\text{-}Reku\text{-}ges = V4 + V5\text{-}1 + V5\text{-}2 = \mathbf{198.175\ m^3}}$$

Der gesamte Speicher in der Rekultivierungsschicht kann aufgrund der sehr hohen Durchlässigkeit sehr schnell aufgefüllt werden (< 1 Tag). Aufgrund der hohen Durchlässigkeit der Rekultivierungsschicht ist auch der Kluftraum der darunter anstehenden Impressamergel oder Wohlgeschichteten Kalk verfügbar.

7.3.2 Früheres, natürliches Speichervolumen auf dem Plettenberg

Das natürliche Speichervolumen von Impressamergel und Wohlgeschichtete Kalke, das auf dem Gelände des heutigen Steinbruches (Fläche, die zu den Becken entwässert - 49,5 ha) ist wie folgt zu kalkulieren (s. Abb. 7-4):

Mittlere Gesteinsschicht-Mächtigkeit über dem Grundwasser (Mittlere Geländehöhe – mittlerer Grundwasseroberfläche):

$$H_{GOK} = 1.000\ mNN - 980\ mNN \rightarrow \text{im Mittel } 990\ mNN$$

$$H_{Gw} = \rightarrow \text{im Mittel ca. } 945\ mNN$$

Mittleres Kluftvolumen der Gesteine:

$$n_{K1} = 0,02 = 2 \% \text{ (0- 2 m Tiefe)}$$

$$n_{K2} = 0,015 = 1,5 \% \text{ (2-45 m Tiefe)}$$

Ehemaliges Speichervolumen auf unverritzter Steinbruchfläche

$$V_{Sp-n} = 495.000 \times 43 \times 0,015 + 495.000 \times 2 \times 0,02 = \mathbf{339.075 \text{ m}^3}$$

Nach dieser Berechnung steht heute im Steinbruch mit 290.375 m^3 ein um **ca. 48.700 m^3** geringerer Speicherraum im Gestein (Kluftvolumen/Porenvolumen) zur Verfügung, als es vor Abbaubeginn der Fall war.

Der Speichervolumen-Verlust wird durch die Rückhaltebecken ausgeglichen:

Volumen Becken bis 941 mNN = 29.000 m^3

+ Überlaufvolumen bis 941,7 mNN = 28.000 m^3

Gesamtvolumen = 57.000 m^3

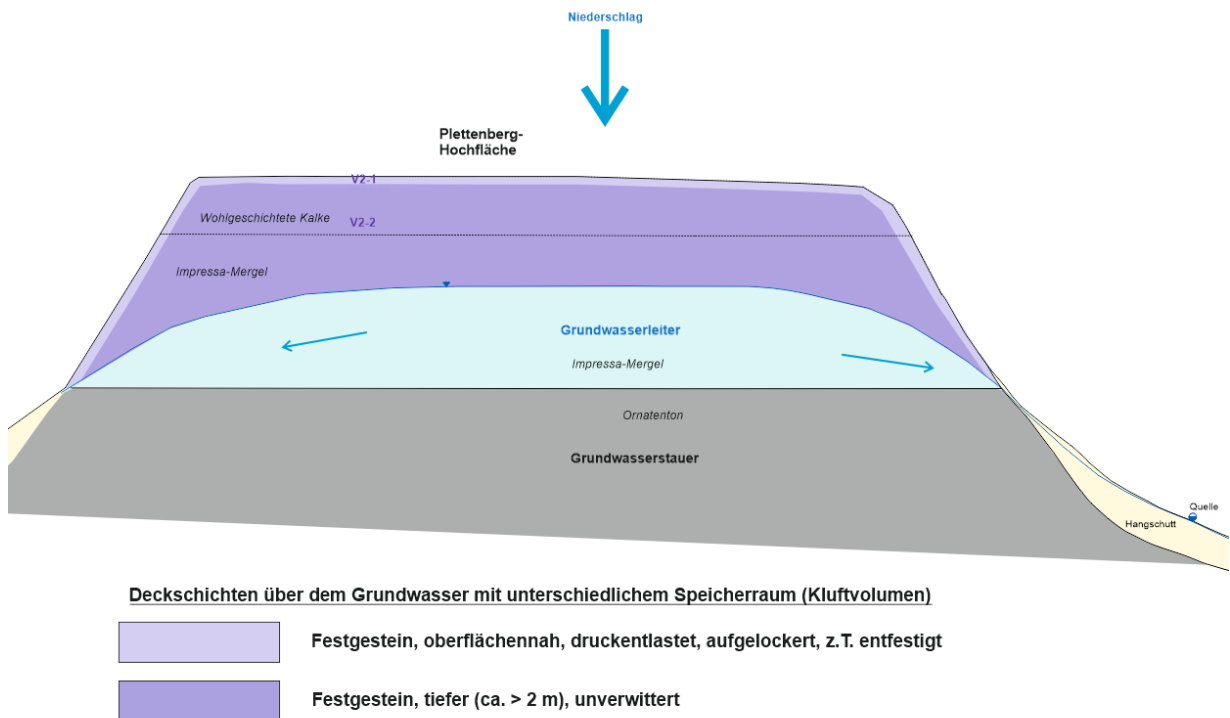


Abb. 7-4: Teilflächen Plettenberg mit unterschiedlichen Speicherräumen (Abk. s. Tab. 7-2)

7.4 Grundwasserabfluss nach außen (Quellen Plettenberghang)

Zur Frage, wieviel Grundwasser vom Plettenberg „unterhalb vom Steinbruch“ nach außen zum Plettenberghang in den dortigen Quellen nach starken Regenereignissen abfließt, werden im Folgenden die Mechanismen und Randbedingungen beschrieben. Diese steuern quasi, wie schnell sich die „natürlichen Speicher“ im Steinbruch „leeren“ können.

Randbedingungen:

- Das Grundwasser auf dem Plettenberg und unterhalb des Steinbruches strömt allseitig den Außenböschungen am Plettenberg und den dortigen Quellen zu.
- Nach Starkregenereignissen herrschen generell hohe Grundwasserstände vor. In Verbindung mit dem steilen Gefälle der Außenböschungen ist das hydraulische Gefälle relativ hoch anzusetzen.
- Als Durchlässigkeit wird für die aufgelockerten Randbereiche oberflächennah $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s angesetzt. Zur Tiefe im Impressamergel ist die Durchlässigkeit dann geringer und mit etwa $k_f = 2 \cdot 10^{-6}$ m/s für das unverwittertete Kluffgestein anzusetzen. Bei den nachfolgenden Berechnungen wird vereinfacht mit einem mittleren Wert von $k_f = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s kalkuliert.

Berechnungsansatz: Grundwasserströmungsgleichung $Q = k_f \cdot I \cdot L \cdot H$

1. Gesamte Außenböschung Plettenberg

L1: Böschungslänge Plettenberg gesamt $L1 = 5.500$ m

H: Höhe Grundwassermächtigkeit $H = 40$ m (940-900 mNN)

→ Durchströmte Fläche $F = L1 \cdot H = 220.000$ m²

I: Hydraulisches Gefälle $I = 0,3$

kf: Durchlässigkeit $k_f = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s

Quellschüttung/GwAbfluss Außenböschung Plettenberg

$Q = 28.512$ m³/Tag

2. Grundwasserabstrom aus Steinbruch nur über Osthang

L2: Böschungslänge Osthang $L_2 = 1.200 \text{ m}$

H: Höhe Grundwassermächtigkeit $H = 40 \text{ m}$

I: Hydraulisches Gefälle $I = 0,3$

Kf: Durchlässigkeit $K_f = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

Quellschüttung/GwAbfluss Ostböschung Plettenberg

Q = 6.221 m³/Tag

3. Grundwasserabstrom über die Westböschung

Aufgrund der Grundwasserströmungsverhältnisse und der morphologischen Situation im Steinbruch erfolgt der Grundwasserabstrom überwiegend nach Osten. Ein Abstrom Anteil nach Westen, insbesondere von dem höher gelegenen Steinbruchareal dort ist sicher anzunehmen. Als Menge bei etwa gleicher Abstromfläche und etwas geringem Einzugsgebiet im Steinbruch etwa 60% der Abstrommenge nach Osten kalkuliert ($Q_{\text{West}} = 6.221 \times 0,6 = 3.733 \text{ m}^3/\text{Tag}$).

4. Gesamtabstrommenge aus dem Grundwasserraum

Der Grundwasserabstrom unterhalb des Steinbruches wird für die Zeit während und kurz nach Starkregenereignissen mit etwa $10.000 \text{ m}^3/\text{Tag}$ ($6.221 + 3.733 = 9.954 \text{ m}^3/\text{Tag}$), zumindest für die ersten Tage nach dem Regen realistisch angesetzt. Die geogenen „Speicher“ leeren sich also mit einer Menge von etwa

10.000 m³/Tag (116 l/s),

mit abnehmender Tendenz nach Ende des Regenereignisses.

Ein Grundwasserabfluss nach Starkregenereignissen in dieser Größenordnung ist für das Einzugsgebiet oder das Grundwasser-Abstromgebiet des Steinbruches realistisch. Die Einzugsgebietsfläche der Quellen (Höhe etwa 850-900 mNN) am Westhang und am Osthang auf der Höhe des bestehenden Steinbruches beträgt etwa $1,05 \text{ km}^2$. Bei einer Grundwasserneubildungsrate von etwa 15 l/skm^2 (Köhler&Pommerening 2018, LGRB-Plum et. al. 2008) ergibt sich ein mittlerer Grundwasserabfluss oder eine

mittlere Schüttung der Quellen von etwa $MQ = 15,8 \text{ l/s}$. Ein mindestens um den Faktor 7 höherer HQ-Abstrom/Schüttung (= 116 l/s) über die Quellen ist realistisch und passt gut zu den Abfluss-Messungen an den Quellen am Plettenberg.

Wie stark die Quellen am Außenhang des Plettenbergs nach Starkregenereignissen reagieren und die Quellschüttung ansteigt, zeigt die Abb. 7-5 am Beispiel der Wehr-Pegel unterhalb der Kalktuffquellen. Die Schüttung steigt am ersten Tag um den Faktor 8 bis 12 gegenüber dem mittleren Abfluss (Kalktuffquelle (KTQ) 1, KTQ3 und KTQ5: $MQ = \text{etwa } 0,4\text{-}0,5 \text{ l/s}$; KTQ4: $MQ = \text{etwa } 1,0 \text{ l/s}$) an und geht dann bei ausbleibendem Regen langsam im Lauf von etwa 10 bis 15 Tagen etwa wieder auf den mittleren Abfluss zurück.

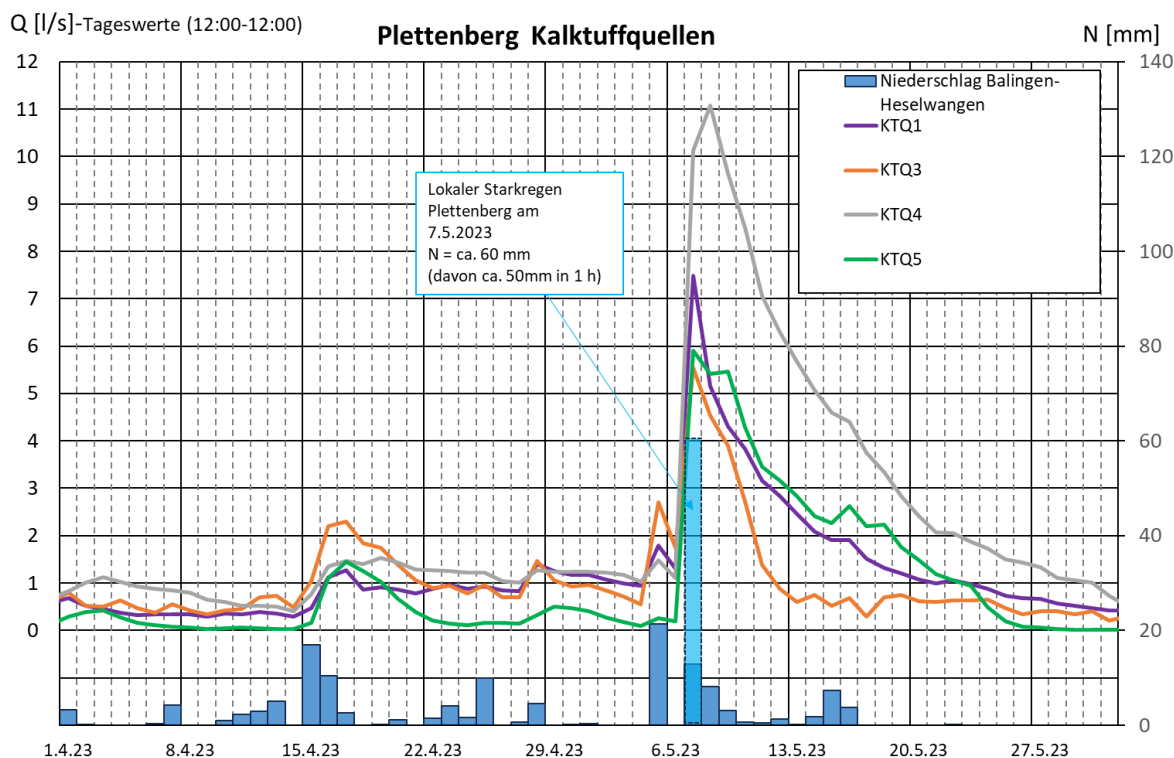


Abb. 7-5: Abfluss Tageswerte der 4 Wehre unterhalb der Kalktuffquellen KTQ1 bis KTQ5 im April und Mai 2023

7.5 Wasserbilanz Plettenberg bei Starkregen

Im Folgenden werden unterschiedliche Starkregenereignisse auf der Grundlage der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Randbedingungen Versickerung, Speicher-raum, oberirdischer und unterirdischer Abfluss bilanziert und bewertet. Es wird unter Nutzung verschiedener, iterativer Berechnungsansätze aufgezeigt, was mit dem Wasser eines Starkregenereignisses im Steinbruch Plettenberg bei unterschiedlichen Extremszenarien passiert.

7.5.1 100-jährlicher Bilanzregen nach KOSTRA – 1-tägiges Regenereignis

Bei einem 100-jährlichen Regenereignis gemäß KOSTRA-DWD 2020 mit 115,6 mm/Tag kommt auf der Einzugsgebietsfläche von 495.000 m² eine Wassermenge von insgesamt etwa 57.200 m³/Tag zusammen.

Dem stehen gegenüber:

- Das Speichervolumen Becken-Innen und Becken-Außen (bis 941 mNN) von 29.000 m³ kann etwa die Hälfte der Regenwassermenge aufnehmen.
- Der Speicher im oberflächennahen Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel, aufgelockerte Steinbruchsohle, bis 2 m Tiefe, untere und obere Sohlen, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-aufgel}} = 16.460 \text{ m}^3$, das ebenfalls schnell aufgefüllt werden kann.
- Der Speicherraum der Rekultivierungsschicht bietet insgesamt 198.175 m³. Dieser Speicher ist ebenfalls sehr schnell für das versickernde Wasser verfügbar. Selbst wenn dieser Speicherraum zur Hälfte bereits gefüllt sein sollte, sind die verbleibenden 100.000 m³ allein bereits ausreichend groß für den angesetzten Regen.
- Damit ist im Idealfall bereits ausreichend großes Speichervolumen vorhanden, das auch schnell verfügbar ist.
- Der Speicher im tieferen anstehenden Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel und Wohlgeschichtete Kalke, > 2 m unter Steinbruchsohle, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-tief}} = 75.735 \text{ m}^3$, das zu einem großen Teil innerhalb von Tagen gefüllt werden kann. Aufgrund der eher geringen Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

wurde eine tägliche Füllmenge von 16.157 m³ berechnet (s. Tab. 7-1 in Kap. 7.2)

- Ein zusätzlicher Speicherraum des tiefer liegenden Geländes im Umfeld der Becken bis 941,7 mNN kann mit bis zu ca. 28.000 m³ als Reserve dienen, falls größere Teile des Speicherraums im Gestein oder der Rekultivierungsschicht schon gefüllt sein sollten.
- Der Abfluss über das Becken-Außen (1.728 m³) und der Grundwasserabfluss in den Quellen der Außenböschung vom Plettenberg (10.000 m³/Tag) sorgen dafür, dass die Speicher relativ schnell im Laufe von wenigen Tagen „geleert“ werden können.

Resümee:

- ➔ Bei einem Starkregenereignis basierend auf einem 100-jährlichen Regen gemäß DWD-KOSTRA2020 mit 115,6 mm/Tag kommt es nicht zu einem Überlaufen der bestehenden Speicher im Steinbruch.
- ➔ Auch wenn die vorhandenen Speicher teilweise vorher gefüllt sind, besteht ausreichend Reserve.

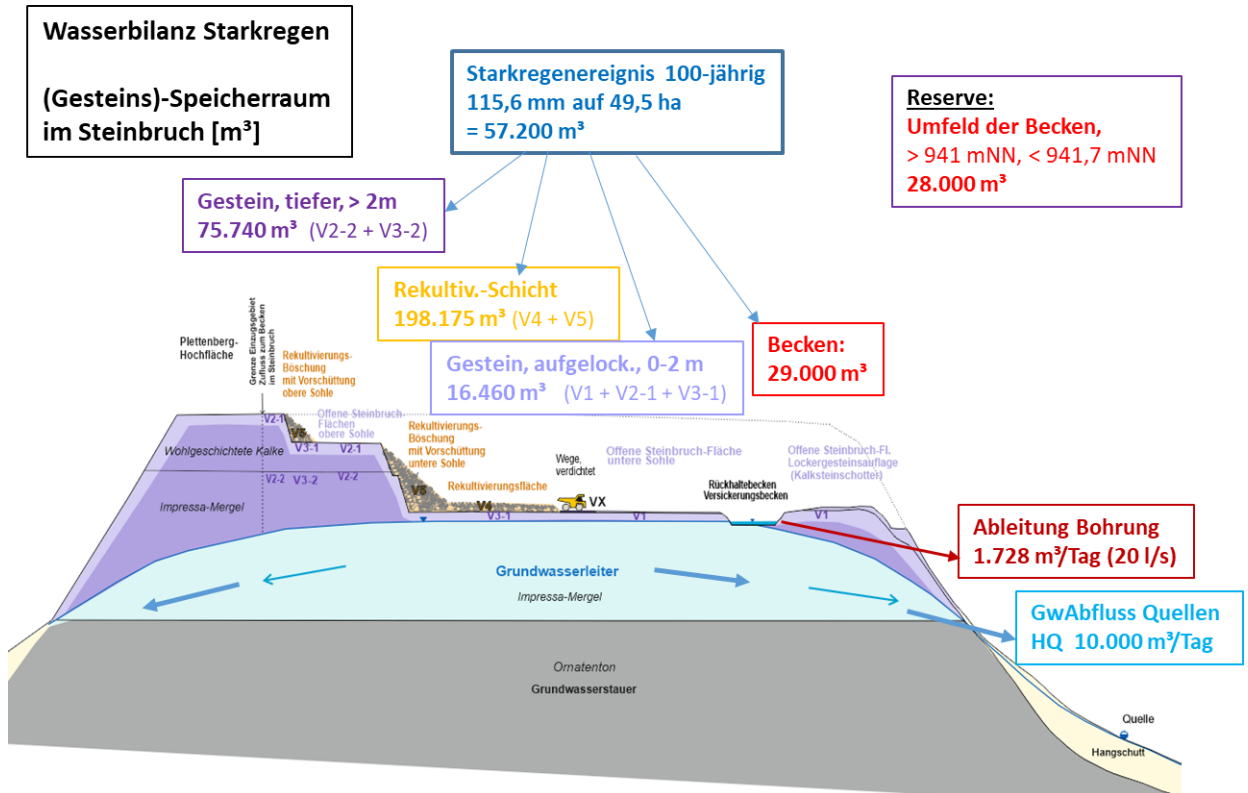


Abb. 7-6: Speicher- und Rückhalteraum im Steinbruch bei Starkregenereignissen – 24 h Niederschlag mit 115,6 mm/Tag

7.5.2 Zweitägiger Starkregen

Gemäß Seidel (2022) wird als eher langanhaltender Starkregen ein 2-tägiges Ereignis mit folgenden Kennwerten angesetzt:

Station Böttingen (etwa 10 km südlich vom Plettenberg): 153,9 mm in 48 h = Max 48 h

Station Klippeneck: 125,3 mm in 48 h (22./23.5.1978)

Für das Einzugsgebiet der Becken (49,5 ha) folgt daraus ein Abfluss von insgesamt

$495.000 \text{ m}^2 \cdot 0,1539 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 76.181 \text{ m}^3$ in 48 h oder

$495.000 \text{ m}^2 \cdot 0,1253 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 62.023 \text{ m}^3$ in 48 h

Dem stehen gegenüber:

- Das Speichervolumen Becken-Innen und Becken-Außen (bis 941 mNN) von 29.000 m³ kann etwa die Hälfte der Regenwassermenge aufnehmen.
- Der Speicher im oberflächennahen Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel, aufgelockerte Steinbruchsohle, bis 2 m Tiefe, untere und obere Sohlen, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-aufgel}} = 16.460 \text{ m}^3$, das ebenfalls schnell aufgefüllt werden kann.
- Der Speicherraum der Rekultivierungsschicht, der insgesamt 198.175 m³ umfasst. Selbst wenn dieser Speicherraum zur Hälfte bereits gefüllt sein sollte, sind die verbleibenden 100.000 m³ noch ausreichend groß für den angesetzten Regen.
- Der Speicher im tieferen anstehenden Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel und Wohlgeschichtete Kalke, > 2 m unter Steinbruchsohle, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-tief}} = 75.740 \text{ m}^3$, das zu einem großen Teil innerhalb von Tagen gefüllt werden kann. Aufgrund der eher geringen Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ wurde eine tägliche Füllmenge von 16.157 m³ berechnet (s. Tab. 7-1 in Kap. 7.2)
- Ein zusätzlicher Speicherraum des tiefer liegenden Geländes im Umfeld der Becken bis 941,7 mNN kann mit bis zu ca. 28.000 m³ als Reserve dienen, falls

größere Teile des Speicherraums im Gestein oder der Rekultivierungsschicht schon gefüllt sein sollten.

- Der Abfluss über das Becken-Außen (1.728 m³) und der Grundwasserabfluss in den Quellen der Außenböschung vom Plettenberg (10.000 m³/Tag) sorgen dafür, dass die Speicher relativ schnell im Laufe von wenigen Tagen „geleert“ werden können.

Resümee:

- Bei einem Starkregenereignis basierend auf einem 2-tägigen Starkregen mit 153,9 mm oder 125,3 mm (Klippeneck) Regen kommt es bei Mengen von 62.000 bis 76.000 m³ nicht zu einem Überlaufen der bestehenden Speicher im Steinbruch, die deutlich über 200.000 m³ aufweisen.
- Auch wenn die vorhandenen Speicher aufgrund unmittelbar vorangegangener Regenereignisse teilweise bereits gefüllt waren, besteht ausreichend Reserve.
- Einer Auffüllung des Steinbruches mit Regenwasser wirkt die Füllung und beständige Entleerung der natürlichen und künstlichen Speicher im Steinbruch entgegen. Nach 2-tägigem Regen können bereits wieder $2 * 10.000 \text{ m}^3 + 2 * 1.728 \text{ m}^3$, also insgesamt etwa 23.000 m³ vom Plettenberg abgeflossen sein.

7.5.3 Dreitägiges Regenereignis nach Seidel (2022)

Gemäß Seidel (2022) wird als eher langanhaltender Starkregen ein 3-tägiges Ereignis mit folgenden Kennwerten angesetzt:

180 mm in 72 h

Für das Einzugsgebiet der Becken (49,5 ha) folgt daraus ein Abfluss von insgesamt $495.000 \text{ m}^2 * 0,18 \text{ m}^3/\text{m}^2 = \mathbf{89.100 \text{ m}^3 \text{ in } 72 \text{ h}}$

Dem stehen gegenüber:

- Das Speichervolumen Becken-Innen und Becken-Außen (bis 941 mNN) von 29.000 m³ kann etwa die Hälfte der Regenwassermenge aufnehmen.

- Der Speicher im oberflächennahen Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel, aufgelockerte Steinbruchsohle, bis 2 m Tiefe, untere und obere Sohlen, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-aufgel}} = 16.460 \text{ m}^3$, das ebenfalls schnell aufgefüllt werden kann.
- Der Speicherraum der Rekultivierungsschicht, der insgesamt 198.175 m^3 umfasst. Selbst wenn dieser Speicherraum zur Hälfte bereits gefüllt sein sollte, sind die verbleibenden etwa 100.000 m^3 noch ausreichend groß für den angesetzten Regen.
- Der Speicher im tieferen anstehenden Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel und Wohlgeschichtete Kalke, > 2 m unter Steinbruchsohle, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-tief}} = 75.740 \text{ m}^3$, das zu einem großen Teil innerhalb von Tagen gefüllt werden kann. Aufgrund der eher geringen Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ wurde eine tägliche Füllmenge von 16.157 m^3 berechnet (s. Tab. 7-1 in Kap. 7.2)
- Der Abfluss über das Becken-Außen (1.728 m^3) und der Grundwasserabfluss in den Quellen der Außenböschung vom Plettenberg ($10.000 \text{ m}^3/\text{Tag}$) sorgen dafür, dass die Speicher relativ schnell im Laufe von wenigen Tagen „geleert“ werden können. Nach 3 Tagen sind bereits etwa 30.000 m^3 wieder vom Plettenberg abgeflossen.

Resümee:

- ➔ Bei einem Starkregenereignis basierend auf einem 3-tägigen Starkregen mit 180 mm Regen kommt es nicht zu einem Überlaufen der bestehenden Speicher im Steinbruch.
- ➔ Auch wenn die vorhandenen Speicher teilweise vorher gefüllt sind, besteht ausreichend Reserve.
- ➔ Einer Auffüllung des Steinbruches mit Regenwasser wirkt die Füllung und beständige Entleerung der natürlichen und künstlichen Speicher im Steinbruch entgegen.

7.5.4 Grenzzustände

Zur Betrachtung eventueller Grenzzustände werden folgende weitere Extremregenerereignisse und Szenarien mit extremen Randbedingungen betrachtet.

Szenario G-1 – Winter und Frost:

Die Steinbruch-Flächen sind im Winter gefroren und dann tritt ein Starkregenereignis ein.

In diesem Extremfall steht zu Beginn nur folgender Speicherraum zur Verfügung.

→ Speicher (Retentionsraum) im Becken bis 941 mNN mit 29.000 m³

→ plus der erweiterte Speicher um die Becken bis 941,7 mNN mit weiteren 28.000 m³

Das sind insgesamt 57.000 m³.

Der Speicherraum im Gestein und in der Rekultivierungsschicht ist durch den gefrorenen Boden zunächst blockiert.

Bezogen auf das Einzugsgebiet der beiden Becken im Steinbruch von 495.000 m³ ist dieser Speicherraum von 57.000 m³ ausreichend groß, um ein Starkregenereignis von 115 mm/d aufzunehmen.

Dieser Fall kann nur in den Wintermonaten auftreten. Der höchste Tagesniederschlag, der in den Wintermonaten (01.11. bis 31.03.) an den Stationen Balingen (seit 1931) und Klippeneck (seit 1947) gemessen wurde, ist:

- Station Klippeneck: 32,7 mm am 13.01.1968
- Station Balingen-Heseln: 38,8 mm am 08.03.1932 und 38,2 mm am 12.01.1955

Ein Winterregen in der Größenordnung von 115 mm am Tag entspricht etwa der 3-fachen Menge der bisher aufgezeichneten Werte im Winter. Bezogen auf den Sommer entspräche das einem Tagesniederschlag von etwa 250 mm an der Station Klippeneck (höchster Tagesniederschlag dort = 84,6 mm) oder von etwa 280 mm an der Station Balingen (höchster Tagesniederschlag dort = 95,5 mm). Nach Seidel (2022) ergibt sich aus der Verteilungsfunktion für Klippeneck für ein 10.000 jährliches Ereignis ein mittlerer Wert von etwa 130 mm bis 150 mm (je nach Verteilungsfunktion - GEV-Verteilung). Auch die Verteilungsfunktion des Modellregens NIEDSIM kommt bei der

10.000 Jahre Häufigkeit nur auf Werte zwischen 110 mm und 120 mm am Tag innerhalb des 95% Konfidenzintervalls bezogen auf das ganze Jahr (Seidel 2022). Ein Extremniederschlag im Winter in der Größenordnung von 115 mm in 24 h ist daher extrem unwahrscheinlich.

Die Verteilungsfunktion NIEDSIM wird von Seidel als „zeigt realistische Werte“ eingestuft. Sie zeige keine Extremwerte, die wesentlich über den beobachteten Werten liegen.

Weiter ist zu berücksichtigen:

Der Regen der auf den gefrorenen Boden auftrifft wird zu einem Teil zu Eis gefrieren und nicht weiter abfließen können. Eine bestimmte Regenmenge wird also vor Erreichen der Speicher als Eis fixiert. Wenn sich auf dem Eis dann (Regen-)Wasser in flüssiger Form ansammelt, wird dieses das Eis und den gefrorenen Boden relativ schnell zum Schmelzen bringen bzw. auftauen, so dass spätestens nach etwa 1 Tag auch eine Versickerungswirkung wieder einsetzen wird. Diese wird in jedem Fall zunächst und relativ schnell auf den Rekultivierungsflächen einsetzen. Dort ist die Oberfläche stärker strukturiert, es besteht ein großes Hohlraumvolumen, auch nahe oder mit Verbindung zur Geländeoberfläche. Das große Hohlraumvolumen ist auch nach Frostperioden nicht vollständig mit Eis gefüllt. Dort wird die Auftauwirkung sehr schnell die überwiegend mit Luft gefüllten Hohlräume für versickerndes Wasser wieder zugänglich machen.

Szenario G-2 – „Niederschlag deutlich > 100 mm/Tag“:

Ein Niederschlagsereignis mit „deutlich mehr als 100 mm/Tag, wie es in Deutschland in der jüngeren Vergangenheit schon mehrfach beobachtet worden ist“ (Seidel 2022).

Wenn man ein Extremniederschlagsereignis für den Plettenberg konstruiert, dass eine Größenordnung von z. B. 200 mm in 24 h umfasst und damit dem Kriterium „deutlich mehr als 100 mm/Tag“ folgt und etwa in der Größenordnung einzelner in Deutschland in den vergangenen Jahren und Jahrzehnte aufgezeichneten Extremregenereignissen liegt, lässt sich folgende Bilanz vorlegen:

Regenereignis:

200 mm in 24 h auf 495.000 m² Einzugsgebiet = 99.000 m³ abfließendes Wasser

Dem stehen gegenüber:

- Das Speichervolumen Becken-Innen und Becken-Außen (bis 941 mNN) von 29.000 m³ kann etwa die Hälfte der Regenwassermenge aufnehmen.
- Ein zusätzlicher Speicherraum des tiefer liegenden Geländes im Umfeld der Becken bis 941,7 mNN kann mit bis zu ca. 28.000 m³ als Reserve dienen, falls größere Teile des Speicherraums im Gestein oder der Rekultivierungsschicht schon gefüllt sein sollten.
- Der Speicher im oberflächennahen Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel, aufgelockerte Steinbruchsohle, bis 2 m Tiefe, untere und obere Sohlen, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-aufgel}} = 16.460 \text{ m}^3$, das ebenfalls schnell aufgefüllt werden kann.
- Der Speicherraum der Rekultivierungsschicht bietet insgesamt $V_{\text{Rekult}} = 198.175 \text{ m}^3$. Dieser Speicher ist ebenfalls sehr schnell für das versickernde Wasser verfügbar. Selbst wenn dieser Speicherraum zur Hälfte bereits gefüllt sein sollte, sind die verbleibenden 100.000 m³ allein bereits ausreichend groß für den angesetzten Regen.
- Der Speicher im tieferen anstehenden Gestein des Steinbruches (geklüfteter Impressamergel und Wohlgeschichtete Kalke, > 2 m unter Steinbruchsohle, offener Steinbruch und unterhalb Rekultivierung) hat ein Speichervolumen von $V_{\text{Gest-tief}} = 75.740 \text{ m}^3$, das zu einem großen Teil innerhalb von Tagen gefüllt werden kann. Aufgrund der eher geringen Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ wurde eine tägliche Füllmenge von 16.157 m³ berechnet (s. Tab. 7-1, Kap. 7.2)
- Damit stehen sind insgesamt etwa zur Verfügung = etwa 287.792 m³ (57.000 m³ + 16.460 m³ + 198.175 m³ + 16.157 m³)
- Selbst wenn dieser Speicherraum zu etwa der Hälfte bereits gefüllt sein sollte, sind die verbleibenden 140.000 m³ noch ausreichend groß für den angesetzten Regen.
- Der Abfluss über das Becken-Außen (1.728 m³) und der Grundwasserabfluss in den Quellen der Außenböschung vom Plettenberg (10.000 m³/Tag) sorgen dafür, dass die Speicher relativ schnell im Laufe von wenigen Tagen „geleert“ werden können. Nach etwa 6-8 Tagen sind bereits mehr als 50.000 m³ wieder vom Plettenberg abgeflossen.

Szenario G-3 – „Dauerregen mit Vorfüllung der Speicher und anschließendem Extremregenereignis“:

Nach mehrwöchigem „Dauerregen“ sind die geogenen Speicher maximal gefüllt. Dann ereignet sich ein Starkregenereignis. Im Folgenden wird bilanziert, wieviel Regenwasser dann ein Starkregenereignis noch liefern kann, wenn man annimmt, dass die vorhandenen geogenen Speicher (z. B. nach längeren Dauerregenereignissen) maximal gefüllt sind.

Als „maximale Füllung“ der einzelnen Speicher sind folgende Mengen realistisch möglich:

Speicher V1 (Kluftraum, oberflächennah, untere Sohle)

Hier ist eine Füllung bis zu etwa 80 % möglich. Bei der bestehenden Geländemorphologie von etwa 1-2 m gibt es immer Bereiche, die nicht komplett gefüllt werden können, bevor tiefer gelegene Abschnitte quasi „überlaufen“. Das zeigen auch die Grundwasserstandsdaten aus dem Steinbruch.

Verbleibender Speicher: $V1x = 0,2 * 2.580 = 516 \text{ m}^3$

Speicher V2-1 und V3-1 (Kluftraum, oberflächennah, höhere Sohlen und unter Rekultivierungsschicht)

Auch hier verhindert die Morphologie eine Füllung zu 100 %. Außerdem erfolgt zum Teil eine beständige Versickerung in tiefere Bereiche.

Annahme: Füllung zu etwa 50 %.

Verbleibender Speicher: $V2-1x + V3-1x = 0,5 * (5.920 + 7.960) = 6.940 \text{ m}^3$

Speicher V2-2 und V3-2 (tiefere Klufbereiche Festgestein, > 2 m)

– Füllung zu 70 % ist möglich. 30 % verbleiben

Verbleibender Speicher: $V2-2x + V3-2x = 0,3 * (59.940 + 15.795) = 22.721 \text{ m}^3$

Aufgrund der eher geringen Durchlässigkeit von $k_f = 2 * 10^{-6} \text{ m/s}$ wurde eine tägliche Füllmenge von 16.157 m^3 berechnet (s. Tab. 7-1 in Kap. 7.2). Damit bleibt ein nutzbarer Speicher von **16.157 m^3** .

Speicher Rekultivierungsschicht V4 und V5

Auch hier ist eine Füllung zu 100 % nicht möglich. Bei der hohen Durchlässigkeit besteht ein ständiger Abfluss oder Versickerung in tiefere Speicher.

Die Anschüttungen an den Hängen können nicht komplett gefüllt sein, da über die Böschungen Wasser herausfließen kann. Ein Teil der höher gelegenen Porenbereiche dieser Anschüttungen können aber zunächst gefüllt werden, bevor zeitverzögert das Wasser wieder austritt. Aufgrund der hohen Durchlässigkeit und des großen Porenvolumens ist eine Füllung von 70% als hoch und eher ungünstige Annahme zu werten.

Die Annahme ist: Füllung zu 70 %, 30 % Porenvolumen verbleiben.

Verbleibender Speicher: $V4x+V5-1x+V5-2x = 0,3*(51.300+112.500+34.375) = 59.452 \text{ m}^3$

Verbleibender Speicherraum bei „Extrem-Füllung“ zuvor:

$V12345x = 516 + 6.940 + 16.157 + 59.452 = 83.065 \text{ m}^3$

Dazu kommt Beckenumgebung 941-941,7 mNN = 28.000 m³

Gesamtspeicher „Extrem-Füllung“ = 111.065 m³

Das entspricht einer Niederschlagsmenge auf 495.000 m² Steinbruchfläche von

N = 224 mm/Tag

7.5.5 Starkregenereignis am 07.05.2023

Gemäß KOSTRA_2020 fallen bei einem 100-jährlichen Regen auf dem Plettenberg 47,8 mm in 60 min. Das wurde am 07.05.2023 mindestens erreicht und sehr wahrscheinlich sogar übertroffen. Da das Regenereignis am 07.05.2023 nach etwa 1 h weitgehend beendet war, folgte er nicht dem weiteren KOSTRA-Modellverlauf.

Es kann hier aber von einem mindestens 100-jährlichen Ereignis, bezogen auf einen kurzzeitigen Starkregen von etwa 1 h Dauer ausgegangen werden. Der Anstieg des Beckenwasserstandes auf 940,90 mNN war die Folge dieses „100-jährlichen Ereignisses“ in Verbindung mit den „Vorbelastungen“ durch die vorangegangenen Regenereignisse, insbesondere

- der bereits bestehende Teileinstau im Becken-Außen auf 939,10 mNN,

- die „teilweise Vorfüllung“ der natürlichen Speicher im Festgestein und dem Lockergestein der Rekultivierungsschicht,
- der hohen Regenintensität mit etwa 50 mm in 1 h, wodurch die Versickerung am 07.05.2023 stark eingeschränkt war und das Regenwasser fast vollständig auf der Oberfläche abfloss.

Setzt man für den Starkregen am 07.05.2023 in der Zeit von 13:30-14:30 Uhr eine Regenmenge = ca. 50 mm an, so ergibt sich für das Einzugsgebiet Steinbruch (49,5 ha = 495.000 m²) eine Regenmenge im Steinbruch von $V = 24.750 \text{ m}^3$.

Dieser Rechenansatz über die Regenmenge passt gut zu der gemessenen Volumenzunahme des Beckenwassers von etwa 23.000 m³ am 07.05.2023 und wenigen Tagen danach (s. Kap. 6.4.5).

Für ein 100-jährliches Regenereignis nach KOSTRA_2020 ergibt sich für den Plettenberg folgender Abfluss für 1 h:

- $N = 47,8 \text{ mm} = 132,8 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$ (n. KOSTRA)
- $Q = 132 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$ bei 49,5 ha = 6.534 l/s = 23.522 m³/h

Die Regenmenge nach KOSTRA_2020 für ein 100-jährliches 60-minütiges Ereignis passt mit 23.552 m³ ebenfalls gut zu der gemessenen Volumenzunahme des Beckenwassers (s. Kap. 6.4.5).

Zusammenfassend lautet die Bilanz für das Regenereignis am 07.05.2023:

In weniger als 1 h ist eine Regenmenge von etwa 50 mm auf 495.000 m² Einzugsgebiet der Becken im Steinbruch gefallen. Das sind 24.750 m³ abfließendes Wasser, bei den genannten „Vorbelastungen“:

- Teileinstau Becken-Außen 939,10 mNN, Wasserstand Becken-Innen 939,8 mNN,
- „Vorfüllung“ der natürlichen Speicher durch Regenfälle an den Tagen und Wochen zuvor,
- Nur geringe Versickerungsfähigkeit während des Regenereignisses aufgrund extrem hoher Regenintensität (ca. 50 mm/h).

Dem stehen gegenüber:

- Das Rest-Speichervolumen Becken-Innen und Becken-Außen, ausgehend vom Wasserstand am 07.05.2023 vor Regenbeginn, beträgt bis 941 mNN noch 26.000 m³ (Becken-Außen = 14.000 m³ + Becken-Innen = 12.000 m³)
- Der übrige zur Verfügung stehende Speicherraum im geklüfteten Impressamergel und in der Rekultivierungsschicht kann bei der hohen Regenintensität nicht oder nur geringfügig genutzt werden. Angesetzt werden 0 m³.
- Der zusätzliche Speicherraum des tiefer liegenden Geländes im Umfeld der Becken bis 941,7 mNN mit bis zu ca. 28.000 m³ wird nicht in Anspruch genommen und dient als Reserve.
- Damit stehen für die abfließende Regenmenge von 24.750 m³ (sehr intensiver Starkregen von etwa 50 mm in 1 h, entsprechend > 100-jährlichem Ereignis nach KOSTRA-2020) als Speicherraum insgesamt etwa zur Verfügung:
 - 26.000 m³ (Speicher bis 941 mNN) + 28.000 m³ (Speicher bis 941,7 mNN) = 54.000 m³
 - Der Speicher bis 941 mNN kann die Regenmenge von 24.750 m³ vollständig aufnehmen. Der Wasserspiegel steigt auf 940,90 mNN an.
 - Es bleibt ein Restspeicherraum von 1.250 m³ in den Becken und der Umgebung bis 941 mNN.
 - Es verbleibt ein verfügbarer Gesamtspeicherraum (bis 941,7 mNN) von 29.250 m³
- Der verbliebene Speicherraum nach dem Regenereignis am 7.5.2023 könnte theoretisch ein weiteres Starkregenereignis mit dieser hohen Intensität eines 100-jährlichen Ereignisses für eine weitere Stunde, also weitere etwa 50 mm in der 2. Stunde noch aufnehmen.
- Gleichmaßen wäre am 07.05.2023 der Speicherraum für ein theoretisches Regenereignis von etwa 100 mm in 1 h ausreichend, was weit jenseits der realistisch anzugebenden Jährlichkeiten liegt.

Würde sich das 100-jährliche Regenereignis über die 1 h gemäß KOSTRA-2020 fortsetzen, ergäbe sich nach 47,8 mm in der 1. Stunde eine Tagesmenge von 115,6 mm. Die anfängliche Nichtnutzbarkeit der natürlichen Speicherräume (Rekultivierungsschicht, Kluftraum Impressamergel), die in der ersten Stunde aufgrund der sehr hohen

Regenintensität bestand, würde in den folgenden Stunden mit nachlassender Intensität aufgehoben werden, so dass die Speicher, vor allem im Porenraum der Rekultivierungsschicht, für die folgenden Regenmengen an dem Tag und den Folgetagen wieder nutzbar würden. Damit stünde ausreichend Speicherraum zur Verfügung. Der weitere Verlauf entspräche dem Szenario in Kap. 7.5.1.

7.6 Zusammenfassung zum Abfluss bei Starkregen

Generell ist für die Abflusssituation bei Starkregen auf dem Plettenberg festzuhalten:

- Die Speicher im Bereich des Steinbruches Plettenberg besitzen mit insgesamt mehr als 300.000 m³ ein Speichervolumen, das theoretisch jedes realistische Starkregenereignis aufzunehmen im Stande ist.
- Der verfügbare Speicher teilt sich auf in
 - Becken und Umgebung
 - 29.000 m³ bis 941,0 mNN und
 - 57.000 m³ bis 941,7 mNN
 - Geogene Speicher
 - Kluftgestein = 92.000 m³
 - Rekultivierungsschicht = 198.000 m³
- Auch unter sehr ungünstigen Randbedingungen, wie z. B.
 - gefrorener Boden,
 - teilgefüllte geogene Speicher aufgrund vorangegangener Regenereignisse,
 - sehr hoher Regen-Intensität (kurzzeitig, ca. 1 h) mit verminderter Versickerung,

sodass die geogenen Speicher kurzzeitig nicht nutzbar sind oder wenn sie zu einem Teil bereits gefüllt sind, stehen mit den Becken (57.000 m³ oberhalb GOK) ausreichend „Mindest-Speicher“ zur Aufnahme von extremen Starkregen zur Verfügung.

- Gleichzeitig „entleeren“ sich die Speicher ständig, mit etwa 10.000 m³/Tag am ersten Tag nach dem Regen über den Westhang und Osthang am Steinbruch. In den Folgetagen geht der Abfluss über die Quellen an den Außenböschungen zurück, wenn kein neuer Regen füllt. Bei weiterem (Stark-)Regen würde der Abfluss über die Außenböschungen (Quellen) im Bereich von etwa 10.000 m³/Tag verbleiben. Eine komplette Füllung der Speicher bei längeren Dauerregen wird daher nicht eintreten. Die Menge 10.000 m³/Tag Abfluss entspricht einer Regenmenge von 20,2 mm/Tag auf die Fläche des Steinbruches (495.000 m³). Es müsste nach vorangegangener vollständiger Auffüllung aller Speicher (mit mehr als 500 mm Regen auf die Fläche von 495.000 m² - ca. halber Jahresregen) weiter ein permanenter Regen von >20 mm/Tag über Tage andauern um einen „rechnerischen Versagenspunkt“ zu erreichen.
- Selbst wenn die vorhandenen Speicher zu mehr als der Hälfte bereits gefüllt sein sollten, ist der verbleibende Speicherraum ausreichend groß um ein Extremniederschlagsereignis mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von deutlich über 1.000 Jahre aufzunehmen.
- Ein längeres Blockieren von mehr als der Hälfte des geogenen Speicherraumes durch vorherige Füllung ist nicht möglich, da ein beständiger Ablauf nach Außen besteht.
- Letztlich ist die Abflusswirkung und Abflusskapazität immer ausreichend groß, dass der Aufstau im Steinbruch durch Regen in rechnerisch zunehmender Menge das nicht übertreffen kann.
- Damit ist ein Auffüllen des Steinbruches bis zum theoretischen Überlauf bei 942 mNN bei den vorhandene Randbedingungen Durchlässigkeit, Speichervolumen, Grundwasserabstrom nach außen, auch unter extremen Annahmen nicht realistisch möglich.

Die Durchlässigkeit, das Speichervolumen und der Abfluss („Leerung der Speicher“) ist ausreichend leistungsfähig, um einen Aufstau von Wasser im Steinbruch Plettenberg wirksam zu begrenzen, so dass ein „Überlaufen“ oder das „Erreichen einer Versagensgrenze“ wirksam verhindert oder vermieden wird.

8 Auswirkungen der Anlagen zur Regenwasserrückhaltung und -ableitung

8.1 Regenwasserabfluss

Wie die Berechnungen in Kap. 6 und Kap. 7 zeigen, sind die bestehenden Rückhaltebecken und Versickerungsbecken im Steinbruch Plettenberg ausreichend groß bemessen, um ein 100-jährliches Regenereignis (115 mm/Tag) oder auch stärkere und mehrtägige Starkregenereignisse aufzunehmen. Die beiden Becken-Außen und Becken-Innen besitzen bis zur Höhe der Außenböschungen bei etwa 941,0 mNN ein Speichervolumen von $V=29.000 \text{ m}^3$. Im nahen Umfeld der Becken besteht ein weiterer nutzbarer Speicherraum von etwa 28.000 m^3 bis zur Höhe von 941,7 mNN, was die Höhe der Geländekante zur Außenböschung im Osten, abzüglich 0,3 m Freibord, markiert. Daher wird auch bei einem noch stärkeren Regenereignis als einem 100-jährlichen der Rückhalteraum im Steinbruch ausreichend groß sein.

Bei einem 100-jährlichen Regenereignis und den angesetzten, flächenspezifischen Abflussbeiwerten (s. Kap. 6.2.2) wird ein Rückhalteraum für eine abflusswirksame Regenmenge von 25.860 m^3 benötigt. Damit wird ein Becken-Wasserstand von 940,85 mNN bei einem 100-jährlichen Regenereignis eintreten.

Wie die hydraulischen Versuche und weitere hydrogeologische Untersuchungen zeigen, gibt es im Steinbruch zusätzlich zu den etwa 57.000 m^3 Rückhalteraum oberhalb der Geländeoberkante mit dem Porenvolumen der Rekultivierungsschicht (Lockergestein) und dem Kluftvolumen der anstehenden Gesteine weiteren, im Niederschlagsfall nutzbaren Speicherraum in einer Größe bis zu etwa 290.000 m^3 .

Ein Auffüllen des Steinbruches bis zum theoretischen Überlauf bei 942 mNN ist bei den vorhandenen Randbedingungen auch unter extremen Annahmen eines realistisch möglichen Starkregenereignisses nicht möglich.

Die Durchlässigkeit, das Speichervolumen und der Abfluss ist ausreichend leistungsfähig, um einen Aufstau von Wasser im Steinbruch Plettenberg wirksam zu begrenzen, so dass ein „Überlaufen“ oder das „Erreichen einer Versagensgrenze“ wirksam verhindert oder vermieden wird.

Die Ableitung des Wassers aus dem Becken-Außen erfolgt über eine Rohrleitung mit Drossel in den Waldhausbach bis zu einer maximalen Menge von 20 l/s. Die mittlere Einleitwassermenge beträgt etwa 3,5 l/s. Bei generellen Niedrigwasserabflüssen in

Trockenphasen erfolgt keine Einleitung, da der Wasserspiegel im Becken-Außen aufgrund der beständigen Versickerung unter die Überlaufhöhe von 938,50 mNN sinkt. Die Einleitwassermengen führen nicht zu einer hydraulischen Belastung des Waldhausbaches.

8.2 Grundwasser und Beckenwasserstand

Das Grundwasser im zentralen Steinbruchbereich fließt zum Teil den beiden Becken zu. Bei niedrigen Grundwasserständen erfolgt eine Versickerung aus den Becken in das Grundwasser. Aus dem Becken-Außen versickert permanent Wasser in das Grundwasser, das dort am östlichen Abbaurand fast durchgängig tiefer liegt als die Beckensohle.

Die Becken besitzen neben der Funktion der Rückhaltung und Ableitung von Regenwasser, insbesondere nach Starkregenereignissen, auch die Funktion einer Versickerung von Wasser in das Grundwasser.

Die Auswirkungen der Becken auf das Grundwasser sind geringfügig und auf die unmittelbare Umgebung innerhalb des Steinbruches geschränkt (s. Kap. 9.2.1).

Nach der bestehenden wasserrechtlichen Erlaubnis ist sicherzustellen, dass der Beckenwasserstand nicht in den Abraum (Oberkante Mergel) ansteigt. Der Beckenwasserspiegel sollte unterhalb 939 mNN liegen. Daher wurde das Überlaufrohr zum Waldhausbach mit Drossel, östlich unterhalb der steilen Felsböschung am Plettenberg, angelegt, das den Wasserspiegelanstieg etwa auf 938,50 mNN, der Höhe des Rohrüberlaufes konstant hält. Nur bei Starkregenereignissen kommt es vorübergehend zu einem Anstieg im Becken-Außen mit einer Überschreitung von 939 mNN für wenige Tage. Das zeigen die vorliegenden Messungen (s. Kap. 5.2)

Wie die Schurtaufnahmen nahe nördlich der Becken im März 2022 gezeigt haben (KP 2022a), ist die Überdeckung des anstehenden Festgesteins Impressamergel im Umfeld der Becken nur einige Dezimeter und lokal bis maximal 1,0 m mächtig. Bei einer Geländehöhe von 942 mNN ist damit das gesamte Becken-Außen bis zum Oberen Beckenrand bei 941 mNN im Festgestein des Impressamergel gelegen. Die Standsicherheit im Umfeld der Becken ist auch bei hohen Wasserständen nicht gefährdet. Das zeigen auch die Untersuchungen von Fernandez-Steeger (2022), die in Kap. 8.3 erläutert werden.

8.3 Standsicherheit

Die Standsicherheit des Osthangs am Plettenberg und die Auswirkungen, die ein 100-jährliches Niederschlagsereignis oder auch ein extremes gemessenes Niederschlagsereignis, wie am 07.05.2023, auf die Standsicherheit hat, wird in einem ingenieurgeologischen Gutachten von Prof. Dr. Fernandez-Steeger untersucht und bewertet [Fernandez-Steeger (2022)]. Dabei werden auch die Sicherheit der beiden Becken, die als künstliche Vertiefungen im Gestein als Rückhalteraum und Absetzbecken genutzt werden, hinsichtlich eines unkontrollierten Wasserausbruchs durch ein Versagen der Beckeneinfassung bewertet.

Das Gutachten kommt zu dem Ergebnis, dass bezogen auf die Standsicherheit die Situation im Fels im Bereich der Becken am Osthang grundsätzlich als gut zu bewerten ist. Dort bestand vor dem Abbau eine mächtige Kalkstein- und Mergelaufgabe, deren Systemzustand im Fels hangstabil war. Diese gravitative Auflast wurde im Zuge des Abbaus entfernt, was zu einer starken statischen Entlastung des Hanges geführt hat. Die Absetz- und Infiltrationsbecken sind als eingeschnittene Becken errichtet worden. Dieses Leervolumen, das mit Wasser gefüllt werden kann, war zuvor mit Felsgestein in einer höheren Dichte gefüllt. Auch hier wird lokal die gravitative Auflast reduziert. In der Folge treten in den eingeschnittenen Becken auch bei einer vollständigen Füllung nur dynamische wie statische Belastungen auf, die um ein Vielfaches geringer als die vorangegangenen Zustandsgrößen sind. Selbst bei einer Wiederverfüllung der Becken mit Gestein werden nur gravitative Auflasten aufgebracht, die insgesamt geringer sind als die statischen Belastungen, die vor dem Abbau bestanden haben.

Um dynamische Einflüsse durch eine veränderte Sickerwasserlinie bzw. höhere Gebirgswasserstände zu untersuchen, wurden analytische Untersuchungen der Standsicherheit für den Bereich der Ostböschung mit den Becken durchgeführt. Diese sollten insbesondere klären, ob es zu Versagensbildern kommen kann, durch welche die Integrität der Becken betroffen ist und es zu einem plötzlichen unkontrollierten Wasseraustritt aus den Becken kommen kann.

Ein unkontrollierter Wasserausbruch aus den Becken wurde in keiner der Simulationen nachgewiesen. Aufgrund der Lage des Plettenbergs in einem Erdbebengebiet wurden auch extremen Lasten, die z. B. durch Erdbeben entstehen können, analytisch geprüft.

Der Osthang des Plettenbergs ist auch bei extremen Niederschlagsereignissen und den damit einhergehenden hohen Wasserständen standsicher.

Mit Datum Juli 2023 wurde eine weitere Stellungnahme zu Fragen der Standsicherheit des Felsriegels am Ostrand des Absetz- und Versickerungsbeckens für die Zwischenspeicherung von Niederschlagswässern im zentralen und östlichen Bereich des Steinbruchs auf dem Plettenberg für das Niederschlagsereignis am 07.05.2023 vorgelegt [Fernandez-Steeger (2023)].

Der hohe Wasserstand von 940,90 mNN am 07.05.2023 wirkt sich nach den Berechnungen nicht kritisch auf die Standsicherheit am Felsriegel aus. Es gibt weiterhin keine Indizien die darauf hinweisen, dass kritische Gleitkreise am Felsriegel oder auch am Gebirgskörper über die beschriebene Rutschmasse hinaus auftreten, die in das verfüllte ehemalige Becken oder sogar bis in den Felsriegel zum bestehenden Becken hineinreichen. Die Ergebnisse der Berechnungen schätzen den Felsriegel nach aktueller Datenlage folglich auch unter der beobachteten erhöhten Last während des Niederschlagsereignisses im Mai 2023 als standsicher ein. Auch bei Berücksichtigung seismischer Beeinflussung bleiben die Sicherheitswerte deutlich auf der sicheren Seite. Auch die neuen Berechnungen ergeben die Standsicherheit des Felsriegels an dem Becken-Außen.

Wir weisen weiterhin auf die Handlungsempfehlungen der „Arbeitsgruppe Stauanlagen in Baden-Württemberg“ hin [LUBW (2012): Hinweise zu "Stauanlagen von untergeordneter Bedeutung" - Definition, Anforderungen und Umgang.-].

8.4 Rekultivierung und Abbaufortgang

Die Rekultivierungsschicht im gesamten Abbaubereich erhöht den Rückhalteraum für Regenwasser. Damit werden die Becken entlastet. Die hydraulischen Versuche (Versickerungsversuche) und die Laboruntersuchungen zur Kornverteilung zeigen, dass die Rekultivierungsschicht mit kf-Werten von $2 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s eine um bis zu 2 Zehnerpotenzen höhere Durchlässigkeit und ein deutlich höheres Porenvolumen aufweist als der betriebene Steinbruchbereich (25 % zu 1 bis 2%). Das hat zur Folge, dass die rekultivierten Flächen nach Regenfällen deutlich weniger abflusswirksam sind. Der Anteil rekultivierter Flächen wird in den nächsten Jahren beständig weiter erhöht werden. Das erforderliche Rückhaltevolumen bei Starkregen wird sich dann

ebenfalls verringern. Damit wird die Abflusssituation bei Regen und bei Starkregeneringen im Zuge der fortlaufenden Rekultivierung insgesamt verbessert.

Der Abbaufortgang und die Vergrößerung der Steinbruchfläche im Rahmen der bestehenden Genehmigung ist in den Berechnungen zum Regenwasserabfluss berücksichtigt (s. Kap. 6), so dass sich dadurch keine Verschlechterung der Abflussverhältnisse ergibt.

8.5 Klimawandelprognose

Im Rahmen der Klimawandelprognosen sind für die Betrachtung des Wasserhaushaltes, des Grundwassers und der Oberflächengewässer für den Zeitraum bis 2050 folgende relevante Klimavariablen auf Grundlage der vorliegenden Untersuchungen LUBW (2013, 2015) und KLIWA (2023) anzusetzen:

- Temperatur: Für Baden-Württemberg prognostiziert LUBW (2013, 2015) eine Zunahme der mittleren Temperatur zwischen 1,1 und 1,3 °C
- Niederschlag: LUBW (2013, 2015) 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 (2013, 2015) nehmen die Niederschlags-extreme 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.
- Grundwasserneubildung: Die Modellsimulationen nach KLIWA zeigen für die zukünftigen Grundwasserneubildungsraten eine Bandbreite von moderaten Zu- bis deutlichen Abnahmen.

Der Rückhalteraum ist ausreichend groß, um Veränderungen im Abflussgeschehen aufgrund des Klimawandels im beantragten Zeitraum bis 2029 aufzunehmen.

9 Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie

9.1 Identifizierung und Beschreibung der betroffenen Wasserkörper (Ist-Zustand)

9.1.1 Oberflächenwasserkörper

Der Steinbruch Plettenberg gehört zum Teilbearbeitungsgebiet TBG 40 „Oberer Neckar - Neckar bis einschließlich Starzel“.

Das Hauptfließgewässer im Untersuchungsgebiet ist die Schlichem, die südlich vom Plettenberg in Richtung Westen bis Nordwesten abfließt. 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.

Schlichem und Eyach gehören zum Gewässersystem Neckar. Das Einzugsgebiet der Schlichem zählt zum Flusswasserkörper 40-03, das Einzugsgebiet der Eyach gehört zum Flusswasserkörper 40-07.

Die Fläche der beantragten Süderweiterung im Steinbruch Plettenberg ist Teil des Einzugsgebietes der Schlichem und Teil des Einzugsgebietes der Eyach und dessen Nebenbach Steinach (Gewässer-ID 2.055) (Abb. 9-1).

Die Risikoanalyse für Flusswasserkörper des BG Neckar ergibt gemäß Bewirtschaftungsplan 2021 für die Flusswasserkörper 40-03 und 40-07:

- Ökologischer Zustand/Potenzial = mäßig
- Chemischer Zustand = nicht gut

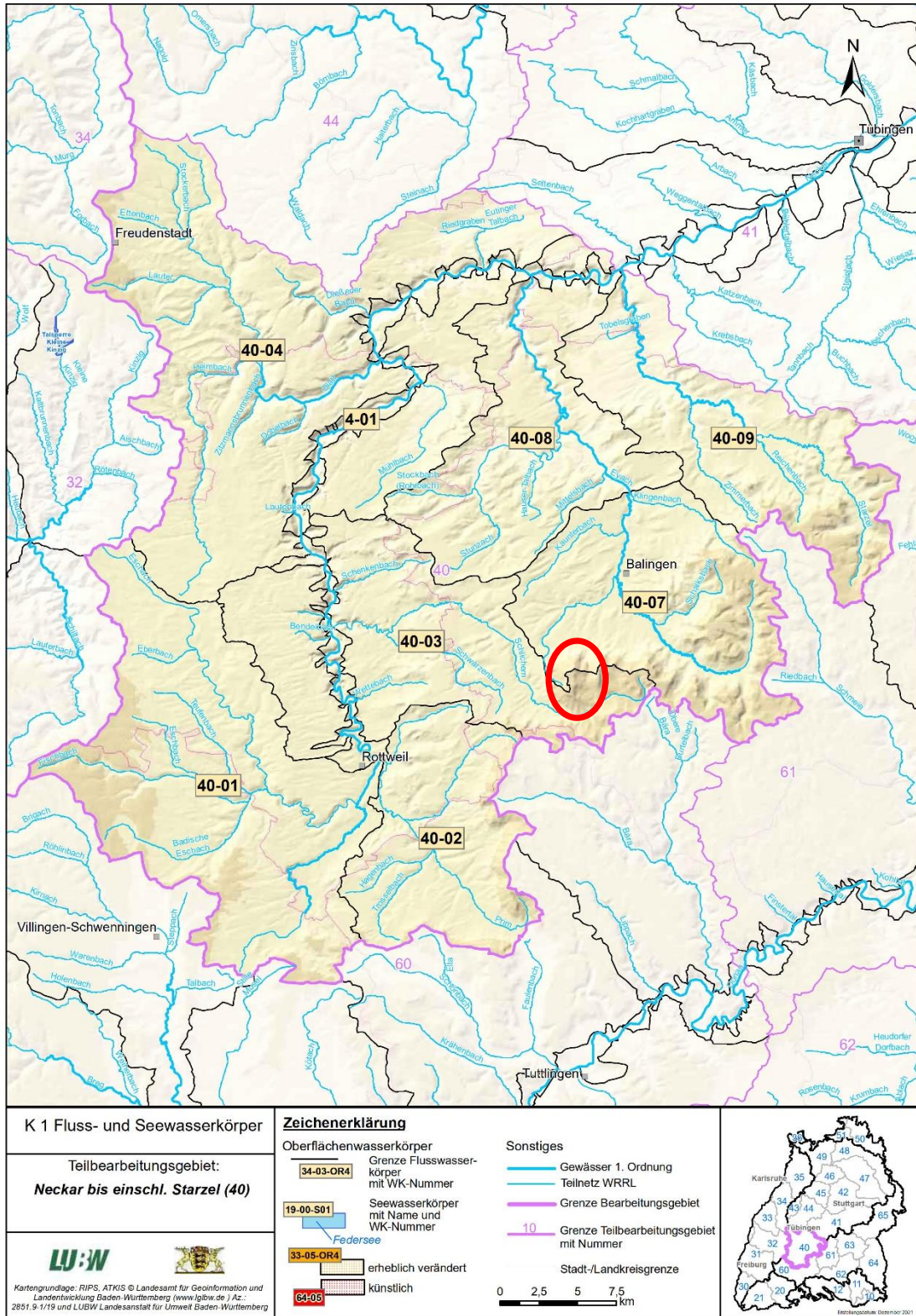


Abb. 9-1: Der Plettenberg im Teilbearbeitungsgebiet 40 „Oberer Neckar - Neckar bis einschließlich Starzel“ mit Flusswasserkörpern 40-03 und 40-07

Die fischbasierte Bewertung ergibt in keinem Wasserkörper im TBG 40 „Neckar bis einschließlich Starzel“ den guten Zustand. Der gute chemische Zustand im TBG 40 wird flächendeckend verfehlt aufgrund ubiquitär vorkommender Stoffe wie z. B. Quecksilber und Summe pentabromierte Diphenylether. Über die flächendeckende Zielverfehlung durch diese Stoffe hinaus werden im Gebiet 40-03 keine Überschreitungen der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten festgestellt. Im Gebiet 40-07 werden die Qualitätskomponenten für Ammonium, Ammoniak und Phosphor nicht eingehalten.

9.1.2 Grundwasserkörper

Der Kalksteinbruch Plettenberg, südöstlich von Dotternhausen gelegen, ist Teil des Teilbearbeitungsgebiet TBG 40 „Neckar bis einschl. Starzel“ im Bewirtschaftungsgebiet Neckar (s. Abb. 9-2). Der Plettenberg berührt dabei folgende Grundwasserkörper (s. Abb. 9-2):

- GWK-Nr. 07.12.40 mit 300,8 km² Fläche
- GWK-Nr. 07.13.40 mit 307,2 km² Fläche

Bei den Grundwasserkörpern handelt es sich um einen Festgesteins-/bzw. Klufftgrundwasserleiter mit lokal gering bis größer ausgeprägten Verkarstungserscheinungen. Im TBG 40 befinden sich kein gefährdeter Grundwasserkörper bzw. Anteile daran. Der chemische Zustand und der mengenmäßige Zustand der Grundwasserkörper im Bereich des Plettenbergs ist als „gut“ eingestuft.

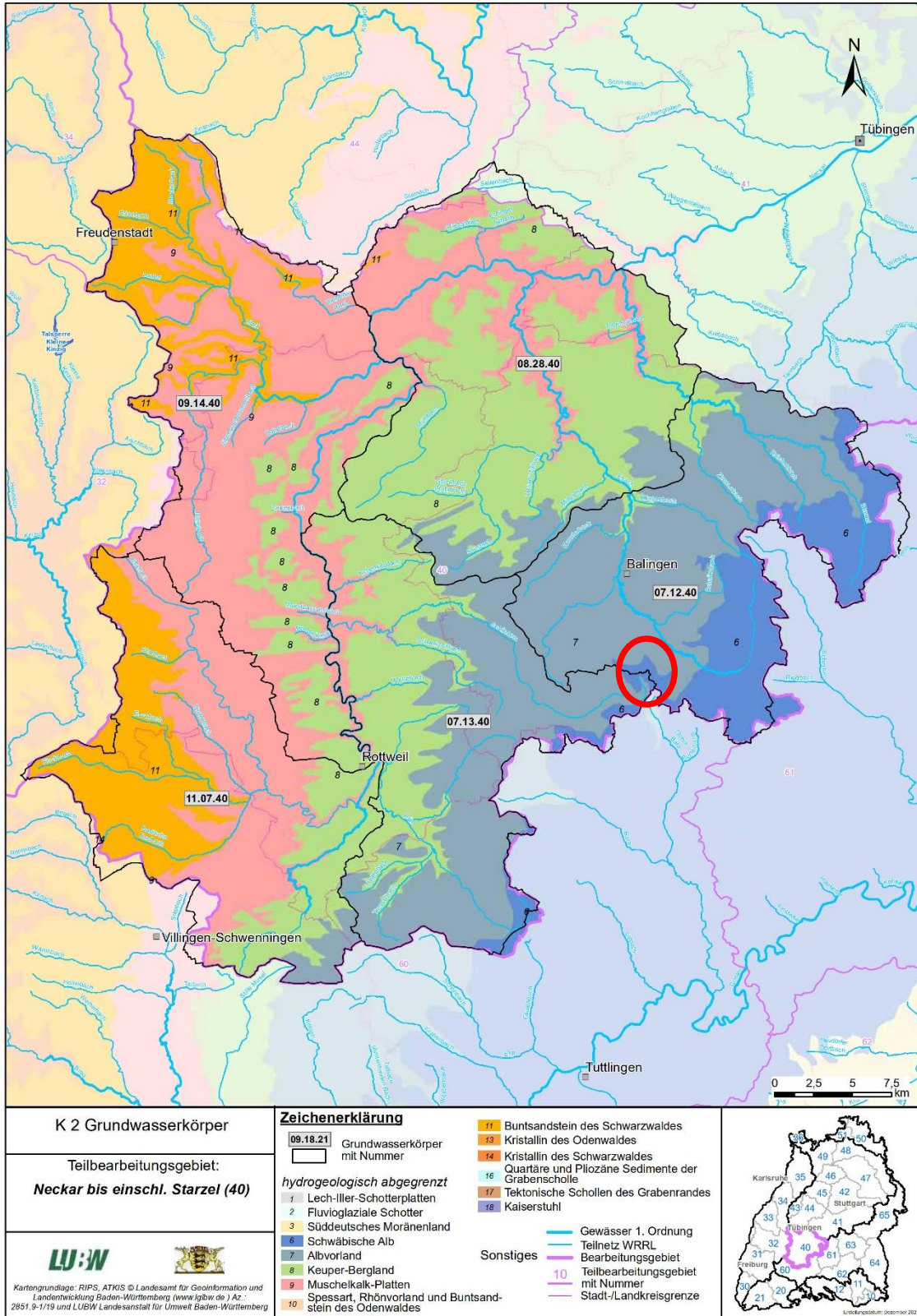


Abb. 9-2: Der Plettenberg im Teilbearbeitungsgebiet 40 und die Grundwasserkörper

9.2 Auswirkungen des Vorhabens

9.2.1 Grundwasserkörper

Gem. § 47 Abs. 1 WHG sind Grundwasserkörper so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres mengenmäßigen und ihres chemischen Zustands vermieden wird (Nr. 1; Verschlechterungsverbot); alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umgekehrt werden (Nr. 2; Trendumkehrgebot) und ein guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden (Nr. 3; Zielerreichungsgebot).

Durch die Maßnahmen zur Speicherung, Versickerung und Ableitung des Regenwassers im Steinbruch und den Betrieb der beiden Becken werden die Grundwasserstände und die Grundwasserströmungsverhältnisse nicht oder nicht wesentlich verändert.

Durch die Becken entsteht keine relevante mengenmäßige Veränderung des Grundwassers, da zum einen eine aktive Entnahme von Grundwasser im Steinbruch nicht stattfindet (außer einer geringfügigen Entnahmemenge von 4.000m³/Jahr zur Befuchtung der Wege im Steinbruch selbst) und zum Anderen die Grundwasserneubildung über die Versickerung nach Niederschlägen in den sehr gut durchlässigen Kalksteinen durch den Abbau dieser Gesteine bis 1 m über den höchsten zu erwartenden Grundwasserstand nicht relevant vergrößert oder verringert wird. Die verbleibende Gesteinsschicht über dem Grundwasser (Impressamergel) ist ausreichend durchlässig, so dass die Grundwasserstände als Kriterium für den „mengenmäßigen Zustand“ des Grundwasserkörpers sowie nicht in relevantem Maße durch das Vorhaben verändert wird. Auch nach Aufbringen einer Rekultivierungsschicht von 2 m Mächtigkeit bleibt die Deckschicht über dem Grundwasser ausreichend durchlässig, so dass die Grundwasserstände und die Grundwasserneubildung auch langfristig nach Abbauende nicht relevant verändert werden. Das nutzbare Grundwasserdargebot wird durch die Abbauerweiterung nicht verändert (§ 4 Abs. 2 Nr. 1 GrwV).

Durch das Vorhaben im Steinbruch Plettenberg wird keine Verschlechterung des mengenmäßigen Zustands des Grundwasserkörpers Alvorland gemäß § 4 GrwV hervorgerufen. Das Verschlechterungsverbot wird eingehalten.

Bei der Prüfung einer Verschlechterung des chemischen Zustands eines Grundwasserkörpers ist die Auswirkung eines Vorhabens auf jeden einzelnen, für den jeweiligen Grundwasserkörper relevanten Schadstoff nach § 7 Abs. 2, § 5 Abs. 1 oder Abs. 2 in Verbindung mit Anlage 2 GrwV zu prüfen. Das sind folgende Parameter und deren Schwellenwerte:

- Nitrat (NO₃): 50 mg/l
- Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten einschließlich relevanter Stoffwechsel-, Abbau- und Reaktionsprodukte: jeweils 0,1 µg/l, insgesamt 0,5 µg/l
- Arsen (As): 10 µg/l
- Cadmium (Cd): 0,5 µg/l
- Blei (Pb): 10 µg/l
- Quecksilber (Hg): 0,2 µg/l
- Ammonium (NH₄): 0,5 mg/l
- Chlorid (Cl): 250 mg/l
- Sulfat (SO₄): 250 mg/l
- Summe aus Tri- und Tetrachlorethen: 10 µg/l

Die Grundwasseranalysen im Rahmen des Monitorings (vierteljährlich) aus dem bestehenden Steinbruch sowie die Analysen der Quellen am Plettenberghang zeigen keine chemischen Auffälligkeiten. Die Schwellenwerte der GrwV werden unterschritten.

Bezüglich der für eine Prüfung der Verschlechterung des chemischen Zustands relevanten und oben genannten einzelnen Schadstoffe gemäß GrwV werden keine Überschreitungen der Schwellenwerte im Rahmen des Vorhabens prognostiziert. Das Verschlechterungsverbot wird eingehalten.

9.2.2 Oberflächenwasserkörper

Es entstehen durch die Maßnahmen und die Ableitung von Wasser aus den Becken bis zu 20 l/s keine erheblichen Auswirkungen auf den Abfluss und die Beschaffenheit des Waldhausbaches und damit auch nicht des Oberflächenwasserkörpers Schlichem. Über die Becken wird ein Teil des Plettenbergs entwässert, der zuvor bereits

weitgehend zum natürlichen Einzugsgebiet des Waldhausbaches gehörte. Die Vergrößerung des Einzugsgebietes des Waldhausbaches durch den Steinbruch um etwa 0,15 km² (= 4,5 %) ist nicht erheblich und führt nicht zu einer Verschlechterung der Abflussverhältnisse. Die Wasserableitung erfolgt zudem mit einer Drossel, so dass die Abflussspitzen aus dem Steinbruch durch die Becken gekappt werden. Da die Grundwasserneubildung und die Grundwasserstände sowie das Grundwasserströmungsfeld unterhalb der Abbaufäche in den Impressamergeln nicht relevant verändert werden, so ergeben sich auch keine erheblichen Veränderungen der abfließenden Grundwassermengen und der daran gebundenen Quellschüttungen.

Daraus folgt, dass das Vorhaben nicht dazu führt, dass die Bewirtschaftungsziele nach den §§ 27 und 44 des WHG für die Oberflächengewässer verfehlt werden (§ 4 Abs. 2 Nr. 2 a GrwV). Auch wird sich der Zustand für die Oberflächengewässer, die mit dem Grundwasserkörper über die Quellen am Plettenberg in hydraulischer Verbindung stehen, im Sinne von § 3 Nummer 8 des WHG nicht signifikant verschlechtern (§ 4 Abs. 2 Nr. 2 b GrwV).

9.2.3 Kontrolle

Eine Kontrolle und Überwachung erfolgen mit Hilfe des Monitorings. Im Rahmen dessen werden die Grundwasserstände und Abflussmengen mittels Datenloggern kontinuierlich erfasst (s. Kap. 10). Es erfolgt eine regelmäßige Beprobung der Grundwassermessstellen, des Absetzbeckens sowie der Quellen am Hang des Plettenbergs. Die Quellschüttung wird in ihrer Menge sowie in ihrem chemischen Zustand messtechnisch überwacht. Die Einleitwassermenge aus dem Becken-Außen in den Waldhausbach wird ebenfalls aufgezeichnet.

10 Monitoring

Die Anlagen zur Regenwasserableitung werden im Rahmen des bestehenden Monitorings mit überwacht. Diese Messungen umfassen:

- Messung der Wasserstände in den Becken über Datenlogger im 1h-Turnus
- Kontinuierliche Messung der Abflussmenge aus dem Becken-Außen über die Rohrleitung zum Waldhausbach
- Probenahme von Wasser aus dem Becken–Außen und chemische Analytik mehrmals im Jahr,
- Messung der Grundwasserstände im Steinbruch über Datenlogger im 1h-Turnus
- Probenahme von Grundwasser aus den Grundwassermessstellen im Steinbruch und chemische Analytik 4x im Jahr (Quartalsweise)

Dieses Monitoring wird fortgesetzt.

Zur Messung der Regenmenge auf dem Plettenberg wurde im Steinbruch direkt am Becken-Außen im Juli 2023 eine Wetterstation in Betrieb genommen, die kontinuierlich die Regenmenge und die Temperatur aufzeichnet. Mit den Daten aus dieser Wetterstation lässt sich in Zukunft beobachten, welche Verzögerung zwischen einem Regenfalle und der Befüllung der Wasserbecken besteht. Darüber hinaus lassen sich mit der Wetterstation Starkregenereignisse erkennen, sodass seitens der Firma Holcim entsprechend reagiert werden kann.