



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

Steinbruch Steltenberg
Hydrogeologisches Gutachten
zur Abbauerweiterung

Projekt Nr.: 221103

Harsum,
29.07.2022

Auftraggeber:

HOHENLIMBURGER KALKWERKE GMBH
Oeger Straße 39
58119 Hagen

Gutachter:

DR. KÖHLER & DR. POMMERENING GMBH
Beratende Geologen, Hydrogeologen und Ingenieure
Am Katzenbach 2
31177 Harsum



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	8
2	Bestehender und geplante Abbau im Steinbruch Steltenberg	11
2.1	Bestehender Steinbruch und aktuelle Wasserhaltung	11
2.2	Beschreibung des beantragten Abbauvorhabens	13
3	Untersuchungsraum	17
3.1	Allgemeines	17
3.2	Fließgewässer und Einzugsgebiete	17
3.3	Trinkwassergewinnungsanlagen, Trinkwasserschutzgebiete und Brauchwasserbrunnen	17
3.4	Schutzgebiete Natur und Landschaft und weitere gesetzlich besonders geschützte Bereiche	18
3.5	Nutzungen in der Umgebung	18
4	Untersuchungsumfang und Datengrundlagen	19
4.1	Untersuchungsrahmen.....	19
4.2	Datengrundlagen, Untersuchungsumfang und Methodik.....	20
4.3	Grundwassermessstellen.....	21
5	Wasserhaushalt	23
5.1	Natürlicher Wasserhaushalt	23
5.2	Abfluss und Grundwasserneubildung.....	28
6	Hydrologie	30
7	Geologie	32
8	Hydrogeologie	34
8.1	Hydrogeologische Übersicht	34
8.2	Grundwasserstände	35
8.2.1	Langjährige Entwicklung der Grundwasserstände.....	36
8.2.2	Grundwasserstände 2021 bis 2022.....	38
8.2.3	Grundwasser im Massenkalk und im Steinbruch.....	39
8.2.4	Grundwasserstände in den Schiefergebieten nördlich und südlich vom Massenkalk.....	45



8.2.5	Grundwasserstände in den quartären Lennekiesen und Wasserstand der Lenne.....	47
8.3	Hydrogeologische Kennwerte	48
8.4	Grundwasserströmungsverhältnisse	50
8.5	Quellen	53
8.6	Hydrochemie.....	53
9	Hydrogeologisches Modell.....	59
10	Numerisches Grundwasserströmungsmodell	62
10.1	Modellkonzept und Abgrenzung Modellgebiet.....	62
10.2	Modellaufbau	63
10.2.1	Diskretisierung horizontal – Netzgitter.....	63
10.2.2	Diskretisierung vertikal – Schichtaufbau.....	64
10.2.3	Randbedingungen – Modellrand	65
10.2.4	Grundwasserneubildung	65
10.2.5	Grundwasserentnahme im Steinbruch	65
10.2.6	k_f -Wert Verteilung.....	66
10.2.7	Räumliche Verteilung des Porenvolumens.....	67
10.2.8	Stationäre Modell-Kalibrierung	67
10.2.9	Wasserbilanz Modellgebiet	69
10.3	Zusammenfassende Bewertung des Grundwassermodells.....	69
11	Hydrogeologische Auswirkungen des Vorhabens	71
11.1	Wasserhaltung und Grundwasserentnahmemenge.....	71
11.2	Auswirkungen auf die Grundwasserstände und das Grundwasserströmungsfeld	74
11.3	Auswirkungen auf die Deckschichten oberhalb des Grundwassers.....	78
11.4	Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	78
11.5	Auswirkungen auf den Chemismus von Grundwasser und Oberflächengewässer	78
11.6	Auswirkungen auf die Fließgewässer und die Ökologie	79
11.7	Auswirkungen auf Grundwassernutzung und Trinkwassernutzung	79



11.8	Auswirkungen auf andere Flächen und Nutzungen außerhalb vom Steinbruch....	80
11.9	Auswirkungen auf Naturschutz und FFH-Gebiete	80
11.10	Zusammenwirken der Auswirkungen des Vorhabens mit den Auswirkungen anderer bestehender, zugelassener oder geplanter Vorhaben oder Tätigkeiten ..	80
11.11	Auswirkungen auf das Klima und Anfälligkeit des Vorhabens gegenüber den Folgen des Klimawandels	80
11.12	Auswirkungen auf den Hochwasserabfluss der Oberflächengewässer.....	81
11.13	Auswirkungen des Vorhabens nach Einstellung des Kalksteinabbaus	81
11.13.1	Grundwasserstände und Grundwasserströmungsfeld	81
11.13.2	Verbleibendes Gewässer	84
12	Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie.....	86
12.1	Identifizierung und Beschreibung der betroffenen Wasserkörper	86
12.1.1	Oberflächenwasserkörper	86
12.1.2	Grundwasserkörper.....	89
12.2	Auswirkungen des Vorhabens.....	93
12.2.1	Auswirkungen des Vorhabens auf die Oberflächenwasserkörper und Prüfung des Verschlechterungsverbots.....	93
12.2.2	Auswirkungen des Vorhabens auf die Grundwasserkörper und Prüfung des Verschlechterungsverbots.....	93
13	Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen.....	95
14	Literaturverzeichnis	97



Abbildungsverzeichnis

Abb. 5-1: Jahressummen des Niederschlages an der Station Iserlohn-Letmathe in den Jahren 2010 – 2021	24
Abb. 5-2: Monatssummen des Niederschlags im Jahr 2019 an der Station Iserlohn-Letmathe	25
Abb. 5-3: Monatssummen des Niederschlags im Jahr 2020 an der Station Iserlohn-Letmathe	26
Abb. 5-4: Monatssummen des Niederschlags im Jahr 2021 an der Station Iserlohn-Letmathe	26
Abb. 6-1: Ganglinie des Wasserstandes und des Abflusses am Lenne- Pegel Hagen-Hohenlimburg für das Jahr 2021 [Datenquelle: Talsperrenleitzentrale des Ruhrverbandes].....	31
Abb. 8-1: Langjährige Grundwasserstandsganglinie der Messstelle AHM im Massenkalk östlich des Steinbruches Steltenberg	37
Abb. 8-2: Langjährige Grundwasserstandsganglinie der Messstelle BL 5 im Massenkalk südwestlich vom Steinbruch Steltenberg.....	37
Abb. 8-3: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk, in den hangenden Flinzschiefern , in den liegenden Oeger-Schichten und in den Lennekiesen bei Hagen-Hohenlimburg ab Januar 2021	39
Abb. 8-4: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk bei Hagen-Hohenlimburg ab 2017	42
Abb. 8-5: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk bei Hagen-Hohenlimburg ab 2021	42
Abb. 8-6: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk bei Hagen-Hohenlimburg während und nach dem Starkregen- und Hochwasserereignis am 14.7.2021	43
Abb. 8-7: Grundwasserganglinie B 8/2021 in den hangenden Flinzschiefern	46
Abb. 8-8: Grundwasserganglinie B 9/2021 in den Oeger/Saat-Schichten südlich vom Massenkalk	47
Abb. 8-9: Grundwasserstand Brunnen Bilstein in den quartären Lennekiesen, BL 5 im Massenkalk sowie Wasserstand der Lenne am Pegel Hagen-Hohenlimburg.....	48
Abb. 8-10: Leitfähigkeits-Tiefenprofile der Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet.....	58
Abb. 10-1: Modellgebiet	63



Abb. 10-2: Verteilung der k_f -Werte im Modellgebiet – Layer 2.....	66
Abb. 10-3: Streudiagramm für alle im Kalibriervorgang verwendeten Grundwassermessstellen.....	68

Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1: Kennwerte der Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet.....	22
Tab. 5-1: Kenndaten der nächstgelegenen Wetterstationen	23
Tab. 5-2: Hydrologische Bilanzgrößen für das Untersuchungsgebiet.....	29
Tab. 6-1: Abflusskennwerte der Lenne für den Zeitraum 1978 bis 2021 am Lenne- Pegel Hagen-Hohenlimburg [Datenquelle: Talsperrenleitzentrale des Ruhrverbandes].....	31
Tab. 7-1: Stratigraphie und Lithologie der Schichtfolge im Bereich Steinbruch Steltenberg und der Umgebung	33
Tab. 8-1: Hydrogeologische Einstufung der Schichtenfolge im Bereich Steltenberg	35
Tab. 8-2: Statistische Auswertung der Grundwasserstände 2002 – 2021	38
Tab. 8-3: Statistische Auswertung der Grundwasserstände 2018 – 2021	45
Tab. 8-4: Ergebnisse der hydraulischen Versuche an den Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet.....	50
Tab. 8-5: Ergebnisse der hydraulischen Versuche an der Tiefbohrung im Massenkalk im Steinbruch Steltenberg (Auffüllversuche, Wiederanstiegsversuche).....	50
Tab. 8-6: Ergebnisse der Grundwasseranalytik (1).....	56
Tab. 8-7: Ergebnisse der Grundwasseranalytik (2).....	57
Tab. 10-1: Schematische Übersicht über den Modellaufbau	64
Tab. 10-2: Gegenüberstellung der gemessenen und anhand des Modells berechneten hydraulischen Druckhöhen in den Referenzmessstellen.....	68
Tab. 10-3: Modellberechnete Grundwasserbilanz bei der Kalibrierung	69
Tab. 11-1: Prognose der mittleren Sumpfungswassermengen im Steinbruch Steltenberg	73
Tab. 11-2: Sumpfungswassermengen im Steinbruch Steltenberg mit Zuschlag für „nasse Jahre“.....	73



Anlagen

- Anlage 1: Übersichtskarte
- Anlage 2: Geologische Karte
- Anlage 3: Hydrogeologische Karte – mittlere bis niedrige Grundwasserstände
13.06.2022
- Anlage 4: Hydrogeologische Karte – niedrige Grundwasserstände 23.12.2020
- Anlage 5: Hydrogeologische Karte – hohe Grundwasserstände 28.02.2022
- Anlage 6: Hydrogeologisches Profil AA'
- Anlage 7: Hydrogeologische Profile BB' und CC'
- Anlage 8: Hydrogeologische Karten – Prognosen zum Grundwasserstand
 - Anlage 8-1: Prognose Grundwassergleichenplan mit Absenkungsbereich und Grundwassereinzugsgebiet bei Abbau auf +95 mNN
 - Anlage 8-2: Prognose Grundwassergleichenplan mit Absenkungsbereich und Grundwassereinzugsgebiet bei Abbau auf +55 mNN
 - Anlage 8-3: Prognose Grundwassergleichenplan mit Absenkungsbereich und Grundwassereinzugsgebiet bei Abbau auf +15 mNN
- Anlage 9: Hydrogeologische Karte – Prognose Grundwasserstände nach Abbauende und Ende Wiederanstieg
- Anlage 10: Ausbauzeichnungen Grundwassermessstellen
- Anlage 11: Dokumentation der hydraulischen Versuche
- Anlage 12: Prüfberichte Grundwasseranalytik
- Anlage 13: Darstellung der Einleitstelle in die Lenne



1 Einführung

Die HOHENLIMBURGER KALKWERKE GMBH (HKW) betreibt in der nordrhein-westfälischen Stadt Hagen den Kalksteinbruch Steltenberg. Hier wird devonischer Massenkalk abgebaut und im Werk vor Ort zu Kalkstein-Produkten für die Bauindustrie verarbeitet.

Die Lage des Steinbruchs ist auf einer Übersichtskarte in Anlage 1 dargestellt. Vor dem Hintergrund einer geplanten Abbauerweiterung des Steinbruchs zur Tiefe hin wurde die DR. KÖHLER & DR. POMMERENING GMBH von der HOHENLIMBURGER KALKWERKE GMBH beauftragt, ein hydrogeologisches Fachgutachten für dieses Vorhaben zu erstellen. Am 02.07.2021 fand in Hagen ein Scoping-Termin zur Steinbrucherweiterung in die Tiefe statt, bei dem der Untersuchungsumfang und der Untersuchungsraum mit den zuständigen Behördenvertretern der Stadt Hagen besprochen wurde.

Das hydrogeologische Gutachten folgt demnach folgenden zentralen Untersuchungszielen und -inhalten:

- Beschreibung des hydrogeologischen Ist-Zustandes.
 - Nachvollziehbare Dokumentation der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse für die Vorhabensfläche und deren Umfeld. Dazu zählen vor allem der hydrogeologische Aufbau (Geologische Schichten, Grundwasserleiter, Grundwassergeringleiter), die Grundwasserstände und die Grundwasserströmungsverhältnisse bei niedrigen, durchschnittlichen und hohen Grundwasserständen anhand belastbarer Daten (Grundwassermessstellen), sowie weitere relevante hydrogeologische Randbedingungen, wie Beschaffenheit von Grundwasser und Oberflächengewässern sowie der Wasserhaushalt.
 - Untersuchungen und Auswertungen zu den hydrologischen Zuständen im Massenkalk, in den liegenden und hangenden Schichten und im Porengrundwasserleiter.
 - Berechnungen zu den maximal zu erwartenden Grundwasserständen, der Schwankungsamplitude und der Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers (im Modell angesetzt für Prognose zur Wasserhaltung).
 - Im Umfeld des Vorhabens existierende Grundwassernutzungen und die Grundwasserabhängigkeit sämtlicher Oberflächengewässer werden erfasst und beschrieben.



- Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen der Abbauerweiterung auf:
 - Grundwasserstände und Grundwasserströmungsverhältnisse (Reichweite der Absenkung),
 - Grundwasserbeschaffenheit,
 - Oberflächengewässer,
 - Wasserhaushalt,
 - Trinkwassergewinnungs- und Schutzgebiete, andere Grundwassernutzer (Trink- und Brauchwassernutzungen Dritter),
 - geschützte Biotope und FFH-Lebensraumtypen, die vom Grundwasser oder Oberflächengewässern abhängig sind (Ökologie im Umfeld des Vorhabens).
- Mögliche Wechselwirkungen der Auswirkungen mit anderen Schutzgütern.
- Angaben zur maximal möglichen Absenktiefe des Grundwasserspiegels in Bezug auf die mögliche Endabbautiefe des Steinbruchs.
- Den Absenktrichter der Grundwasserentnahme und die Änderung der Fließrichtung des Grundwassers, Veränderungen an der Grundwasserscheide und die Wassernutzungsrechte Dritter werden für die verschiedenen Ausbauzustände u.a. in Lageplänen dargestellt.
- Fachbeitrag zur WRRL mit Zustandsbeschreibung des Grundwasserkörpers (momentaner Zustand und zukünftige Auswirkungen), insbesondere hinsichtlich des Verschlechterungsverbots und Verbesserungsgebots nach der Wasserrahmenrichtlinie für beide Grundwasserkörper (276_13 und 276_10).
- Die zur Erreichung des Absenkzieles erforderlichen Fördermengen werden berechnet. Für die Entnahme ist ein Antrag gem. § 8 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) erforderlich, der zusammen mit den Planfeststellungsunterlagen gem. § 68 WHG einzureichen ist. Auch für die spätere Einleitung des Sumpfungswassers ist ein Antrag gem. § 8 WHG vorzulegen, in diesem sind auch die hydrochemischen Auswirkungen der Einleitung auf die Lenne darzustellen.

Im vorliegenden hydrogeologischen Gutachten werden in Kap. 2 die Standortverhältnisse und der Untersuchungsraum beschrieben. In Kap. 3 wird das beantragte Vorhaben kurz beschrieben. Der Untersuchungsumfang und die Datengrundlagen sind in Kap. 4 dargestellt. In den Kap. 5 bis 9 werden die bestehenden Verhältnisse betreffend



Wasserhaushalt, Geologie und Hydrogeologie beschrieben. In Kap. 10 wird das numerische Grundwassermodell erläutert, das für die Prognoseberechnungen der Grundwasserauswirkungen des Vorhabens genutzt wurde. Die Auswirkungen des Tiefenabbaus und des nach Abbauende entstehenden Gewässers auf den Wasserhaushalt, die Grundwasserstände und –strömungsverhältnisse, die Grundwasserchemie und die vom Grundwasser abhängigen Umweltbereiche sind in Kap. 12 beschrieben. Kap. 13 umfasst einen Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie zu den Oberflächengewässern und Grundwasserkörpern, die vom Vorhaben betroffen sind.



2 Bestehender und geplante Abbau im Steinbruch Steltenberg

2.1 Bestehender Steinbruch und aktuelle Wasserhaltung

Der Steinbruch Steltenberg wird bereits seit dem Jahr 1905 von der HOHENLIMBURGER KALKWERKE GMBH betrieben. Dieser liegt im Dreieck zwischen dem Hagener Stadtteil Hohenlimburg im Nordwesten, dem Iserlohner Stadtteil Letmathe im Nordosten und dem Hohenlimburger Ortsteil Oege im Süden.

Bei dem im Steinbruch abgebauten Kalkstein handelt es sich um einen überwiegend massigen, untergeordnet auch bankigen Korallen- und Stromatoporenkalk. Dieser über 600 m mächtige Massenkalk aus dem Mitteldevon wird im Norden zum Hangenden hin von einer Wechsellagerung aus schwarzen Tonschiefern und Kalksteinen begrenzt (Flinzschiefer). Im Liegenden im Süden befinden sich die grünen, mergeligen Tonschiefer der Oeger Schichten.

Im Jahr 2018 wurde eine Genehmigung zur Flächenerweiterung in Richtung Osten bis an die Grenze zum Iserlohner Stadtgebiet bewilligt, sodass die Fläche des Kalksteinabbaus insgesamt nun 28 ha (0,28 km²) beträgt. Die genehmigte Abbautiefe wird in der Altgenehmigung mit +123 mNN angegeben, mit dem Vorbehalt, dass der Abbau oberhalb vom Grundwasser erfolgt. Für die Fläche der Osterweiterung von 2018 gilt eine Abbautiefe von +165 mNN. Der Abbau erfolgt im Trockenabbauverfahren, derzeit bis zur +135 mNN Sohle im alten Abbauareal. Auf der genehmigten Fläche der Osterweiterung liegt die unterste Abbausohle aktuell nicht tiefer als +200 mNN.

Im Westen des Abbaugbietes wird ein alter Abbau als Klärteich genutzt. Diese alte, ehemalige Abbaufäche hat eine Größe von etwa 12 ha (0,12 km²). Die ehemalige tiefste Abbausohle dort im Bereich des Klärteiches liegt bei +99 mNN. Heute ist die Grube mit mehr als 30 m abgesetztem Sediment aus der Kalksteinwäsche gefüllt. Darüber steht eine Wasserfläche von etwa 6 ha mit einem Wasserspiegel von etwa +146 mNN. Die Wasserfläche im Sedimentationsbecken ist hydraulisch vom Grundwasser, das dort deutlich tiefer und bei etwa +120 mNN liegt, getrennt.

Für den Brauchwasserkreislauf auf dem Gelände des Steinbruchs Steltenberg werden sowohl aus der Lenne, als auch aus einem Betriebsbrunnen Wasser entnommen. Die folgenden Wasserrechtlichen Erlaubnisse bestehen:

- Für die Wasserentnahme aus der Lenne liegt eine Wasserrechtliche Erlaubnis der Stadt Hagen über 300.000 m³/a aus dem Jahr 2011 vor [Stadt Hagen, 2011]. Diese erlaubt die „Wasserentnahme aus der Lenne mittels einer Pumpe, um es



im Betrieb zur Speisung des Betriebswasserkreislauf für die Steinwäsche zu gebrauchen und teilweise zu verbrauchen“.

- Aus dem Brunnen auf dem Gelände des Kalksteinwerkes dürfen mit der Wasserrechtlichen Erlaubnis aus dem Jahr 2017 [Stadt Hagen, 2017] bis zu 200.000 m³/a (1.000 m³/d, 100 m³/h, 27,8 l/s) aus einem Betriebsbrunnen entnommen werden, „in den Klärteich einzuleiten und für betriebliche Zwecke zu verbrauchen“. Aktuell erfolgt hier keine Entnahme.
- Des Weiteren besteht eine Wasserrechtliche Erlaubnis für die Entnahme von maximal 374.000 m³/a aus dem Betriebsbrunnen B, um es der Kalkwäsche zuzuführen [Stadt Hagen, 2015].

Nach den Wasserrechtlichen Erlaubnissen aus den Jahren 2011, 2015 und 2017 [Stadt Hagen] ergeben sich rechnerisch folgende maximalen Wasserentnahmemengen:

1. Flusswasserentnahme aus der Lenne: 300.000 m³/a
 2. Brunnenwasserentnahme im Steinbruch: 200.000 m³/a
 3. Brunnenwasserentnahme aus Brunnen B: 374.000 m³/a
- Gesamt: 874.000 m³/a

Aus dem Steinbruch wird aktuell kein Grundwasser über den Brunnen (B 1/2017) entnommen. Die beiden anderen Entnahmestellen werden im Rahmen der Genehmigung im Brauchwasserkreislauf ständig genutzt.

Der **Brauchwasserkreislauf** umfasst folgende Teilbereiche und Abläufe:

- Die Kalksteinwäsche im Werk.
- Weitere Nutzungen von Wasser im Werk (z.B. zur Staubbindung).
- Der Klärteich, in den das Sediment behaftete Wasser nach der Gesteinwäsche eingeleitet wird. Dort setzt sich an der Einleitungsseite das Sediment in Form eines Spülstrandes ab. Auf der gegenüber liegenden Seite sammelt sich das geklärte Frischwasser.
- Entnahme des geklärten Wassers aus dem Klärteich und Rückführung als Brauchwasser in den Betrieb (Wiederverwendung zur Kalksteinwäsche).



- Überschüssiges Wasser kann aus dem Klärteich in das Grundwasser des Kalkzuges versickern.
- Wasserverluste im Kreislauf entstehen durch Verdunstung, durch an den Kalksteinen anhaftendes Wasser sowie durch geringe Versickerungsverluste aus dem Klärteich.
- Diese Verluste im Brauchwasserkreislauf werden durch die Entnahme aus dem Brunnen B und aus der Lenne ausgeglichen.

2.2 Beschreibung des beantragten Abbauvorhabens

Um die Qualität des gewonnenen Kalksteins zu erhalten, wird eine Vertiefung des Steinbruchs innerhalb der genehmigten Grenzen beantragt. Die Erweiterung des Steinbruchs soll sich von der bisherigen genehmigten Abbautiefe von +123 mNN im Alt-Abbau bzw. +165 mNN im östlichen Erweiterungsgebiet im Endabbau auf eine Tiefe von +15 mNN erstrecken. Der Klärteich wird weiter als Sedimentationsbecken genutzt und ist nicht Teil des Antrags.

Die Grundwasseroberfläche im Bereich des Steinbruchs liegt im Mittel bei etwa +131 mNN bis +134 mNN. Sie muss im Zuge der Abbaueintiefung entsprechend des Abbaufortschrittes durch die Wasserhaltung abgesenkt werden, um einen Abbau im Trockenen zu ermöglichen. Die aktuell tiefste Abbausohle liegt bei etwa +135 mNN und damit oberhalb des Grundwassers. Die Abbausohlen werden etwa in 10 m-Schritten eingetieft. Infolge der geplanten Grundwasserabsenkung im Steinbruch wird sich ein Absenkungstrichter ausbilden.

Für den Abbau zur Tiefe hin wird daher eine **offene Wasserhaltung mit einem Pumpensumpf im Steinbruch** installiert. Diese sieht vor, das dem Steinbruch zufließende Wasser (abfließendes Niederschlagswasser und zufließendes Grundwasser bei Abbau unterhalb der natürlichen Grundwasseroberfläche) abzupumpen und zum Teil einer Brauchwassernutzung zuführen. Diese Brauchwassernutzung betrifft weiterhin vorrangig die Aufbereitung (Gesteinswäsche) und auch die Befeuchtung der Fahrwege zur Verhinderung einer übermäßigen Staubentwicklung.

Die Wasserentnahme im Steinbruch erfolgt jeweils auf der tiefsten Abbausohle aus einem Sumpfbecken, das durch Sprengungen im geklüfteten Gestein angelegt wird. Dieses wassergefüllte Becken besitzt eine Ausdehnung von mindestens etwa 10 m x 10 m, bei etwa 2 m Tiefe. Die Hebung des Wassers erfolgt mit einer Schwimmpumpe aus dem Becken auf der tiefsten Abbausohle. Mit dem Abbaufortgang muss



der Pumpensumpf jeweils auf die aktuell tiefste Abbausohle verlegt werden. Die genaue Lage des Pumpensumpfes im Steinbruch kann daher im Vorfeld nicht festgelegt werden. Der Pumpensumpf mit der Wasserentnahmestelle wird aber in jedem Fall innerhalb der Grenzen der beantragten Abbauerweiterung liegen. Mit zunehmender Abbautiefe wird auch mindestens ein weiteres temporäres Becken im Kalkstein notwendig, das als Zwischenbecken zum Abpumpen und weiterleiten des gehobenen Wassers dient. Auch dieses zweite Becken muss mit dem Abbaufortgang verlegt werden, bleibt aber auch innerhalb der Abbaugrenze.

Aus dem Sumpfungsbecken wird das gehobene Grundwasser und Niederschlagswasser über die Wasserhaltung (Schwimmpumpe und Rohrleitung) der Nutzung im Brauchwasserkreislauf des Betriebes zugeführt und wird so Teil des Brauchwasserkreislaufes. Das Sumpfungswasser kann dort die Verlustwassermengen (durch Verdunstung, Versickerung, Gesteinsanhaftung bei der Wäsche, Befeuchtung der Wege, etc.), ergänzend zu der Wasserentnahme aus der Lenne oder dem Brunnen B, ausgleichen. Zukünftig wird bei steigenden Sumpfungswassermengen über die Wasserentnahme im Pumpensumpf die Wasserentnahme aus der Lenne oder dem Brunnen ersetzt werden.

Der Brauchwasserkreislauf wird zukünftig durch das entnommene Grundwasser aus dem Pumpensumpf gespeist, sofern der Zufluss hierfür ausreichend groß ist. Für eine Übergangszeit wird noch eine Wasserentnahme aus der Lenne benötigt.

Das überschüssige gehobene Grundwasser, das nicht im Betrieb verbraucht wird, wird zukünftig in die Lenne eingeleitet. Die **Einleitstelle in die Lenne** wird im Bereich der bestehenden Entnahmestelle eingerichtet. So findet anstelle der bisherigen Wasserentnahme aus der Lenne nach einer Übergangszeit zukünftig eine Einleitung von Grundwasser in die Lenne über die bestehende Leitungstrasse statt. Das Einleitbauwerk wird zuvor errichtet. Die bestehenden und weiter verwendbaren Anlagen, wie die Leitungen, werden weiter genutzt. Die zukünftige Einleitstelle in die Lenne an der heutigen Entnahmestelle wird in der Anlage 13 beschrieben und weist folgende Kenndaten auf:

- Gemarkung Hohenlimburg, Flur 15, Gewässerkilometer Lenne 9,856
- Rechtswert 34 00 817, Hochwert 56 91 580

Die Zeitangabe, wann die Entnahme aus der Lenne nicht mehr benötigt wird und ab wann eine Einleitung in die Lenne erfolgt, sind von der Abbauplanung, dem Abbaufort-



schrift und dem Grundwasserzustrom abhängig. Der mittlere Wasserzustrom zur offenen Wasserhaltung muss auch in Trockenphasen konstant höher sein, als die derzeitige Entnahmemenge aus der Lenne, um diese ersetzen zu können. Das wird voraussichtlich erst bei Abbautiefen unterhalb von +110 mNN der Fall sein, was derzeit mit einem Zeitraum von mehr als 10 Jahren nach der Erweiterungsgenehmigung angegeben werden kann.

Das beantragte Abbau-Vorhaben umfasst damit die folgenden, die Hydrogeologie und das Schutzgut Wasser betreffenden Maßnahmen und wasserrechtlichen Tatbestände:

- Abbau-Erweiterung des bestehenden Steinbruchs zur Tiefe innerhalb der Genehmigungsgrenze mit einer Fläche von 40,1 ha bis auf eine Tiefe von +15 mNN im Trockenabbau. Eine flächenhafte Erweiterung des Abbaubereiches ist nicht vorgesehen.
- Entnahme des zufließenden Wassers (Grundwasser, Niederschlagwasserabfluss) über einen Pumpensumpf und offene Wasserhaltung im Steinbruch. Ziel ist die temporäre Absenkung des Grundwassers im Abbaubereich.
- Einleitung des im Pumpensumpf abgepumpten Wassers in den Klärteich und (später) Einleitung in die Lenne, mit weiterhin Nutzung des Klärteiches als Zwischenspeicher.
- Nutzung eines Teils des über den Pumpensumpf entnommenen Grundwassers und Niederschlagswassers als Brauchwasser im Kalkwerk.

Für die Wasserentnahme im Steinbruch und die Einleitung in die Lenne, die für den Gesteinsabbau bis +15 mNN erforderlich ist, werden folgende Wassermengen beantragt:

62 l/s, 223 m³/h, 1.955.000 m³/Jahr

Das entnommene Wasser wird vor der Einleitung in die Lenne zu einem Teil zu betrieblichen Zwecken genutzt.

Die Herleitung der beantragten Wassermenge sowie die Auswirkungen der Abbauerweiterung mit den beschriebenen Maßnahmen der Wasserhaltung (Entnahme und Einleitung) auf die Bereiche Hydrogeologie und das Schutzgut Wasser werden in Kapitel 11 beschrieben und bewertet.



Folgende wasserrechtlichen Genehmigungstatbestände sind genehmigt (s. Kap. 2.1) und nicht Teil des hier betrachteten Verfahrens:

- Die Entnahme von Grundwasser aus dem Steinbruch über einen Brunnen,
- die Entnahme von Grundwasser aus Brunnen B,
- die Entnahme von Oberflächenwasser aus der Lenne,
- die Nutzung des Klärteiches zur Entnahme von Klarwasser und Einleitung von sedimentbehaftetem Wasser.

Mögliche Wechselwirkungen dieser genehmigten Entnahmen und Einleitungen mit den beantragten wasserrechtlichen Tatbeständen werden im Zuge der Bewertung der Auswirkungen in Kap. 11 ebenfalls mit betrachtet.

Wenn der genehmigte Abbauendzustand erreicht ist, werden alle Anlagen zur Wasserhaltung zurückgebaut. Der Grundwasserzustrom und der Niederschlagswasserabfluss führen dazu, dass sich im Steinbruch ein Gewässer bildet, in dem sich ein Wasserspiegel bei etwa 131 bis 134 mNN einstellt. Das wasserrechtliche Planfeststellungsverfahren führt letztlich zur Herstellung eines dauerhaften Gewässers.



3 Untersuchungsraum

3.1 Allgemeines

Das Untersuchungsgebiet ist in Anlage 1 dargestellt. Der Steinbruch Steltenberg liegt im Stadtgebiet von Hagen, zwischen dem Hagener Stadtteil Hohenlimburg im Nordwesten, dem Iserlohner Stadtteil Letmathe im Nordosten und dem Hohenlimburger Ortsteil Oege im Süden.

Der hydrogeologische Untersuchungsraum umfasst folgende Bereiche:

- Die Fläche des Steinbruches Steltenberg und des Kalksteinvorkommens,
- den devonischen Massenkalkzug, begrenzt von der Lenne-Querung im Westen und im Osten,
- die südlich und nördlich an den Kalkzug angrenzenden Schiefergebiete,
- die Grundwasser- und Oberflächenwasser-Bereiche, die durch den Abbaubetrieb hydrogeologisch in relevanter Weise beeinflusst werden können,
- Einzugsgebiete umliegender Quellen,
- Wassergewinnungs- und Wasserschutzgebiete im Umfeld,
- Schutzgebiete Natur und Landschaft hinsichtlich hydrogeologischer Auswirkungen.

Die Ausdehnung des Untersuchungsraumes ist auf der Anlage 1 dargestellt. Der Untersuchungsraum wird im Folgenden näher beschrieben.

3.2 Fließgewässer und Einzugsgebiete

Den Hauptvorfluter im Untersuchungsgebiet bildet die Lenne, welche den Massenkalkzug mit dem Steinbruch Steltenberg östlich und westlich quert sowie südlich passiert. Diesem Gewässer fließen im Südosten bis Südwesten des Steinbruchs mehrere Bäche zu, welche hydraulisch nicht mit dem Massenkalk in Verbindung stehen.

3.3 Trinkwassergewinnungsanlagen, Trinkwasserschutzgebiete und Brauchwasserbrunnen

Im Untersuchungsgebiet befinden sich keine amtlich abgegrenzten Trinkwassergewinnungs- oder Trinkwasserschutzgebiete. Im Bereich der Industriebetriebe im Lennetal gibt es einige Betriebsbrunnen für Brauchwasser. Diese sind auf der Anlage 2 markiert.



3.4 Schutzgebiete Natur und Landschaft und weitere gesetzlich besonders geschützte Bereiche

Auf Anlage 1 sind das Naturschutzgebiet und das Natura 2000 Gebiet im Nahbereich des Steinbruchs Steltenberg dargestellt. Das Waldgebiet westlich des Steinbruchs bis zur Lenne, in welchem sich ebenfalls ein früherer Steinbruch und ehemaliges Sedimentationsbecken befindet, bildet das Naturschutzgebiet „Steltenberg“.

Linksseitig der Lenne, im Westen des Steinbruchs, liegen mit den „Kalkbuchenwälder[n] bei Hohenlimburg“ ein Natura 2000 Schutzgebiet.

Die Landschaftsschutzgebiete nehmen große Teile des Untersuchungsraumes ein. Die Lage wird im Folgenden beschrieben, eine Kartendarstellung erfolgt nicht.

Der Steinbruch selbst sowie das umliegende Waldgebiet wird vom Landschaftsschutzgebiet „Steltenberg, Oege“ überlagert. Ein weiterer Teil dieses Schutzgebietes befindet sich in einem Waldstück im Westen des Steinbruchs. Östlich daran, auf Iserlohner Stadtgebiet, grenzt das Landschaftsschutzgebiet „Iserlohn – Typ A“ an, welches die landwirtschaftlich genutzte Fläche sowie die umgebenden Waldflächen umschließt. Im Süden grenzen beide Schutzgebiete an die Ortschaft Oege, im Norden an Elsey auf Hagener Gebiet und Letmathe auf Hohenlimburger Gebiet.

Beginnend an der Stadtgrenze zu Iserlohn, zieht sich entlang der Lenne in Richtung ihrer Mündung in die Ruhr das Landschaftsschutzgebiet „Lenne-Niederung“. Das Waldgebiet südlich der Lenne ist in mehrere Landschaftsschutzgebiete unterteilt.

3.5 Nutzungen in der Umgebung

Der Steinbruch Steltenberg ist im Westen und Norden von Waldgebieten umgeben. Im Osten werden die Flächen landwirtschaftlich genutzt. Im Süden des Steinbruchs schließen sich das Betriebsgelände der HOHENLIMBURGER KALKWERKE GMBH, mehrere Industriegelände sowie ein Wohngebiet an. Im Untersuchungsgebiet sind keine Altlasten bekannt.



4 Untersuchungsumfang und Datengrundlagen

4.1 Untersuchungsrahmen

Die Untersuchungsziele und der Untersuchungsrahmen des hydrogeologischen Gutachtens umfassen folgende Punkte:

Darstellung des Ist-Zustandes im Untersuchungsraum, mit:

- Wasserhaushalt (Niederschlag, Verdunstung, Abfluss, Grundwasserneubildung).
- Hydrologie
 - Fließgewässer mit Einzugsgebieten, Abflusskennwerten, Anbindung an das Grundwasser,
 - Quellen und deren Einzugsgebiete, Schüttungsverhältnisse und Beschaffenheit.
- Geologie und Hydrogeologie
 - Geologischer und tektonische Bau der Schichten,
 - Hydrogeologischer Bau (Grundwasserleiter, Grundwassergeringleiter, geohydraulische Eigenschaften),
 - Grundwasserstände und Grundwasserströmungsverhältnisse,
 - Weitere Nutzung von Grundwasser.

Bewertung der Auswirkungen einer Tiefen gerichteten Erweiterung auf das Schutzgut Wasser generell (qualitative und quantitative Auswirkungsprognose):

- Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, mit Verdunstung, Abfluss, Grundwasserneubildung.
- Auswirkungen auf das Grundwasser,
 - Grundwasserstände und Grundwasserströmungsverhältnisse (Reichweite Absenkung),
 - Grundwasserbeschaffenheit.
- Auswirkungen auf Quellen und auf Trinkwassergewinnungsanlagen, Trinkwasservorkommen (Trinkwasserschutzgebiete) und Brauchwasserbrunnen quantitative und qualitative Auswirkungen.



- Auswirkungen auf Fließgewässer (Abflussmengen, Abflussverhalten und Einzugsgebiete) – Lenne, kleinere Gewässer.
- Auswirkungen auf Naturschutzgebiete und andere Schutzgebiete „Natur und Landschaft“ mit Abhängigkeit vom Grundwasser.

Die Auswirkungen werden für die Prognosezustände während der Abbautätigkeit und nach Endabbau beschrieben und bewertet.

4.2 Datengrundlagen, Untersuchungsumfang und Methodik

Die Datengrundlagen des Gutachtens bilden neben den vorliegenden geologischen und hydrogeologischen Daten (s. Literaturverzeichnis), die hier beschriebenen, vorwiegend in den Jahren 2017 bis 2022 durchgeführten hydrogeologischen Untersuchungen, Messungen und Auswertungen. Hinzu kommen die Daten des seit 2002 bestehenden und seit 2017 verdichteten Grundwassermonitorings am Standort Steltenberg sowie vom Betrieb erhobene Daten, z.B. zur Wasserentnahme.

Zur Erstellung des hydrogeologischen Gutachtens wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Auswertung der vorliegenden Unterlagen externer Quellen (Wetterdaten, Abflussdaten Lenne, ...).
- Auswertung betrieblicher Daten.
- Auswertung langjähriger Grundwasserstandsdaten und Datenlogger-Aufzeichnungen bis 2022.
- Hydrogeologische Untersuchungen:
 - Messung der Grundwasserstände und Leitfähigkeits-Tiefenprofile an den Grundwassermessstellen,
 - Beprobung der Grundwassermessstellen und der Lenne,
 - Geohydraulische und geophysikalische Untersuchungen an der Tiefbohrung im Steinbruch (durch Fraunhofer Institut)
 - Hydraulische Versuche, Pumpversuche an den Grundwassermessstellen
 - Analytik der Wasserproben auf die Hauptionen und relevante Nebenelemente,
 - Kartierung der Trennflächen (Störungen, Klüfte) im Steinbruch,
 - Begehungen im Massenkalk und angrenzender Gebiete vor Ort, Quellkartierung.



4.3 Grundwassermessstellen

Im Untersuchungsgebiet sind insgesamt 9 Grundwassermessstellen ausgebaut, deren Lage auf der Anlage 2 dargestellt ist. Die Kenndaten zum Ausbau der Grundwassermessstellen mit einer Stichtagsmessung des Grundwasserstands vom 23.06.2022 sind in Tab. 4-1 aufgeführt.

Bereits seit 2001 bzw. 2002 bestehen folgende Messstellen im Massenkalk, welche seitdem durchgängig, mindestens monatliche Grundwasserstandsdaten liefern:

- Die Messstelle BL 5 liegt am westlichen Rand des Steinbruches und etwa 200 m östlich der Lenne.
- Die Messstelle AHM befindet sich 500 m östlich der Ostgrenze des Abbaus.

Im Jahr 2017 wurde das Messnetz um die folgenden drei Grundwassermessstellen im Massenkalk erweitert:

- Die Messstelle B 1/2017 liegt auf der Abbausohle 155 mNN im zentralen Bereich des Steinbruchs.
- Die Messstelle B 2/2017 liegt 170 m östlich der genehmigten Abbaugrenze.
- Die Messstelle B 3/2017 liegt unmittelbar am nordöstlichen Rand des genehmigten Abbaugebietes.

Im Jahr 2021 wurden zwei weitere Messstellen dem Messnetz hinzugefügt:

- Die Messstelle B 8/2021 liegt etwa 350 m nördlich der nördlichen Abbaugrenze des Steinbruchs in den Tonsteinen der Flinzschiefer (Oberdevon).
- Die Messstelle B 9/2021 liegt etwa 570 m südöstlich der südlichen Abbaugrenze des Steinbruchs in den Tonsteinen der Oeger Schichten (Mitteldevon).

Im März 2022 wurde im Steinbruch Steltenberg am nördlichen Abbaurand vom Fraunhofer IEG eine Tiefenbohrung errichtet, um zu Forschungszwecken die geologisch-tektonischen Verhältnisse und die Durchlässigkeiten im Bereich von Störungs- und Kluftsystemen zu erkunden. Die Bohrung wurde im Hammerbohrverfahren mit einer Neigung von 14,5 ° gegen die Senkrechte bis auf eine Tiefe von 220 m u. GOK abgeteuft. Im offenen Bohrloch wurden hydraulische Versuche durchgeführt, die im Zuge dieses Gutachtens auch ausgewertet wurden. Bis in eine Tiefe von 129 m u. GOK



wurde die Bohrung mit PVC Filter- und Vollrohren zu einer Grundwassermessstelle ausgebaut.

Anfang 2022 wurde der stillgelegte Betriebsbrunnen der Fa. BILSTEIN GMBH & Co. KG, in direkter Nachbarschaft zum Werk HKW als Grundwassermessstelle in den quartären Lennekiesen in Betrieb genommen. Zur regelmäßigen Aufzeichnung der Grundwasserstände wurde dort ein Datenlogger installiert.

Die Grundwassermessstellen HKW BL 5, B 1/2017, B 2/2017, B 3/2017, B 8/2021 und B 9/2021 sind mit Datenloggern mit Fernabfrage zur Aufzeichnung der Grundwasserstände ausgestattet. Die Grundwassermessstelle AHM wird einmal wöchentlich vom Werk Steltenberg gemessen. Außerdem ist diese eine Landesmessstelle, deren Grundwasserstandsdaten, mit zurzeit monatlicher Messung, vom Online-Portal EL-WAS abgerufen werden können.

Tab. 4-1: Kennwerte der Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet

Messstelle	Zusatz- Bezeichnung	POK	Aus- bautiefe	Filter- strecke	Grundwasserstand 23.06.2022		Geologie
					m u. POK	m u. POK	
Bez.		mNN	m u. POK	m u. POK	m u. POK	mNN	
BL 5	HKW BL 5	139,24	28	25 – 27	24,51	115,14	Massenkalk
AHM		183,40	80	60 – 80	48,10	135,30	Massenkalk
B 1/2017	Sohle 7	156,25	75	41 – 73	26,05	130,20	Massenkalk
B 2/2017	AHM neu	210,90	99	92 – 98	47,92	162,98	Massenkalk
B 3/2017	Steltenberg	245,44	130	80 – 129	114,51	130,94	Massenkalk
B 8/2021	Im Ostfeld	215,98	65	45 – 65	5,66	210,32	Flinzschiefer, Tonstein
B 9/2021	Am Sonnenberg	174,29	47	37 – 47	29,58	144,71	Saat Schichten, Tonstein
TB2022	Tiefbohrung	167,85	129	30 – 129	38,45	129,40	Massenkalk
Br. Bilstein	Brunnen Bilstein	118,40	6	2 – 6	2,10	116,30	Lennekiese



5 Wasserhaushalt

5.1 Natürlicher Wasserhaushalt

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

Die Bilanzgrößen des Wasserhaushaltes setzen sich zusammen aus:

$$N = Et_r + A_o + A_u + R$$

Mit:

N: Niederschlag

Et_r: Evapotranspiration

A_o: Oberflächen-Abfluss

A_u: Unterirdischer Abfluss (entspricht über längere Zeiträume der Grundwasserneubildung)

R: Rücklage und Verbrauch (für mehrjährige Betrachtungen nicht relevant)

Für die Bestimmung des langjährigen, mittleren Niederschlags werden Messdaten der Stationen Hagen-Fley (ID: 1920) und Iserlohn-Letmathe (ID: 2419) des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. Die Stationen liegt etwa 6 km nordwestlich bzw. 2 km östlich des Vorhabengebietes. Die Tab. 5-1 fasst die langjährigen, mittleren Jahreswerte von Niederschlag und Temperatur für die genannten Stationen zusammen. Durch die Nähe zum Steinbruch Steltenberg und die vergleichbaren Höhenlagen sind die Wetterdaten gut auf das Untersuchungsgebiet übertragbar.

Tab. 5-1: Kenndaten der nächstgelegenen Wetterstationen

Station	Höhe	Entfernung	Zeitabschnitt	Jahre	N	T
	mNN				mm	°C
Hagen-Fley	100	6 km NW	1991 – 2020	30	857	10,5
Iserlohn-Letmathe	124	2 km O	1981 – 2010	30	880	-

Erläuterung:

N: Niederschlag (langjähriger Mittelwert der Jahressummen)

T: durchschnittliche Jahrestemperatur

An der Station Iserlohn-Letmathe wurde für den Zeitraum 1991 – 2020 eine **langjährige mittlere Jahresniederschlagssumme** von 880 mm ermittelt. An der Station Hagen-Fley beträgt die langjährige mittlere Jahresniederschlagssumme für diesen Zeitraum 857 mm.

Auf der Abb. 5-1 sind die Jahresniederschlagssummen für die Station Iserlohn-Letmathe seit 2010 dargestellt. Mit Ausnahme der niederschlagsreichen Jahre 2012



(954,8 mm), 2017 (984,8 mm) und 2021 (922,9 mm) lagen alle Jahre zum Teil weit unter dem langjährigen Durchschnitt. Die Jahre 2011 (565,5 mm) und 2018 (642,3 mm) waren dabei besonders trocken.

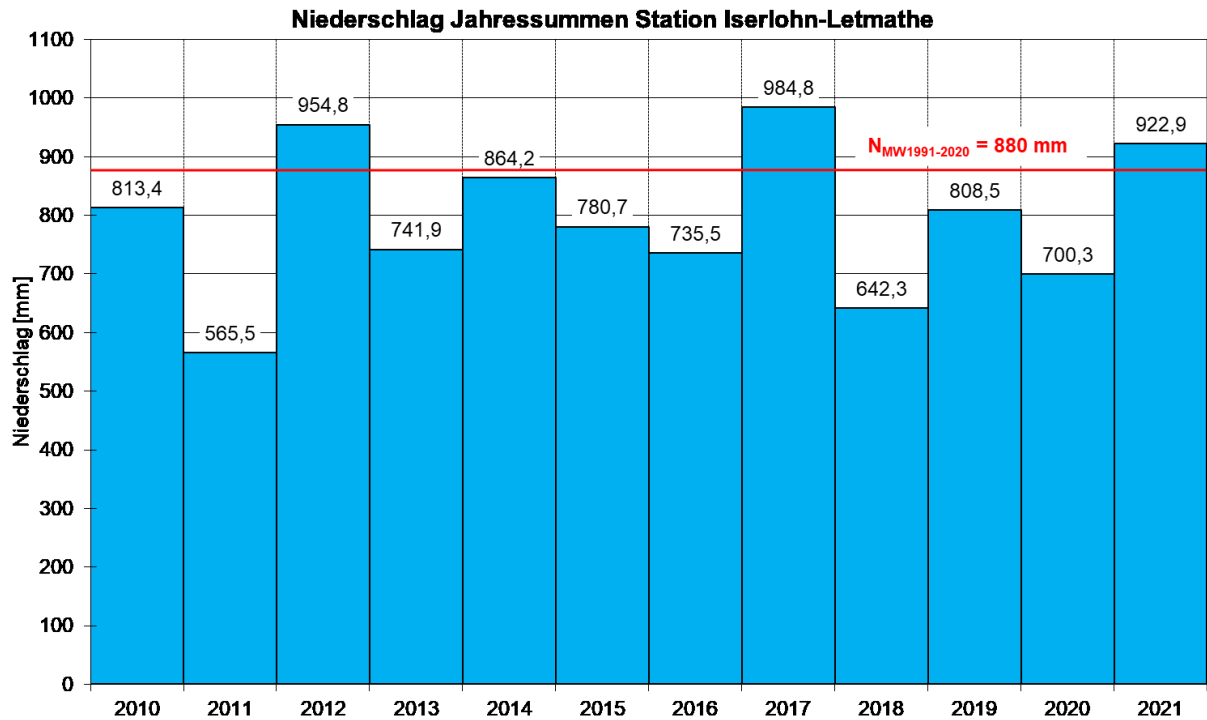


Abb. 5-1: Jahressummen des Niederschlags an der Station Iserlohn-Letmathe in den Jahren 2010 – 2021

In den Abb. 5-2 bis Abb. 5-4 sind die Monatssummen des Niederschlags für die Jahre 2019 bis 2021 den langjährigen mittleren Monatssummen der Station Iserlohn-Letmathe gegenübergestellt.

Die Niederschläge im Jahr 2019 liegen mit einer Jahressumme von 808,5 mm unterhalb des langjährigen Mittels. Die durchschnittlichen, langjährigen Monatssummen werden in 7 Monaten zum Teil deutlich unterschritten, während in den übrigen 5 Monaten (Januar, März, Oktober, November und Dezember) das langjährige Mittel überschritten wird.

Das Jahr 2020 weist mit 700,3 mm nur leicht höhere Niederschlagssummern auf, wie das Trockenjahr 2018. Die Niederschläge lagen in nur zwei Monaten oberhalb des langjährigen Mittels, dabei im Februar etwa zweieinhalb Mal so hoch. Im Juni gab es etwa durchschnittlich viel Niederschlag. In den übrigen 9 Monaten ist zum Teil deutlich weniger Regen gefallen als im langjährigen Mittel.



Im Gegensatz zu den Vorjahren lagen die Niederschläge im Jahr 2021 in der Summe mit 922,9 mm über dem langjährigen Mittel von 904 mm. In den Monaten Januar, Mai, Juni, Juli und August gab es überdurchschnittlich viel Niederschlag, im Juli lag die Summe dabei mehr als doppelt so hoch als der langjährige Monatsniederschlag. Dies ist vor allem auf die starken Regenereignisse in diesem Monat zurückzuführen. Die Monate Februar bis April und September bis Dezember waren trockener als der langjährige Durchschnitt.

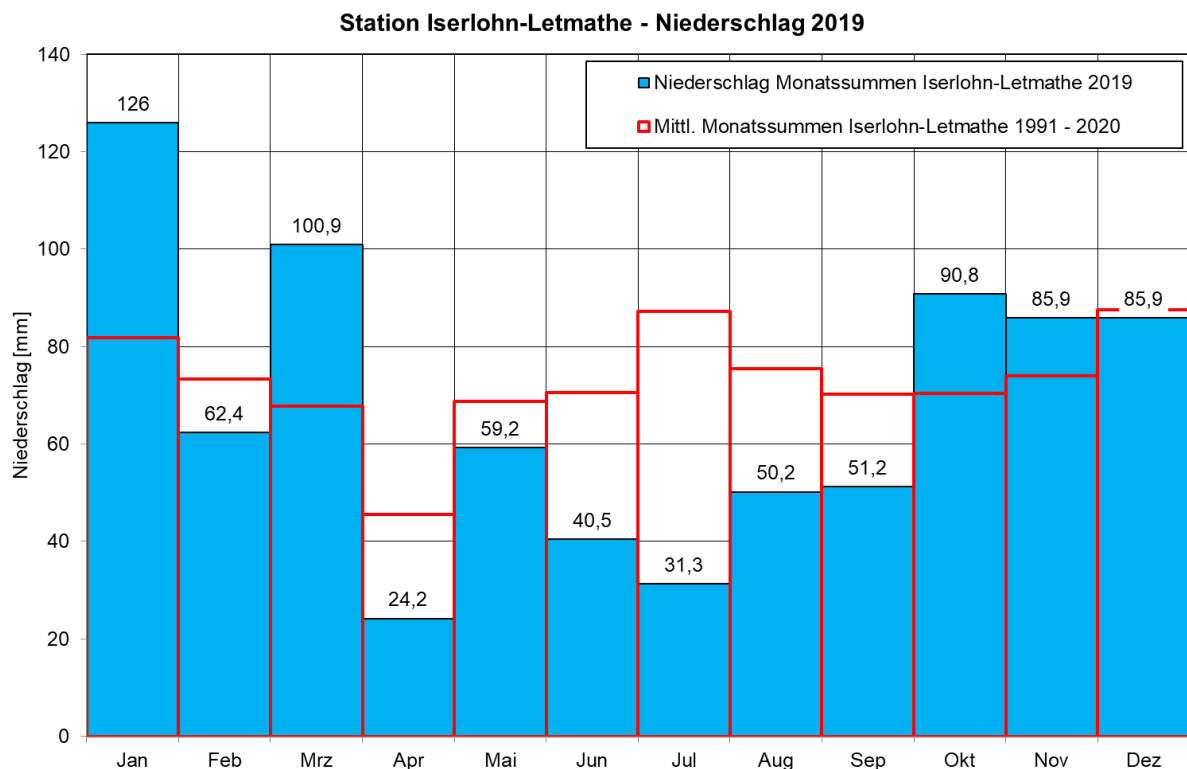


Abb. 5-2: Monatssummen des Niederschlags im Jahr 2019 an der Station Iserlohn-Letmathe

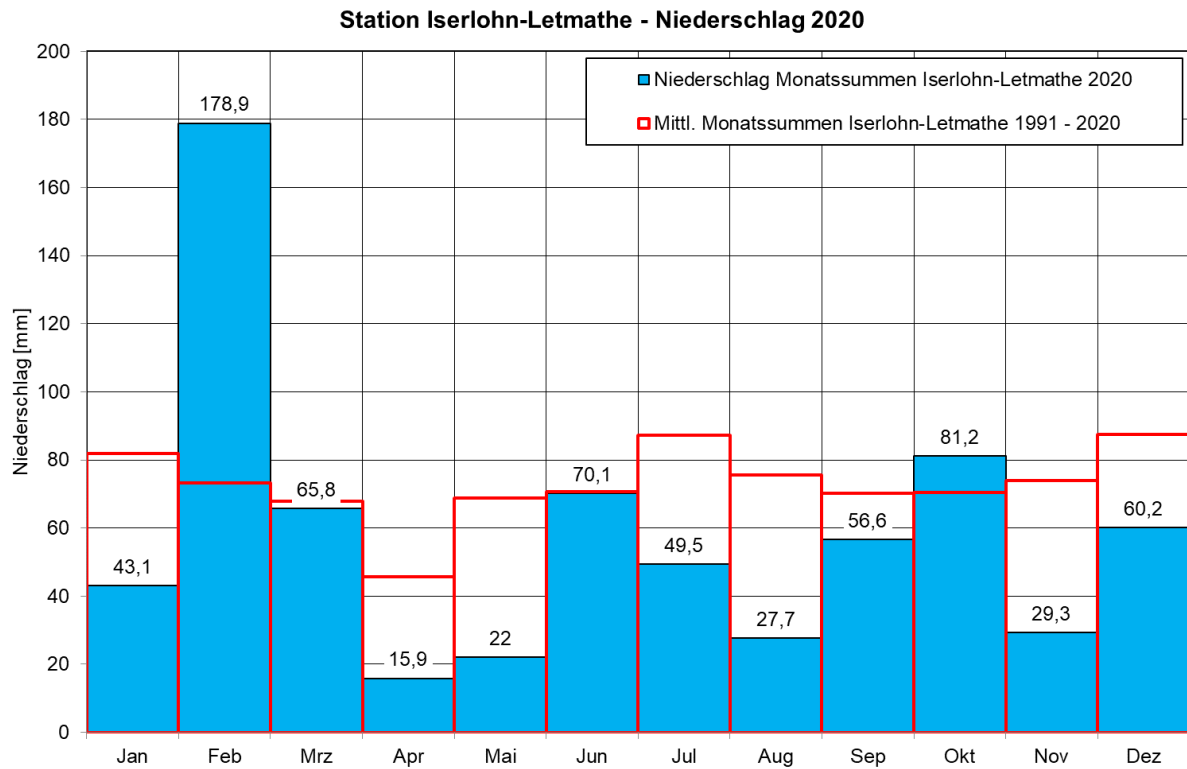


Abb. 5-3: Monatssummen des Niederschlags im Jahr 2020 an der Station Iserlohn-Letmathe

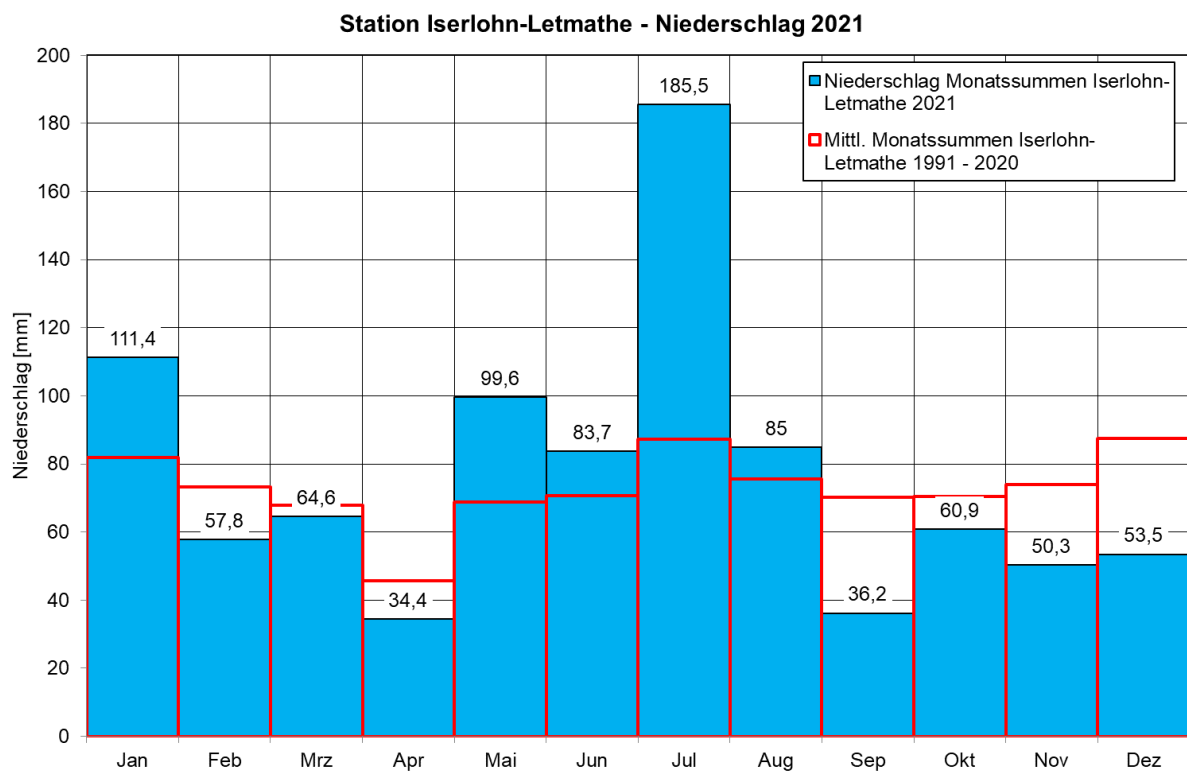


Abb. 5-4: Monatssummen des Niederschlags im Jahr 2021 an der Station Iserlohn-Letmathe



Da für die Station Iserlohn-Letmathe keine langjährige Jahresmitteltemperatur zur Verfügung steht, wird hier der Wert der Station Hagen-Fley genutzt. Die langjährige mittlere **Jahrestemperatur** für den Zeitraum 1981 bis 2010 beträgt an dieser Station 10,5 °C, bei einer Geländehöhe von 100 mNN.

Die reelle **Evapotranspiration (Verdunstung)** lässt sich überschlägig für lange Zeiträume nach dem Berechnungsverfahren von Turc (1961) auf der Grundlage der langjährigen mittleren Niederschlagssumme und der mittleren Temperaturwerte mit hinreichender Genauigkeit wie folgt berechnen:

$$Et_r = \frac{N}{\left[0,9 + \left(\frac{N}{t_t}\right)^2\right]^{0,5}} \text{ [mm/a]}$$

Mit:

N: Jahresniederschlagssumme [mm]

t_t : $300 + 25t + 0,05t^3$

t: Jahresmittel Temperatur [°C]

Für den Zeitraum von 1991 bis 2020 ergibt sich auf der Grundlage der Jahresniederschlagssumme von 880 mm (Station Iserlohn-Letmathe) und der Jahresmitteltemperatur von 10,5 °C (Station Hagen-Fley) eine mittlere reelle Evapotranspiration von etwa $Et_r = 516 \text{ mm/a}$, entsprechend etwa 58,6 % des mittleren Niederschlags.

Betrachtet man den Untersuchungsraum mit dem Steinbruch Steltenberg, dem Massenkalk und den angrenzenden Schichten im Liegenden und im Hangenden dazu, etwa abgegrenzt durch das Lennetal im Westen, Süden und Osten und die BAB 43 im Norden, so sind diese Wasserhaushaltsdaten auf Grundlage der Stationen Letmathe und Hagen-Fley nicht direkt auf das Gebiet übertragbar. Die Geländehöhe im Untersuchungsraum reicht von etwa 110 m NN im Lennetal bis 265 mNN auf dem Steltenberg und liegt damit im Mittel deutlich höher als die beiden Wetterstationen. Daher müssen die Niederschlagsdaten und die Temperaturdaten zur korrekten Übertragung auf den Untersuchungsraum korrigiert werden. Nimmt man die regionalisierten Niederschlagsdaten und Temperaturdaten aus dem Klimaatlas NRW des LANUV (Mittelwerte für den Zeitraum 1991 – 2020), so ergeben sich für den Untersuchungsraum etwa folgende Wasserhaushaltsdaten:

- Niederschlag 1991-2020: $N = 930 \text{ mm}$ („Kacheln“ von etwa 884 mm bis 993 mm)
- Temperatur 1991 – 2020: $T = 10,0 \text{ °C}$ („Kacheln“ von 9,8°C bis 10,2 °C).



Bei Berücksichtigung der morphologischen Höhenlage bis 265 mNN ergibt sich gegenüber der Wetterstation Letmathe ein um etwa 50 mm höherer mittlerer Niederschlag im Untersuchungsraum. Das ist eine plausible Größenordnung. Demnach errechnet sich für den Untersuchungsraum für den Zeitraum von 1991 bis 2020 auf der Grundlage der **Jahresniederschlagssumme von 930 mm** und der Jahresmitteltemperatur von 10,0 °C eine mittlere reelle Evapotranspiration von etwa $E_{tr} = 512 \text{ mm/a}$, entsprechend etwa 55 % des mittleren Niederschlags.

Für die Steinbruchflächen, die keinen Bewuchs oder Bodenschicht aufweisen, ist eine geringere Evapotranspiration anzusetzen, da die pflanzengesteuerte Transpiration entfällt. Für die verbleibende Evaporation sind maximal etwa 25 % des Niederschlags anzusetzen [DVWK, 1996]. Demnach beträgt die maximale reelle Verdunstung auf den Steinbruchflächen etwa **$E_{tr-st} = 233 \text{ mm/a}$** .

5.2 Abfluss und Grundwasserneubildung

Nach der Wasserhaushaltsgleichung errechnet sich der Abfluss (A_{ges}) aus der Differenz zwischen Niederschlag und der realen Evapotranspiration. Es ergibt sich für den Zeitraum 1991 bis 2020 ein mittlerer Gesamtabfluss im Untersuchungsraum von

$$A_{ges} = N - E_{tr} = 930 \text{ mm/a} - 512 \text{ mm/a} = 418 \text{ mm/a.}$$

Für die Steinbruchflächen beträgt dieser Wert

$$A_{ges} = N - E_{tr-st} = 930 \text{ mm/a} - 233 \text{ mm/a} = 697 \text{ mm/a.}$$

Der Gesamtabfluss (A_{ges}) setzt sich aus dem oberirdisch fließenden Anteil (A_o) sowie dem unterirdisch fließenden Anteil (A_u) zusammen. Der oberirdisch abfließende Anteil wird als Direktabfluss zusammengefasst. Der unterirdische Abfluss A_u entspricht für lange Betrachtungszeiträume der Grundwasserneubildung (GwN). Als Grundwasserneubildung wird der Anteil des Wassers eingestuft, der im Boden versickert und dem Grundwasser zufließt.

Der Anteil des oberirdischen Abflusses (Direktabfluss) hängt neben der Durchlässigkeit des Bodens und der anstehenden Gesteine vor allem von der Morphologie, der Hangneigung, der Flächennutzung/Versiegelung und dem Flurabstand ab. Der Direktabflussanteil nimmt mit steigendem Flurabstand ab und ist bei bindigen Böden deutlich größer als bei nicht bindigen Böden. Es wird ferner davon ausgegangen, dass der Direktabflussanteil p am Gesamtabfluss von Acker- bzw. Grünland über Mischvegetation bis zum Wald abnimmt [Meßner, 2008].



Auf den Massenkalk-Flächen ist der Anteil es oberirdischen Abflusses am Gesamtabfluss im Untersuchungsgebiet vernachlässigbar gering, sodass sich aus dem Gesamtabfluss auf Grundlage der langjährigen Mittelwerte der mittlere unterirdische Abfluss mit etwa 100 % des Gesamtabflusses abschätzen lässt. Damit beträgt der unterirdische Abfluss und damit die Grundwasserneubildung etwa

GwN-Massenkalk = 418 mm/a = 13,3 l/s·km².

Für den Bereich der Steinbruchflächen mit aufgeschlossenem Festgestein und ohne Berücksichtigung einer Abdichtung der Abbausohle über längere Zeit ist eine höhere Grundwasserneubildung von

GwN-Steinbruch = 697 mm/a = 22,1 l/s·km² anzusetzen.

Die hangenden und liegenden Schiefergebiete zum Massenkalkzug weisen im Unterschied zum Massenkalk aufgrund der dort anstehenden Tonschiefer einen Anteil an Oberflächenabfluss (Direktabfluss) auf. Der Anteil des Direktabflusses am Gesamtabfluss ist abhängig von der Reliefenergie, der Bodenbeschaffenheit, der Bodennutzung und dem Flurabstand zum Grundwasser. Der Anteil lässt sich nach Meßer [2008] mit etwa 60 % berechnen. Daraus folgt, dass etwa 40 % des Gesamtabflusses von 418 mm/a auf den „Schiefergebieten“ versickern und der Grundwasserneubildung zugerechnet werden können.

GwN-„Schiefergebiete“ = 167 mm/a = 5,3 l/s·km².

Die errechneten hydrologischen Bilanzgrößen sind in Tab. 5-2 zusammenfassend aufgelistet.

Tab. 5-2: Hydrologische Bilanzgrößen für das Untersuchungsgebiet

Zeit- raum	Messdaten Station Iserlohn-Letmathe plus Berücksichtigung Höhenlage	Untersuchungsgebiet nach Daten der Station Hagen-Fley			Anmerkungen
		N	E _{tr}	A _{ges}	
		mm/a	mm/a	mm/a	mm/a
1991 – 2020	930	512	418	418	Massenkalk
		233	697	697	Steinbruchflächen
		512	418	167	„Schiefergebiete“

Erläuterung:

N: Niederschlag (langjähriger Mittelwert der Jahressummen)

E_{tr}: Evapotranspiration, reell

A_{ges}: Abfluss, gesamt (Jahressummen)

GwN: Grundwasserneubildung



6 Hydrologie

Den Hauptvorfluter im Untersuchungsgebiet bildet die Lenne. Dieser Fluss entspringt auf dem Kahlen Asten bei Winterberg im Hochsauerland und mündet nach 129 km bei Hagen in die Ruhr. Im Bereich des Steinbruchs Steltenberg verläuft sie in E-W-Richtung und quert dabei östlich und westlich den Massenkalkzug komplett. Der Lenne fließen südwestlich bis südöstlich vom Steinbruch Steltenberg mehrere Fließgewässer zu, von denen keines eine hydrologische Verbindung mit dem Verbreitungsgebiet des Massenkalks besitzt.

In einem Hangschuttbereich innerhalb der Flinzschiefer entspringt etwa 500 m nordöstlich des Steinbruchs ein kleines Gewässer, welches nach etwa 300 m Fließstrecke in Richtung Osten den Massenkalk erreicht und dort im Bereich einer Doline versickert. Bei Begehungen im August 2021 und im April 2022 wurde hier keine Wasserführung festgestellt. Vermutlich tritt hier nur nach längeren Niederschlagsphasen temporär ein Abfluss auf.

Ein weiterer kleiner Bachlauf entspringt innerhalb der Oeger-Schichten, südlich des Ahm und fließt intermittierend nach Südosten ab. Hier besteht keine hydraulische Verbindung zum Massenkalk. Auch hier wurde bei Begehungen im April 2022 keine Wasserführung festgestellt.

Weitere, für die hydrologischen Betrachtungen im Untersuchungsgebiet relevanten Fließgewässer existieren nicht.

Der von der nordrhein-westfälischen Talsperrenleitzentrale des Ruhrverbandes Lenne-Pegel Hagen-Hohenlimburg liegt etwa 3 km nordwestlich des Steinbruchs Steltenberg. Dort wird für ein Einzugsgebiet mit einer Größe von 1.322 km² der Abfluss und der Wasserstand der Lenne aufgezeichnet. Die für den Zeitraum 1978 bis 2021 bestimmten Abflusskennwerte sind in Tab. 6-1 zusammengefasst. Ergänzend zeigt die Tabelle die Niedrig-, Mittel- und Hochwasserabflüsse und -stände für 2021. Der Hochwasserabfluss HQ am 14.07.2021 mit 538 m³/s bei einem Wasserstand von 112,17 mNN (4,7 m über dem Pegelnullpunkt) ist gleichzeitig als langjähriger Höchstwasserstand im Zeitraum 1978 bis 2021 anzusprechen. Der niedrigste Abfluss NQ von 3,86 m³/s bei einem Wasserstand von 107,69 mNN (0,21 m über dem Pegelnullpunkt) am 18.09.2021 liegt etwa 1 m³/s über dem im Zeitraum 1978 bis 2021 ermittelten Niedrigwasserabfluss. Der mittlere Abfluss im Jahr 2021 lag mit 23,81 m³/s lag etwa 5 m³/s unter dem langjährigen mittleren Abfluss.



Ergänzend dazu zeigt Abb. 6-1 die Ganglinie des Lenne-Wasserstandes am Pegel Altena für die Jahre 2021 bis Juni 2022. Deutlich zu erkennen ist das starke Hochwasserereignis im Juli 2021 mit einem Wasserspiegelanstieg um etwa 4 m, welches sich auch in den Ganglinien der Grundwasserstände (s. Kapitel 7.2) deutlich widerspiegelt.

Tab. 6-1: Abflusskennwerte der Lenne für den Zeitraum 1978 bis 2021 am Lenne-Pegel Hagen-Hohenlimburg [Datenquelle: Talsperrenleitzentrale des Ruhrverbandes]

	Abfluss		Wasserstand
	1978 – 2021	2021	2021
	m ³ /s	m ³ /s	mNN
NQ	2,84	3,86 (18.09.2021)	107,69 (18.09.2021)
MNQ	8,12		
MQ	28,3	23,81	108,08
MHQ	243		
HQ	538	538 (14.07.2021)	112,18 (14.07.2021)

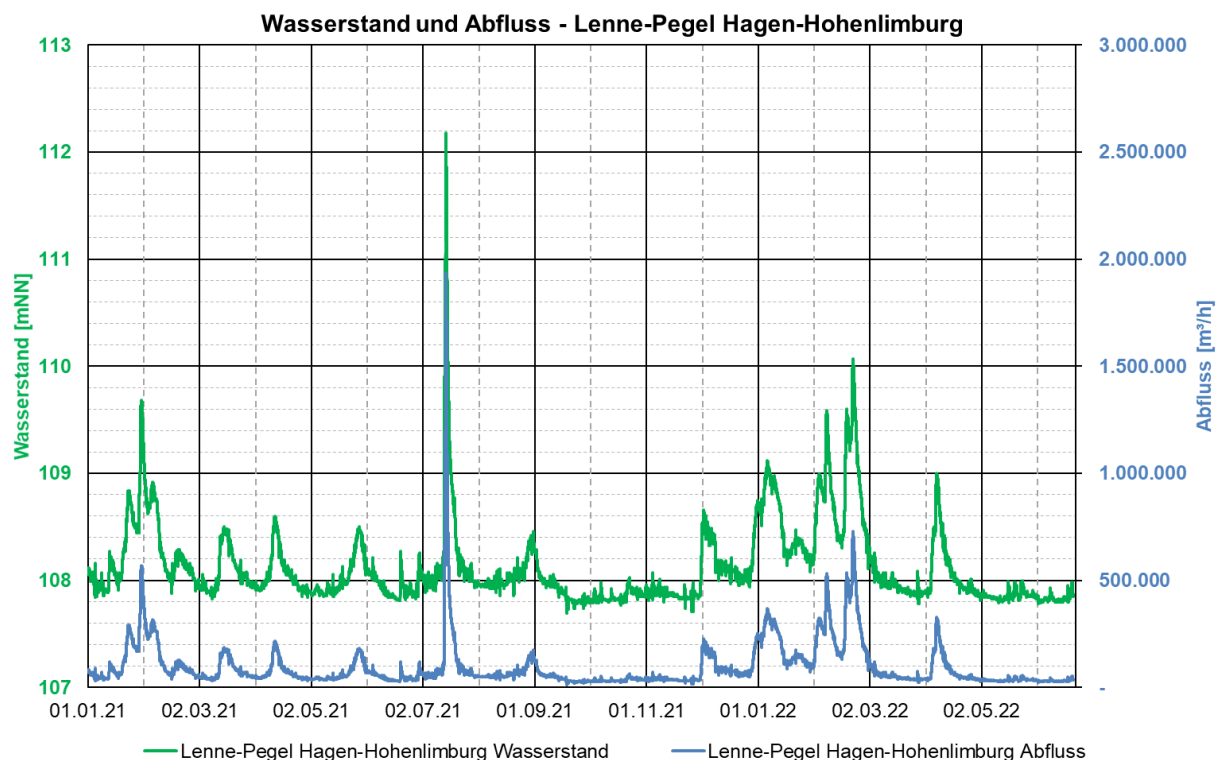


Abb. 6-1: Ganglinie des Wasserstandes und des Abflusses am Lenne- Pegel Hagen-Hohenlimburg für das Jahr 2021 [Datenquelle: Talsperrenleitzentrale des Ruhrverbandes]



7 Geologie

Die geologischen Verhältnisse im Umfeld des Steinbruches Steltenberg im Hagen-Hohenlimburg sind in der Anlage 2 als Karte sowie in Anlage 6 und Anlage 7 als West-Ost Profil und Nord-Süd-Profile dargestellt. Die stratigraphische und lithologische Abfolge der Schichten in Hagen ist in der Tab. 7-1 aufgelistet.

Der Steinbruch Steltenberg liegt regionalgeologisch innerhalb der variszisch gefalteten Schichten im devonischen Massenkalk des Rheinischen Schiefergebirges. Der Massenkalkzug verläuft hier etwa in West-Ost-Richtung (Streichrichtung etwa 80°) mit einer Ausstrichbreite von etwa 600 bis 1000 m. Tektonisch gehört der Massenkalkzug hier zum Nordrand des Remscheid-Altenaer Sattels. Die Schichtenfolge fällt mit etwa 40° bis 60° nach Norden ein.

Der Massenkalk, der im Steinbruch Steltenberg abgebaut wird, ist aus ehemaligen Riffstrukturen hervorgegangen und überwiegend massig, untergeordnet auch bankig ausgebildet. Die Mächtigkeit beträgt etwa 700 m.

Die Hangendschichten, die den Massenkalk im Norden begrenzen, setzen sich zusammen aus oberdevonischen Tonschiefern, in die geringmächtige Kalksteinlagen eingeschaltet sind (Flinzschiefer). Im Liegenden, südlich angrenzend, wird der Massenkalk durch mergelige Tonsteine der Oeger Schichten und der Saat Schichten begrenzt, die Einlagerungen von feinkörnigem, tonigem Sandstein und Kalkstein aufweisen.

Der Massenkalk und die nördlich und südlich angrenzenden Festgesteinsschichten werden von Querstörungen durchzogen, die zumeist etwa NNW-SSE verlaufen. Die Schichtenfolge zeigt an diesen Störungen deutliche Versatzbeträge von mehreren 10er Metern bis zu mehr als 100 m. Im Steinbruch sind mehrere diese Querstörungen aufgeschlossen. Am Ostrand des Steinbruchs durchzieht eine Störung vermutlich den gesamten Massenkalkzug mit einem deutlichen Versatz der Schichten (Anlage 2). Der Abbaubereich im Steinbruch wird von mehreren größeren Kluft- oder Störungszonen durchzogen, die etwa in Nord-Süd-Richtung quer zum Schichtstreichen verlaufen.

Die im März 2022 vom Fraunhofer IEG im Steinbruch abgeteufte Tiefenbohrung (Schrägbohrung, 14,5° Abweichung von der Senkrechten nach Osten, Endteufe 230 m) hat mehrere Störungs- und Kluftzonen im Massenkalk durchbohrt, die zum Teil auch Verkarstungserscheinungen aufwiesen. Größere Kluftsysteme wurden bei etwa 61 m u. GOK und bei 98 m u. GOK sowie ein größeres Störungssystem zwischen 129 m u. GOK und 132 m u. GOK erbohrt. Die Bohrung wurde im Hammerbohrverfahren



mit einem Durchmesser von 36 cm gebohrt. Neben umfangreichen hydraulischen Tests wurden geophysikalische Messungen und eine Kamerabefahrung durchgeführt.

Der Massenkalk im Steinbruch besteht überwiegend aus hochreinem Kalkstein (Calciumcarbonat). Stellenweise ist der Kalkstein sekundär in Dolomitstein (Calcium-Magnesium-Carbonat) umgewandelt. Die Dolomitisierung geht dabei von tiefgreifenden Störungen und Klüften aus, über die der Aufstieg magnesiumhaltiger Lösungen möglich war.

Die Lenne und das Lennetal queren im Westen und im Osten des Steinbruches jeweils den Massenkalk. Der Massenkalk wird im Bereich des Lennetals von etwa 5 bis 10 m mächtigen quartären Lockersedimenten überlagert. Es handelt sich dabei um die Niederterrasse der Lenne, die überwiegend aus Kiesen und Sanden besteht, denen toniger bis feinsandiger Schluff beigemischt ist. Die Talfüllungen sind gekennzeichnet durch einen fortwährenden Wechsel von Abrasion und Sedimentation. Im Bereich der Gleithänge sind die Talflankenböden mit Auelehm bedeckt.

Tab. 7-1: Stratigraphie und Lithologie der Schichtfolge im Bereich Steinbruch Steltenberg und der Umgebung

Stratigraphie		Lithologie	Mächtigkeit
Quartär	Auelehm	Schluff, tonig	2 m
	Niederterrasse der Lenne	Sand, Kies, Schluff	7 bis 12 m
Oberdevon	Oberer Flinzschiefer	Tonstein, kalkhaltig, eingeschaltete Kalksteinlinsen	400 – 650 m
	Flinzkalk-Horizont	Kalkstein, bankig, Tonstein	
	Unterer Flinzschiefer	Tonstein, kalkhaltig, eingeschaltete Kalksteinlinsen	
Wende Ober-/ Mitteldevon Mitteldevon	Flinzkalk	Kalkstein, plattig, bankig, Mergelstein	500 – 600 m
	Massenkalk	Kalkstein, massig, bankig örtlich Dolomitisierung	
Mitteldevon	Oeger Schichten Saat Schichten	Tonstein, schluffig, sandig, mergelig	> 300 m
	Selberg Schichten Stenglingsen Schichten	Sandstein, Tonstein, Schluffstein	



8 Hydrogeologie

8.1 Hydrogeologische Übersicht

Der Hauptgrundwasserleiter im Untersuchungsgebiet wird durch den devonischen Massenkalk gebildet. Er erstreckt sich im Bereich des Steinbruchs Steltenberg und des Untersuchungsgebietes in West-Ost-Richtung. Im Westen und Osten wird der Massenkalk vom Lennetal mit der Lenne sowie den Kiesen und Sanden der Niederterrasse überlagert. Im Norden wird er von den Flinzschiefer-Schichten und im Süden von den Oeger-Schichten begrenzt.

Der Massenkalk ist als Kluftgrundwasserleiter anzusprechen, der bereichsweise auch verkarstet ist. Der zum Teil dolomitische Kalkstein ist im Untersuchungsgebiet bankig bis massig ausgebildet. Über das Trennflächennetz aus Kluftflächen und Schichtflächen zirkuliert das Grundwasser. Der Massenkalk ist daher als Grundwasserleiter mit generell mittlerer bis hoher Durchlässigkeit einzustufen. In sehr massigen und nur wenig geklüfteten Abschnitten des Massenkalkzuges kann die Durchlässigkeit lokal auch gering sein.

Der Massenkalk ist weitgehend von geringer durchlässigen Schichten im Norden und Süden hydraulisch getrennt. Die kalkigen Tonsteine und Schluffsteine im Norden (Flinzschiefer) sind generell als Grundwassergeringleiter mit überwiegend geringer bis sehr geringer Trennfugendurchlässigkeit einzustufen. Die im Süden anstehenden Oeger Schichten und die Saat Schichten sind mit mergeligen Tonsteinen, in die feinkörnige, tonige Sandsteine und Kalksteine eingelagert sind, auch überwiegend als Grundwassergeringleiter einzustufen.

Im Westen und Osten ist der Massenkalkzug hydraulisch an das Grundwasser in den quartären Terrassenkiesen des Lennetals angebunden, die generell eine sehr hohe Durchlässigkeit aufweisen.

Das Tal der Lenne ist etwa 200 bis 300 m breit und mit quartären Terrassenablagerungen aufgefüllt. Es handelt sich um bis etwa 12 m mächtige Kies- und Sandablagerungen, die als Lockergesteins-Grundwasserleiter einzustufen sind. Diese Kiese und Sande liegen dem Massenkalk sowie den übrigen Festgesteinsschichten auf.

Der Massenkalk bildet im Untersuchungsgebiet auch die Deckschicht über dem Grundwasser. Auf der Hochfläche des Kalkzuges sind darüber geringmächtige Lockergesteinsschichten mit Hanglehm- und Lößlehmablagerungen vorhanden, die als generell gering durchlässige Deckschichten über dem Grundwasser einzustufen sind.



In Tab. 8-1 sind die Schichten im Untersuchungsgebiet mit ihren hydrogeologischen Eigenschaften und Einstufungen beschrieben.

Tab. 8-1: Hydrogeologische Einstufung der Schichtenfolge im Bereich Steltenberg

Hydrogeologische Einheit		Hydrogeologische Eigenschaften	
Quar- tär	Auelehm	Schluff, tonig	Deckschicht, geringe Durchlässigkeit
	Niederterrasse der Lenne	Sand, Kies, Schluff	Grundwasserleiter , Lockergestein, sehr gute Durchlässigkeit
Oberdevon Mitteldevon	Oberer Flinzschiefer	Tonstein, kalkhaltig, eingeschaltete Kalksteinlinsen	Grundwassernichtleiter , geringe bis sehr geringe Trennfugendurchlässigkeit
	Flinzkalk-Horizont	Kalkstein, bankig, Tonstein	
	Unterer Flinzschiefer	Tonstein, kalkhaltig, eingeschaltete Kalksteinlinsen	
	Flinzkalk	Kalkstein, plattig, bankig, Mergelstein	Grundwasserleiter , überwiegend sehr gute Trennfugendurchlässigkeit, örtlich wechselnde und geringe Trennfugendurchlässigkeit
	Massenkalk	Kalkstein, massig, bankig örtlich Dolomitisierung	
	Oeger Schichten Saat Schichten	Tonstein, schluffig, Einlagerung von Sandstein und Kalkstein	Grundwassergeringleiter , mäßige bis sehr geringe Trennfugendurchlässigkeit
Selberg Schichten Stenglingsen Sch.	Sandstein, Tonstein, Schluffstein		

8.2 Grundwasserstände

Die Grundwasserstände im Bereich des Steinbruches Steltenberg und der angrenzenden Grundwasserbereiche werden aktuell an 9 Grundwassermessstellen regelmäßig aufgezeichnet, davon in 7 Grundwassermessstellen über Datenlogger mit Fernabfrage und in 2 Messstellen durch wöchentliche Lichtlotmessung. Sechs der Messstellen liegen im Massenkalk-Grundwasserleiter, davon 2 im direkten Abbaugelände. Eine Messstelle liegt in den hangenden Schiefen nördlich vom Massenkalk, eine Messstelle in den liegenden Oeger Schichten und Saat Schichten zum Massenkalk. Als Messstelle in den Lennekiesen dient ein stillgelegter Werksbrunnen der Fa. BILSTEIN GMBH & CO. KG, unmittelbar angrenzend an das Werksgelände HKW Steltenberg. Die Lage der Messstellen ist auf der geologischen Karte auf Anlage 2 dargestellt. Die Kenndaten der Grundwassermessstellen sind in Kap. 3.4 (Tab. 4-1) zusammengestellt.



8.2.1 Langjährige Entwicklung der Grundwasserstände

Die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände im Massenkalkzug im Bereich des Steinbruches Steltenberg zeigen die Abb. 8-1 und Abb. 8-2 für die Grundwassermessstelle AHM, etwa 430 m östlich vom Steinbruch, und die BL 5, ca. 500 m südwestlich vom Steinbruch am Rand zum Lennetal gelegen. Neben dem Jahresgang ist an den Ganglinien etwa ab 2016 (bei AHM) und ab 2018 (bei BL 5) ein negativer Trend der Grundwasserstände sichtbar, erkennbar an der Entwicklung der Niedrigstände im Sommer und Herbst. Im gesamten Zeitraum 2002 bis 2022 ist ebenfalls ein generell negativer Trend der Grundwasserstände gegeben, da das Jahrzehnt bis 2010 generell höhere Niederschläge aufwies als das folgende Jahrzehnt bis 2020. Der Grundwasserniedrigstand im Trockenjahr 2003 wurde an der Messstelle AHM in den Jahren ab 2016 in den Sommermonaten fast immer unterschritten. Die BL 5 zeigt diesen Trend weniger ausgeprägt als die Messstelle AHM. Diese liegt am Talrand der Lenne und ist hydraulisch durch die Lenne und die Grundwasserstände im Lennekies deutlich beeinflusst, was die Ausschläge der Ganglinie dämpft. Die Kurve gibt eher den Grundwasserstand im quartären und hauptsächlich vom Lenne-Wasserspiegel beeinflussten Grundwasserleiter wieder. Der Wasserstand der Lenne beträgt unterhalb des Stauwehres Oege nach der historischen DKG5 Grundriss Karte etwa 115 mNN, in Trockenphasen dürfte der Lenne-Wasserstand auch etwas darunterliegen. Der Grundwasserstand in der BL 5 liegt nur geringfügig über dem Lenne-Wasserstand.

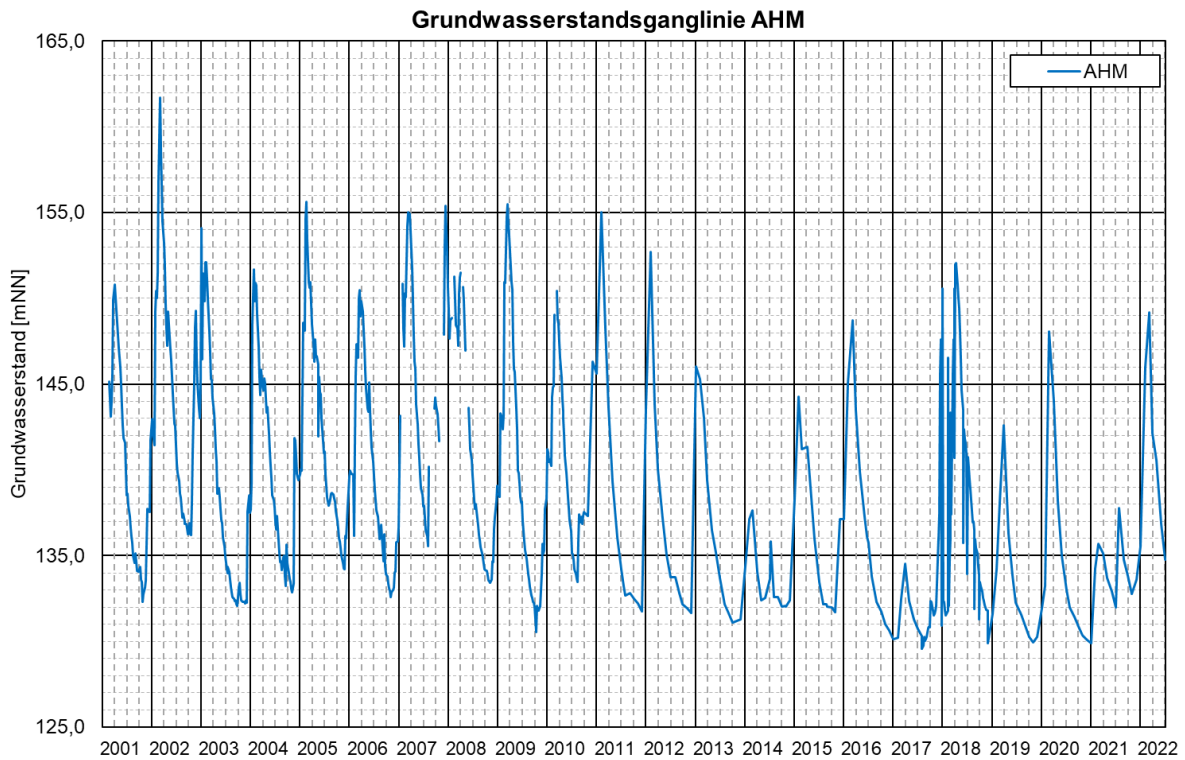


Abb. 8-1: Langjährige Grundwasserstandsganglinie der Messstelle AHM im Massenkalk östlich des Steinbruches Steltenberg

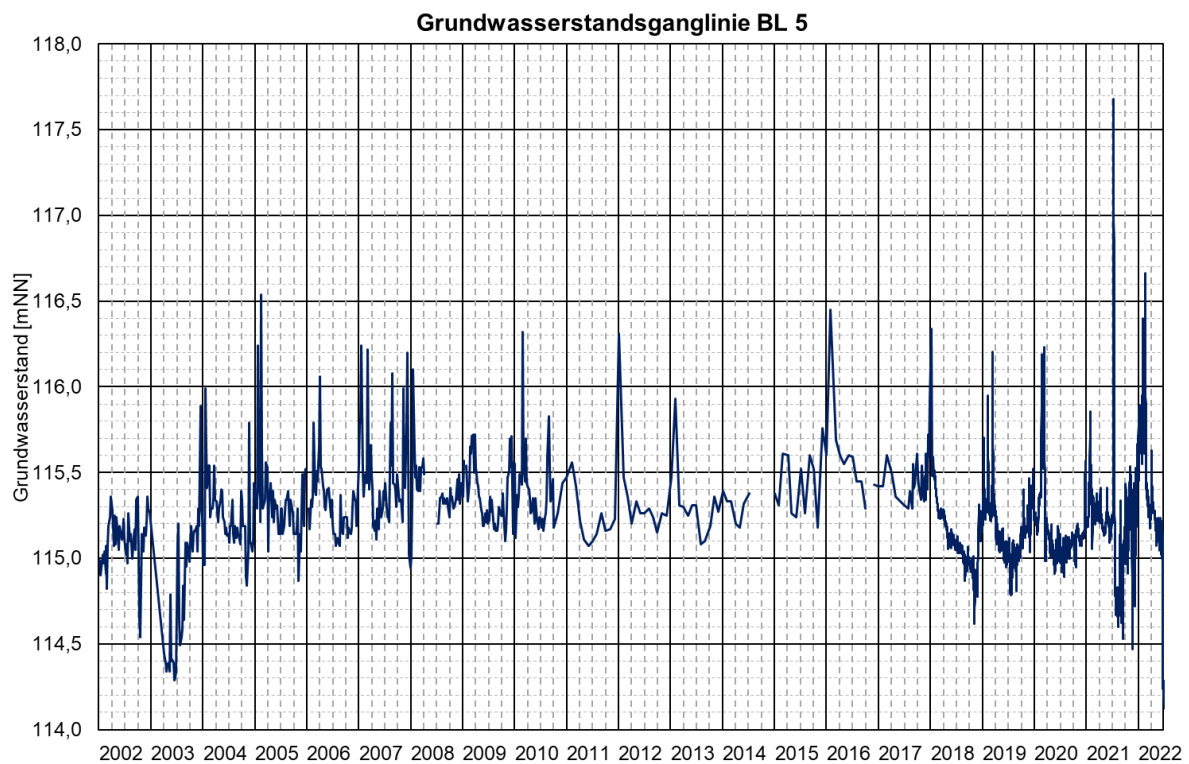


Abb. 8-2: Langjährige Grundwasserstandsganglinie der Messstelle BL 5 im Massenkalk südwestlich vom Steinbruch Steltenberg



Die statistische Auswertung der Grundwasserstände der langjährig gemessenen Grundwassermessstellen AHM und BL 5 ist in der Tab. 8-2 aufgelistet. Die Amplitude der im Massenkalk ausgebauten Messstelle AHM ist mit 32,13 m deutlich höher als die der ebenfalls im Massenkalk ausgebauten, aber nahe am Lennetal liegenden Messstelle BL 5 mit 3,39 m.

Tab. 8-2: Statistische Auswertung der Grundwasserstände 2002 – 2021

Grundwassermessstelle	2002 – 2021			
	Mittl. GwStand	Max. GwStand	Min. GwStand	Amplitude
	mNN	mNN	mNN	m
AHM	138,46	161,69	129,56	32,13
HKW-BL 5	115,29	117,68	114,29	3,39

8.2.2 Grundwasserstände 2021 bis 2022

Die aktuelle Grundwasserstandsentwicklung seit Januar 2021 ist für alle Grundwassermessstellen im Untersuchungsraum auf der Abb. 8-3 dargestellt. Erkennbar ist hier auch der unterschiedlich ausgeprägte Jahresgang. Die jährlichen Hochstände traten im Jahr 2022 in den Monaten Februar und März auf. Im Jahr 2021 waren ebenfalls im Februar und März winterliche Hochstände beim Grundwasser zu beobachten. In diesem Jahr waren die Folgen des Starkregenereignisses und des anschließenden Hochwassers am 14.07.2021 und den folgenden Tagen in allen Grundwassermessstellen sehr deutlich zu beobachten. Es wurden in allen Grundwassermessstellen Jahreshöchststände gemessen. Die Regenmenge betrug am 13.07. und 14.07.2021 insgesamt 124 mm (Station Iserlohn-Letmathe). Die Wasserstands-Spitzen in B 1/2017 im März 2022 wurden durch hydraulische Versuche in der 50 m entfernt gelegenen Tiefbohrung verursacht.

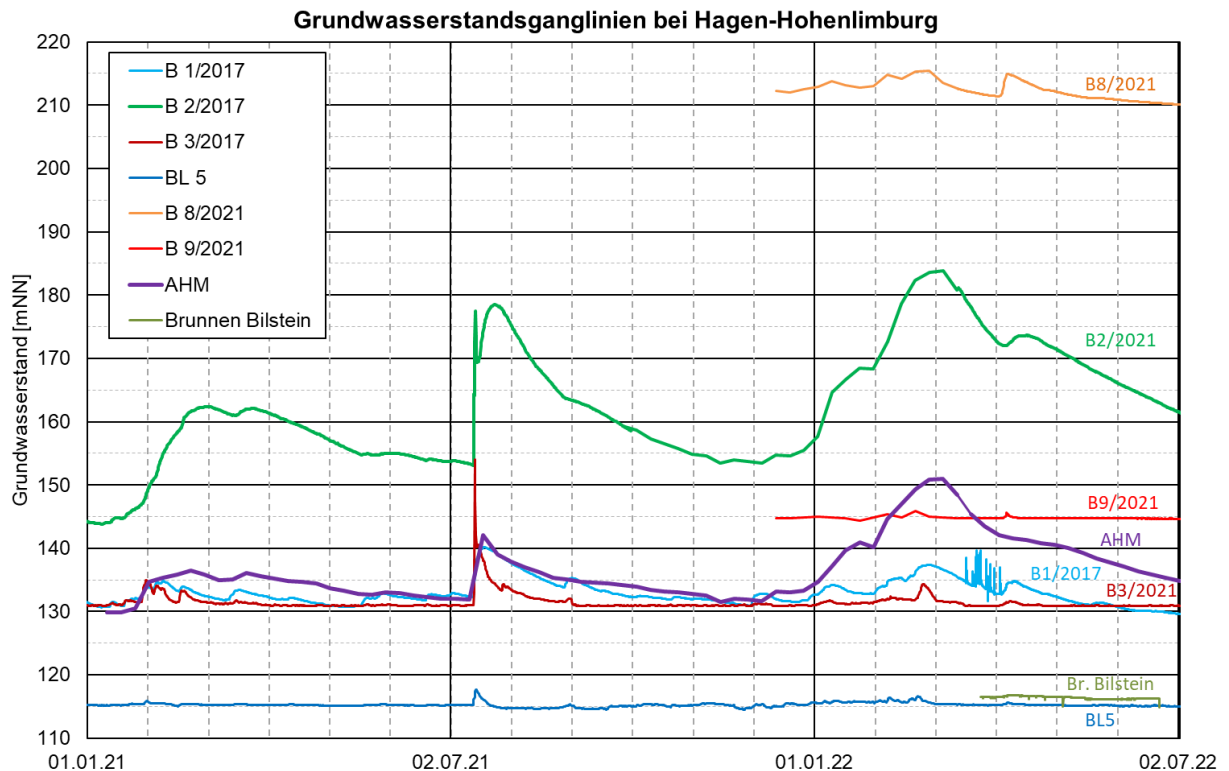


Abb. 8-3: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk, in den hangenden Flinzschiefern, in den liegenden Oeger-Schichten und in den Lennekiesen bei Hagen-Hohenlimburg ab Januar 2021

8.2.3 Grundwasser im Massenkalk und im Steinbruch

Die Abb. 8-4 zeigt die Ganglinien der Grundwasserstände der langjährigen Grundwassermessstellen und der im Jahr 2017 neu errichteten 3 Grundwassermessstellen im Massenkalk und im Bereich des Steinbruchs Steltenberg im Zeitraum Januar 2017 bis Juni 2022. Auf der Abb. 8-5 sind die Ganglinien im Massenkalk in den vergangenen 1,5 Jahren ab Januar 2021 dargestellt.

Die mehrjährigen Ganglinien der Messstellen zeigen einen deutlichen Jahresgang mit niedrigen Grundwasserständen in den Sommer- und Herbstmonaten. Im Winter zeigen die Ganglinien einen meist steilen Anstieg der Grundwasserstände mit einsetzender Grundwasserneubildung.

Die Schwankungsbreite ist bei den Messstellen B 2/2017 und B 3/2017, die auf der Anhöhe östlich vom Steinbruch liegen, mit etwa 40 m sehr hoch. Die Messstelle B 1/2017 im Steinbruch am westlichen Abbaurand zeigt Schwankungen von etwa 10 m im Jahresverlauf. Die BL 5 zeigt aufgrund der Beeinflussung durch die Lenne und das Grundwasser der Lennekiese nur geringe Schwankungen von etwa 2 m im Jahresverlauf (siehe auch Abb. 8-2).



Die niedrigsten Grundwasserstände im Beobachtungszeitraum ab Januar 2017 wurden im Sommer des Trockenjahres 2018 gemessen. Vergleichbare Niedrigstände wurden auch im September 2019 und im Dezember 2020 gemessen.

Die höchsten Grundwasserstände der vergangenen 5 Jahre wurden im März 2019 gemessen. Vergleichbar hohe Grundwasserstände traten auch im Februar 2022 auf.

Auffällig ist die Ganglinie des B 3/2017 am nordöstlichen Rand des Steinbruches auf dem Steltenberg. Dort waren in den Wintermonaten 2018 bis 2020 die Grundwasserstände sehr stark bis maximal etwa 155 mNN bis 170 mNN angestiegen. In den Wintermonaten Anfang 2021 und Anfang 2022 stieg das Grundwasser in B 3/2017 aber nur noch bis etwa 135 mNN und damit nur wenig über den generellen Niedrigstand in dieser Messstelle, der bei etwa 131 mNN liegt. Die Messstelle liegt im Bereich der Wasserscheide im Massenkalk und gleichzeitig im Bereich einer Nord-Süd verlaufenden Störungszone, die den Massenkalk am Steltenberg quert. Ein seitlicher Grundwasserzustrom erfolgt nur aus Norden, von dort aber nur in sehr geringem Maße, da die anstehenden Flinzschiefer eine nur sehr geringe Wasserführung aufweisen. Die Grundwasserstände in der B 3/2017 sind daher im Wesentlichen davon abhängig, wieviel Regenwasser dort in welcher Zeit versickern kann. Die Wasserscheide im Massenkalk ist nach den Gleichenplänen etwa von B 3/2017 nach Süden in den Bereich B 2/2017 zu verorten (s. Kap. 7.4). Möglicherweise hat das Auffahren des Steinbruches von Südwesten her bis nahe an die Messstelle B 3/2017 heran, bei dem die oberen Abbausohlen ab 2018 freigelegt wurden, einen Einfluss auf das Versickerungsgeschehen im Umfeld und damit indirekt auf die Grundwasserstände in B 3/2017. Hier kann nur die Entwicklung der kommenden Jahre zu den Ursachen weiter Aufschluss geben. Die Niedrigstände in den sommerlichen und herbstlichen Trockenphasen liegen in der B 3/2017 seit 2019 bei etwa 131 bis 132 mNN, nachdem zuvor im Jahr 2018 dort der Grundwasserstand im Sommer nur auf maximal etwa 138 mNN abgesunken war.

Bei Analyse der Ganglinien ab 2021 zeigt sich, dass die Grundwasserstände Anfang März ihren ersten Höchststand erreichten und bis Anfang Juli 2021 kontinuierlich absanken (Abb. 8-5). Das Hochwasserereignis am 14.07.2021 nach sehr starken Regenfällen zeigt sich deutlich in den allen Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk (siehe Abb. 8-6). In der Region sind innerhalb von zwei Tagen (13.07.2021 und 14.07.2021) extrem hohe Niederschlagsmengen gefallen. An der DWD-Station Iserlohn-Letmathe gab es 124 mm Niederschlag an den beiden Tagen, an der Messstelle Holthausen des LANUV wurden sogar 235 mm in 24 h an diesen Tagen aufgezeichnet. Das führte zu einem raschen Anstieg der Grundwasserstände im Steinbruch und im



gesamten Massenkalkgebiet innerhalb von Stunden. Vor allem in den Messstellen B 2/2017 und B 3/2017 zeigen die Ganglinien ein für den kluffreichen Massenkalk typisches Verhalten. Die Klüfte werden durch den Starkregen und das in der Folge versickernde Regenwasser sehr schnell aufgefüllt, sodass dort die Wasserstände innerhalb von 24 h um mehr als 20 m angestiegen sind. In der Messstelle B 2/2017 zeigt sich nach dem schnellen Wasserspiegelanstieg am folgenden Tag ein Absinken um etwa 8 m bevor es dann in einer zweiten Phase zu einem erneuten gedämpften Anstieg über mehrere Tage kam. Das lässt auf den zeitlich aufeinander folgenden Einfluss zunächst der großen Klüfte und Trennflächen (Störungen) mit schnellem Zufluss und auch Abfluss und dem folgenden Einfluss des kleineren (sekundären) Kluftsystems mit langsamerem und verzögertem Zufluss schließen. Die Messstelle B 3/2017 zeigt das ähnlich, wobei dort die Phase 2 mit dem Einfluss der kleineren Trennflächen kürzer und weniger stark ausgeprägt ist. Bei den Messstellen B 1/2017 im Steinbruch und BL 5 fehlt die erste Phase durch die großen Klüfte, hier kommt es zu einem ebenso schnell einsetzenden, aber gedämpften Anstieg des Grundwasserstandes über etwa 8 Tage (B 1/2017) oder 2 Tage (BL 5).

Nach dem Starkregenereignis im Juli sinken bis November 2021 die Grundwasserstände erneut ab, jedoch nicht unter das Niveau vor Juli 2021. Zum Jahresende folgt mit einsetzender witterungsbedingter Grundwasserneubildung ein kontinuierlicher Anstieg bis Ende Februar 2022. Dabei steigen die Grundwasserstände bedeutend stärker an als im Vorjahr, was auf überdurchschnittlich hohe Niederschläge zu Beginn des Jahres 2022 zurückzuführen ist. Anschließend zeigt sich ein jahrestypischer Abfall mit mehreren kleinen Anstiegen in Reaktion auf Niederschlagsereignisse, so wie z.B. im April 2022. Die Messstelle B 1/2017 wird durch die Auffüllversuche in der 50 m entfernt gelegenen Tiefbohrung im März 2022 hydraulisch beeinflusst, sodass dort kurzzeitige Wasserstandsanstiege um bis zu 5 m auftreten.

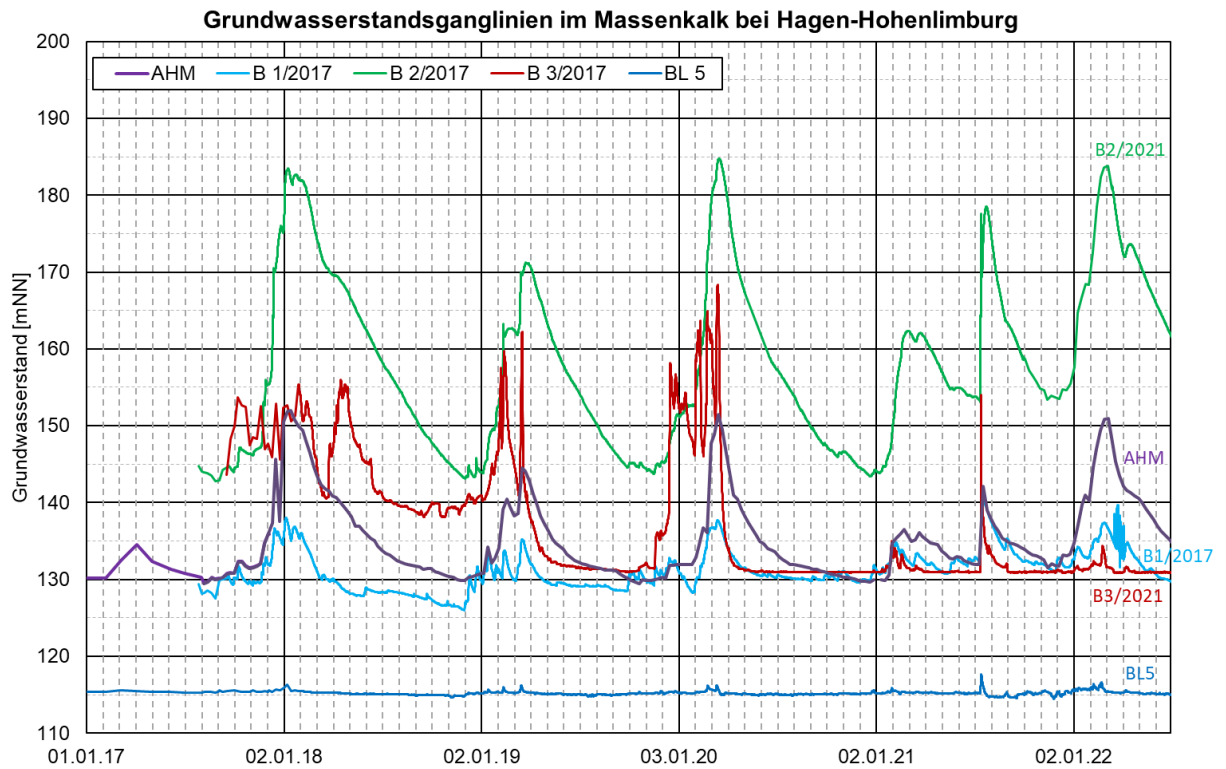


Abb. 8-4: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk bei Hagen-Hohenlimburg ab 2017

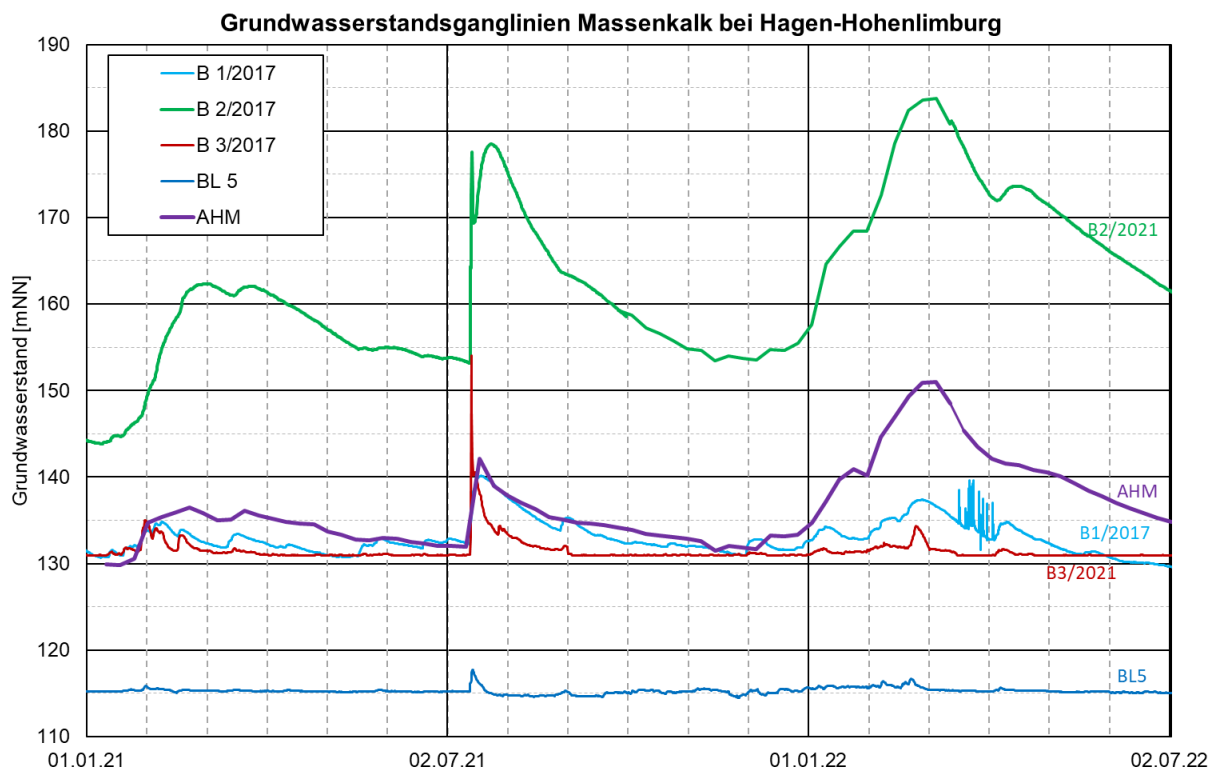


Abb. 8-5: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk bei Hagen-Hohenlimburg ab 2021

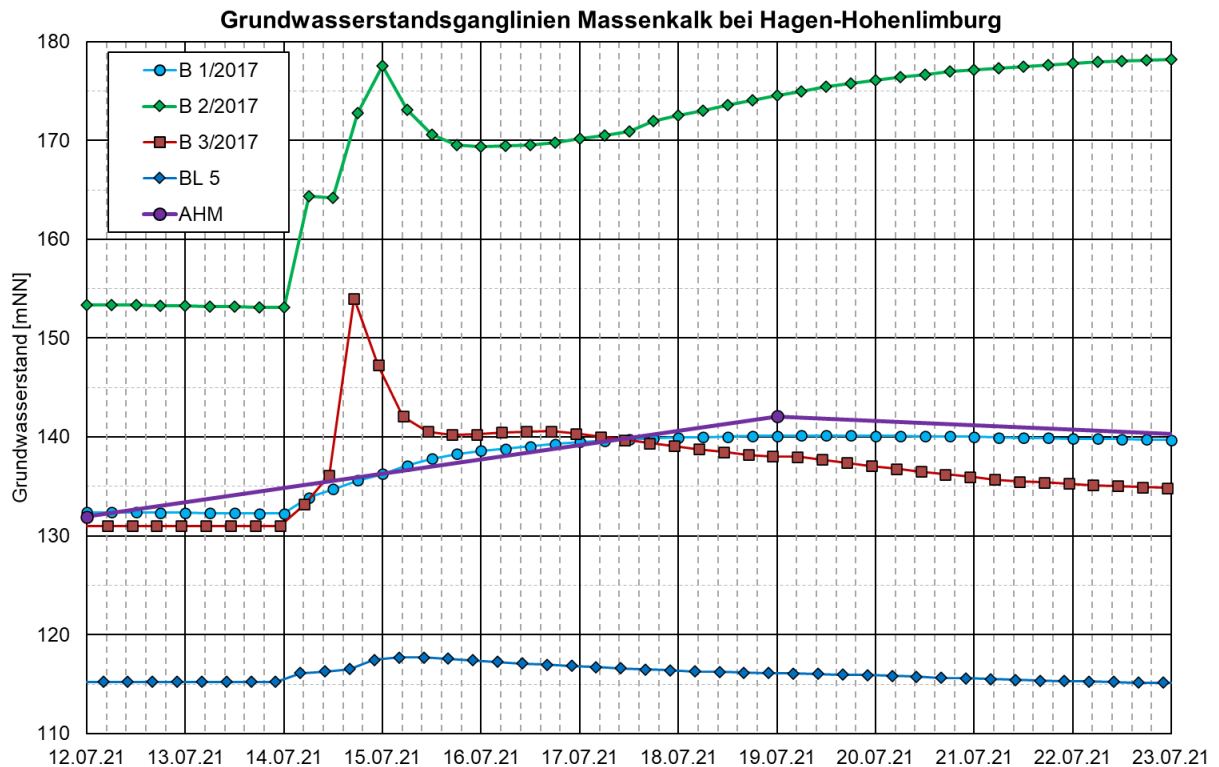


Abb. 8-6: Grundwasserstandsganglinien im Massenkalk bei Hagen-Hohenlimburg während und nach dem Starkregen- und Hochwasserereignis am 14.7.2021

Eine Zusammenfassung der statistischen Auswertungen der Grundwasserstände im Massenkalk und im Steinbruch im Zeitraum 2018 – 2021 ist in Tab. 8-3 dargestellt. Die Abb. 8-4 zeigt die Grundwasserganglinien ab 2017.

Die Grundwasserverhältnisse im Steinbruch werden am besten durch die B 1/2017 wiedergegeben. Demnach liegt der mittlere Grundwasserstand im Abbaubereich bei 130,95 mNN. Die höchsten Grundwasserstände wurden dort mit 140,13 mNN wenige Tage nach dem extremen Starkregenereignis vom 14.07.2021 gemessen. Die üblichen winterlichen Höchststände liegen dort sonst bei maximal 137,90 mNN. Der niedrigste Grundwasserstand in B 1/2017 wurde mit 126,02 mNN im sehr trockenen Jahr 2018 (01.12.2018) gemessen.

Da die Grundwasseroberfläche im Bereich des Steinbruches nach Osten ansteigt (s. Kap. 8.4), sind im östlichen Abbaubereich etwas höhere mittlere und auch höchste Grundwasserstände zu erwarten, als in B 1/2017. Die B 3/2017 am nordöstlichen Rand des Abbaus weist einen mittleren Grundwasserstand von 136,98 mNN auf. Diese Messstelle liegt aber im Einflussbereich einer Querstörung, was die von den übrigen Messstellen im Massenkalk etwas abweichenden Ganglinienverläufe und die sehr hohen Schwankungsbreiten zeigt. Daher ist für den östlichen Abbaubereich ein etwas



niedrigerer mittlerer Grundwasserstand von etwa 134 mNN anzunehmen. Für den Steinbruch ergibt sich so ein mittlerer Grundwasserstand zwischen etwa 131 mNN im Westen und etwa 134 mNN im Osten. Die Abbauböschungen im östlichen Teil des Steinbruches zeigen bei der Klüftigkeit, den Bank- und Schichtmächtigkeiten und dem Trennflächengefüge ähnliche Verhältnisse wie an der westlichen Wand bei B 1/2017.

Der maximale Grundwasserstand in B 3/2017 von 168,36 mNN ist, wie die Ganglinie auf Abb. 8-4 zeigt, durch sehr kurzzeitige Wasserstandspitzen in der Folge von Niederschlägen und dem schnellen „Auffüllen“ der Klüfte und Störungszonen im Nahbereich der Messstelle verursacht und so nicht auf den Steinbruch übertragbar.

Die Messstelle B 2/2017 weist einem mittleren Wasserstand von 160,04 mNN auf, der deutlich höher liegt als in den übrigen Messstellen im Massenkalk. Auch die Schwankungsbreite ist hier ähnlich hoch wie in B 3/2017 und deutlich höher als in den übrigen Messstellen. Diese Messstelle ist beeinflusst durch die geringen Durchlässigkeiten im zentralen und südlichen Teil des Massenkalkzuges (s. Kap. 8.3). Auch deren Wasserstände sind so nicht übertragbar auf den Abbaubereich.

Der zu erwartende höchste Grundwasserstand zeHGW im östlichen Teil des Steinbruches wurde im Gutachten Köhler & Pommerening (2018) mit 155 mNN berechnet. Datengrundlage waren langjährige Ganglinien, insbesondere der Messstelle AHM, und die Daten der neuen im Jahr 2017 errichteten Grundwassermessstellen B 1/2017 und B 3/2017. Unter Berücksichtigung der neuen Grundwasserstandsdaten aus den Jahren 2018 bis 2021 ergibt sich zu der Berechnung aus dem Jahr 2018 keine grundsätzliche Veränderung. In der B 3/2017 wurde zwar am 14.03.2020 ein maximaler Grundwasserstand von 168,36 mNN gemessen, der deutlich über dem zeHGW für den Steinbruch liegt. Wie oben beschrieben, zeigt die B 3/2017 aber einen Ganglinienverlauf, der vermutlich durch tektonische Störungen beeinflusst und nicht auf den Steinbruch übertragbar ist. Die Messstelle AHM als langjährige Referenzmessstelle für den Steinbruchbereich zeigte seit 2018 keine höheren Grundwasserstände als in den Jahren zuvor, sondern mit 152,06 mNN einen um etwa 10 m tieferen maximalen Grundwasserstand als im Zeitabschnitt 2002 – 2018 (s. Tab. 8-2, Tab. 8-3, Abb. 8-1). Daher muss für den Steinbruch weiterhin ein zeHGW = 155 mNN angesetzt werden. Ein höher anzusetzender Wert hierfür ist aus den Messdaten nicht abzuleiten.

In der vom Grundwasser im Lenne-Kies beeinflussten BL 5 ist die Amplitude mit nur etwa 3,2 m am geringsten. Hier liegt der mittlere Grundwasserstand bei 115,15 mNN und damit nur geringfügig über dem Wasserstand der Lenne und des quartären Kiesgrundwasserleiters.



Tab. 8-3: Statistische Auswertung der Grundwasserstände 2018 – 2021

Grundwassermessstelle	2018 – 2021			
	Mittl. GwStand	Max. GwStand	Min. GwStand	Amplitude
	mNN	mNN	mNN	m
AHM	135,23	152,06	129,89	22,17
HKW-BL 5	115,15	117,68	114,47	3,21
B 1/2017 – Sohle 7	130,95	140,13	126,02	14,09
B 2/2017 – AHMneu	160,04	183,47	143,13	40,34
B 3/2017 – Steltenberg	136,98	168,36	130,89	37,47

Betrachtet man die Grundwasser-Niedrigstände, die sich in den Sommer und Herbstmonaten während längerer Trockenphasen einstellen (Abb. 8-4), lässt sich der Massenkalkzug im Untersuchungsraum hydrogeologisch etwa 3 Abschnitten zuordnen:

- Nahbereich zum Lennetal: mittlerer Niedrigwasserstand (MNW) = ca. 115 – 120 mNN. Grundwasserstand etwa auf Lenne-Niveau oder etwas darüber (BL 5).
- Abschnitt Steinbruch Steltenberg, nordwestlicher und nordöstlicher Teil des Massenkalkzuges bis Ahm: MNW = ca. 128 mNN – 132 mNN (AHM, B 1/2017, B 3/2017).
- Südlicher (zentraler) Abschnitt des Massenkalkes: sehr hoher Grundwasserstand, auch in Trockenphasen, MNW > 140 mNN (B 2/2017).

8.2.4 Grundwasserstände in den Schiefergebieten nördlich und südlich vom Massenkalk

Die Grundwasserstände in den Flinzschiefern, die nördlich im Hangenden des Massenkalks anstehen, zeigt die Grundwassermessstelle B 8/2021 für den Zeitraum ab Dezember 2021 (Abb. 8-7). Die Grundwasserstände stehen dort deutlich, um mehrere 10er Meter, höher als im Massenkalk bei etwa 210 mNN bis 215 mNN. Der winterliche Höchststand lag hier bei 215,43 mNN am 28.02.2022. Der bisherige Niedrigstand im Juni 2022 liegt bei 210,45 mNN. Die Amplitude der Grundwasserstände im Flinzschiefer im Zeitraum 12/2021 bis 6/2022 beträgt etwa 5 m.

Die Grundwasserstände in den liegenden Schichten des Massenkalks, den Oeger-Schichten und Saat-Schichten, zeigt die Grundwassermessstelle B 9/2021 (Abb. 8-8). Dort steht das Grundwasser bei etwa 144 mNN – 146 mNN an. Damit liegt der Grundwasserstand dort höher als im Massenkalk an den Messstellen B 1/2017, B 3/2017



und AHM, aber niedriger als in der B 2/2017 im südlichen Abschnitt des Massenkalkes. Die Schwankungen im Jahresverlauf sind in der B 9/2021 mit etwa 1,5 m nur gering. Die bisherigen Höchststände wurden im Februar 2022 erreicht (145,87 mNN am 21.02.2022), die bisherigen Niedrigstände im Januar 2022 (144,35 mNN am 24.01.2022). Die Amplitude der Grundwasserstände in den Oeger Schichten im Zeitraum 12/2021 bis 6/2022 beträgt etwa 1,5 m.

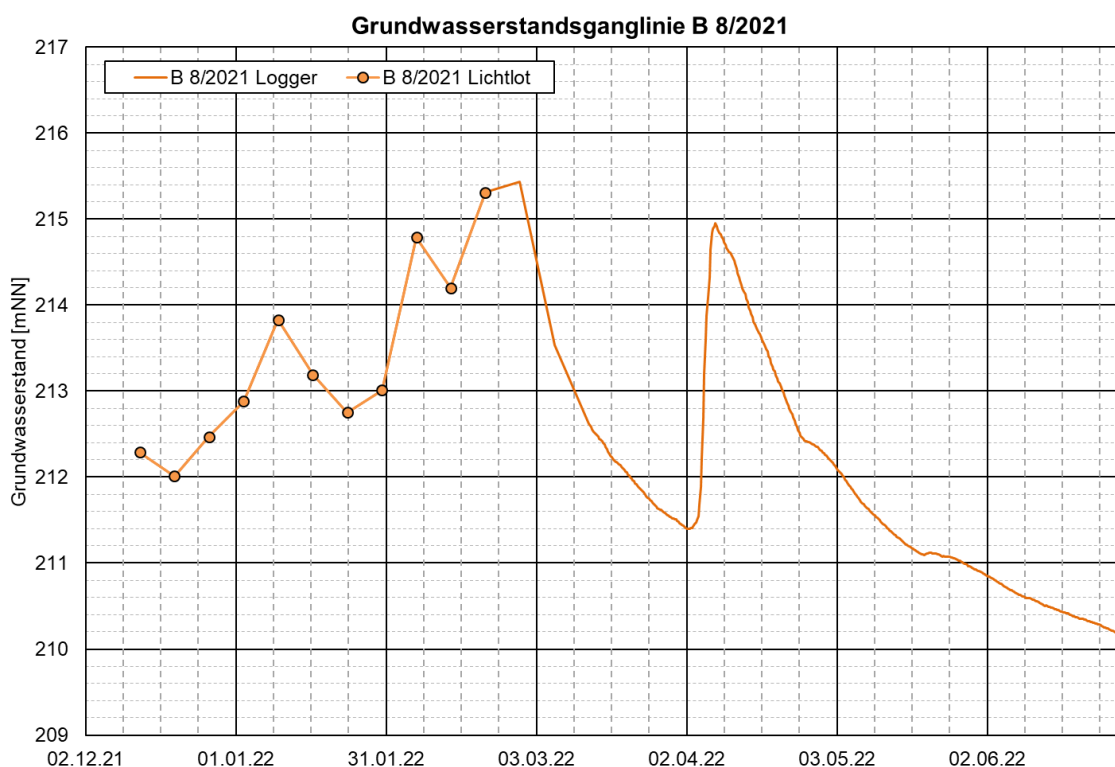


Abb. 8-7: Grundwasserganglinie B 8/2021 in den hangenden Flinzschiefern

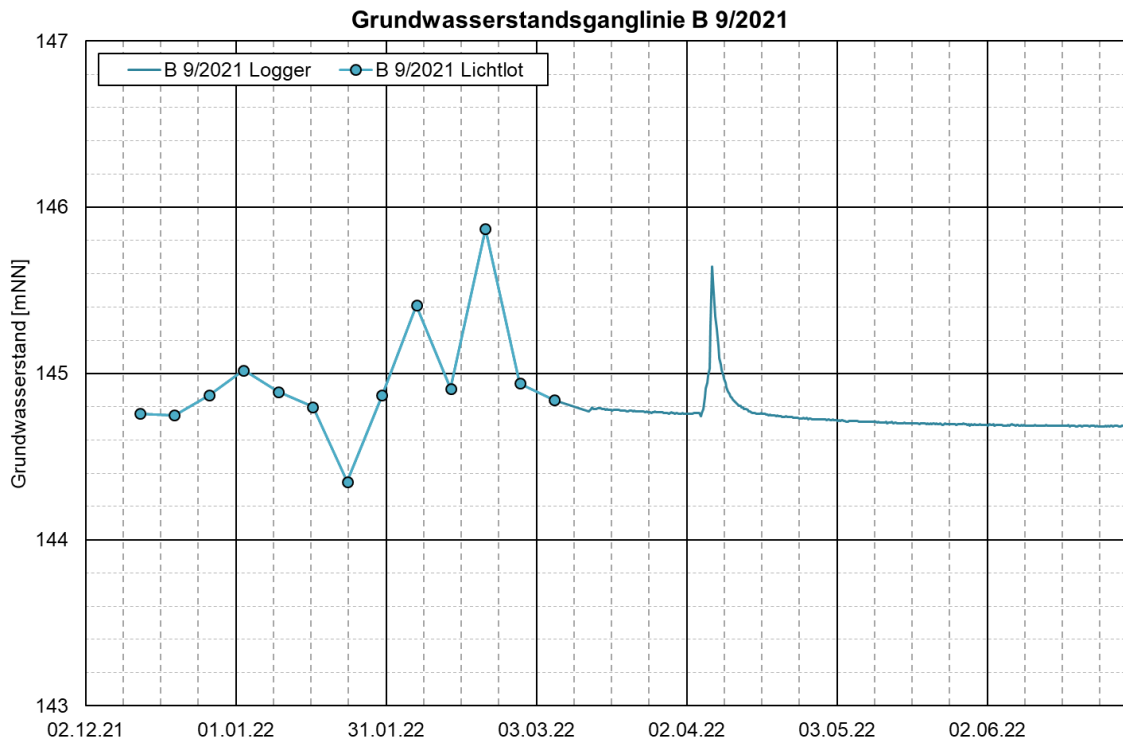


Abb. 8-8: Grundwasserganglinie B 9/2021 in den Oeger/Saat-Schichten südlich vom Massenkalk

8.2.5 Grundwasserstände in den quartären Lennekiesen und Wasserstand der Lenne

Der Grundwasserstand in den quartären Lennekiesen wird seit Ende März 2022 durch einen Datenlogger aufgezeichnet, der in einem stillgelegten Betriebsbrunnen der Fa. BILSTEIN GMBH & CO. KG, etwa 600 m südwestlich vom Steinbruch, installiert ist. Abb. 8-9 zeigt die Ganglinie des Grundwassers in den Lennekiesen. Zum Vergleich ist die Ganglinie der Grundwassermessstelle BL 5 in dem bereits durch den Lenne-Wasserstand beeinflusstem Übergangsbereich zwischen Massenkalk und Lennekiesen und die Ganglinie des Lenne-Wasserstandes am Pegel Hagen-Hohenlimburg dargestellt. Die Ganglinie des Betriebsbrunnens zeigt einen weitgehend dem Lenne-Wasserstand folgenden Verlauf. Zu erkennen sind zudem geringe Schwankungen des Brunnenwasserstandes sowie starke, temporäre Absenkungen des Grundwasserstandes um bis zu 1,5 m unter Einfluss der Wasserentnahme durch Pumpen. Während des Pumpversuchs im Brunnen Bilstein wurde für diese eine Wasserentnahme von ca. 1 m³/h sowie ca. 14 m³/h ermittelt. Diese kurzzeitigen Beeinflussungen des Grundwasserstandes durch nahegelegenen Pumpbetrieb oder durch das kurzzeitige Anspringen der Pumpe



im Brunnen Bilstein sind vergleichsweise gering und zuordenbar, sodass die Grundwassermessstelle in ausreichendem Maße zur Beobachtung der quartären Grundwasserstände dienen kann.

Im Vergleich mit dem Wasserstand in der Grundwassermessstelle BL 5 liegt der Grundwasserstand im Brunnen Bilstein etwa 1 m höher. Dies ist im Grundwasserströmungsbild und dem Einfluss des Stauwehres Oege begründet (vergl. Anlagen 3 bis 5). Zu erkennen ist zudem, dass der Grundwasserstand im Brunnen weniger ausgeprägt auf Niederschlagsereignisse reagiert und die Ganglinie keine sprunghaften Anstiege wie in der BL 5 zeigt (vgl. Abb. 8-9).

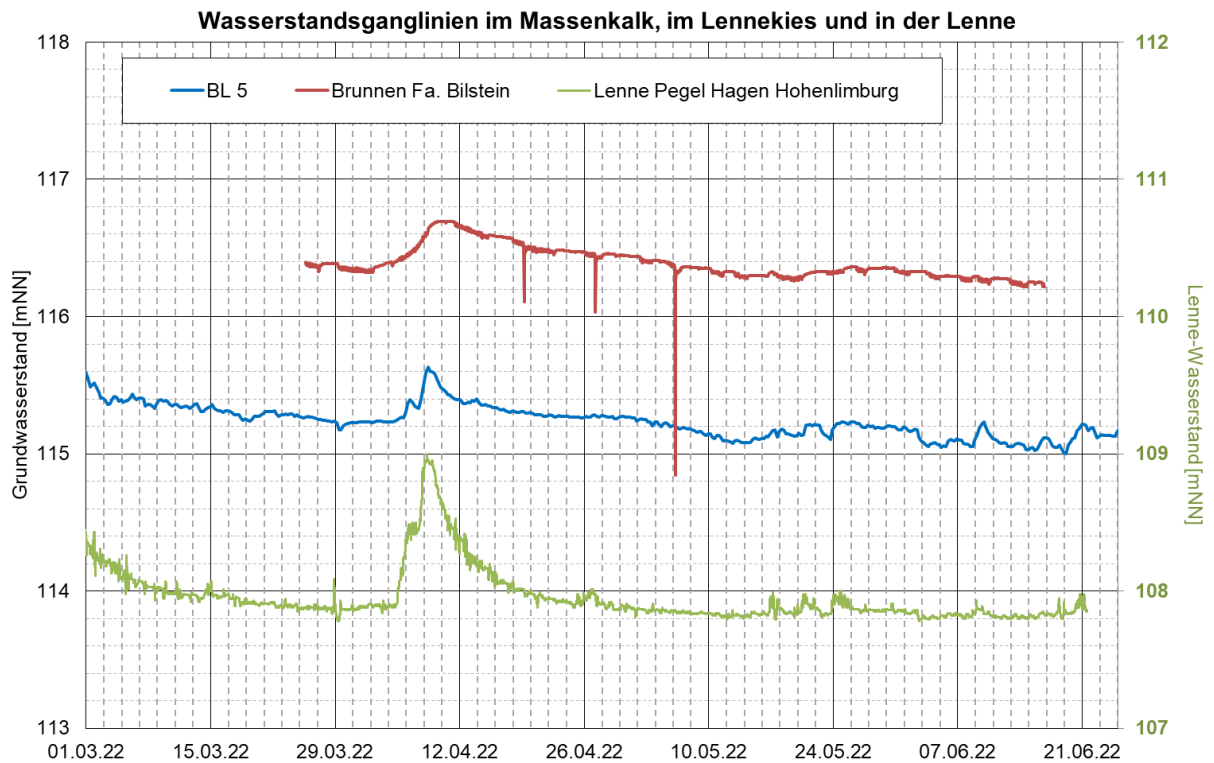


Abb. 8-9: Grundwasserstand Brunnen Bilstein in den quartären Lennekiesen, BL 5 im Massenkalk sowie Wasserstand der Lenne am Pegel Hagen-Hohenlimburg

8.3 Hydrogeologische Kennwerte

In den Grundwassermessstellen des Untersuchungsnetzes im Steinbruch Steltenberg und der Umgebung wurden Pumpversuche und andere hydraulische Test zur Ermittlung hydrogeologischer Kennwerte durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tab. 8-4 tabellarisch zusammenfassend dargestellt sowie in der Anlage 11 bezüglich der Auswerteverfahren dokumentiert.



Für den Massenkalk östlich des Steinbruchs kann auf Grundlage der Pumpversuche in den Messstellen B 2/2017 und B 3/2017 generell eine eher geringe bis mittlere Durchlässigkeit von $k_f = 6 \cdot 10^{-7}$ m/s bis $3 \cdot 10^{-6}$ m/s angesetzt werden.

Für den Steinbruchbereich zeigen die hydraulischen Versuche an der Tiefbohrung, die am offenen Bohrloch während der Bohrarbeiten bei unterschiedlichen Bohrtiefen bis 230 m u GOK durchgeführt wurden, Durchlässigkeiten von $k_f = 7 \cdot 10^{-7}$ bis $k_f = 4 \cdot 10^{-6}$ m/s (siehe Tab. 8-5). Hier wurden während der Bohrarbeiten Ende März bis Anfang April 2022 mehrere Auffüllversuche und Wiederanstiegsversuche nach vorherigem Ausblasen einer Wassersäule durchgeführt, bei denen der Grundwasserstand im Bohrloch kontinuierlich durch einen Logger aufgezeichnet wurde. Ein Wert von $k_f = 1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s wurde für den gesamten untersuchten Aquiferabschnitt zwischen der Grundwasseroberfläche und etwa 230 m Tiefe (= Grundwasserbereich zwischen etwa +140 mNN bis -60 mNN) festgestellt. Bei einem Pumpversuch in B 1/2017 im Steinbruch wurde eine Durchlässigkeit von $k_f = 3 \cdot 10^{-7}$ m/s ermittelt. Insgesamt ist die Durchlässigkeit nach den Versuchen im Steinbruch ebenfalls als gering bis mittel einzustufen.

Die im Hangenden zum Massenkalk anstehenden Flinzschiefer weisen nach dem Pumpversuch in B 8/2021 eine sehr geringe Durchlässigkeit von $k_f = 1 - 2 \cdot 10^{-7}$ m/s auf, was als typisch für die anstehenden Tonschiefer einzustufen ist. Bei einer sehr geringen Pumprate von 0,4 m³/h wurde eine Absenkung von mehr als 10 m erzeugt.

Die kalkig, sandigen Tonsteine im Liegenden des Massenkalks (Oeger Schichten, Saat Schichten) zeigen aufgrund der Lithologie eine geringe bis mittlere Durchlässigkeit, die etwa der Durchlässigkeit des Massenkalkzuges nahekommt. In der B 9/2021 wurde bei einem Pumpversuch in der ersten kurzen Phase für den Nahbereich der Messstelle mit $k_f > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s relativ hohe Durchlässigkeiten ermittelt. Im weiteren Absenkungsverlauf stellten sich dann für das weitere Umfeld eher geringe Durchlässigkeiten mit $k_f = < 1 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$ m/s deutlich geringere Durchlässigkeiten ein. Ein stationärer Absenkungszustand wurde beim Pumpversuch nicht erreicht.

Der Pumpversuch im Brunnen Bilstein hat eine für die quartären Lennekiese typische, sehr hohe Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s ergeben.



Tab. 8-4: Ergebnisse der hydraulischen Versuche an den Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet

Messstelle	Durchlässigkeit k_f	Versuche	Geolog. Einheit
	m/s		
B 1/2017	$3 \cdot 10^{-7}$	Pumpversuch	Massenkalk
B 2/2017	$1 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-6}$	Pumpversuch	
B 3/2017	$6 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-6}$	Pumpversuch	
B 8/2021	$1 - 2 \cdot 10^{-7}$ (PV = $9 \cdot 10^{-8} - 9 \cdot 10^{-7}$)	Pumpversuch	Hangende Flinzschiefer, Tonstein
B 9/2021	$< 1 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$	Pumpversuch	Saat Schichten, Oeger Schichten, Tonstein
Br. Bilstein	$2 \cdot 10^{-4}$	Pumpversuch	Lennekiese

Tab. 8-5: Ergebnisse der hydraulischen Versuche an der Tiefbohrung im Massenkalk im Steinbruch Steltenberg (Auffüllversuche, Wiederanstiegsversuche)

Datum	Durchlässigkeit k_f	Versuch
	m/s	Bohrloch GOK = 165 mNN, GwStand ca. 132 mNN (33 m u. GOK)
21.03.2022	$4,1 \cdot 10^{-6}$	Auffüllversuch, Bohrloch 65 m tief,
25.03.2022	$6,7 \cdot 10^{-7}$	Auffüllversuch, Bohrloch 182 m tief
05.04.2022	$1,3 \cdot 10^{-6}$	Auffüllversuch, Bohrloch 230 m tief
01.04.2022	$1,3 \cdot 10^{-6}$	Wiederanstieg nach Ausblasen, Bohrloch 230 m tief
04.04.2022	$1,5 \cdot 10^{-6}$	Wiederanstieg nach Ausblasen, Bohrloch 230 m tief

8.4 Grundwasserströmungsverhältnisse

Die Grundwasserströmungsverhältnisse im Untersuchungsraum werden anhand von 3 Grundwassergleichenplänen für unterschiedliche Grundwasserstände dargestellt:

- Anlage 3 zeigt die Grundwasserstände und das Grundwasserströmungsfeld für etwa mittlere bis niedrige Grundwasserstände am Stichtag 13.06.2022.
- Anlage 4 zeigt das Grundwasserströmungsfeld für sehr niedrige Grundwasserstände am 23.12.2020.
- Anlage 5 zeigt das Grundwasserströmungsfeld für sehr hohe Grundwasserstände am 28.02.2022.

Das Grundwasserströmungsfeld für mittlere bis niedrige Grundwasserstände stellt die Anlage 3 auf der Grundlage der Messungen vom 13.6.2022 dar. Ausgehend von der Grundwasserscheide etwa 100 bis 300 m östlich vom Steinbruch strömt das Grundwasser im Massenkalk nach Osten und nach Westen jeweils zur Lenne hin ab. Die



Wasserscheide kann bei B 2/2017 mit einer Höhenlage von 164,51 mNN lokalisiert werden. Nach Norden biegt die Wasserscheide vermutlich etwas nach Osten ab. Die B 3/2017 am Nordostrand des Steinbruches zeigt mit 130,97 mNN einen vergleichsweise niedrigen Grundwasserstand. Im Steinbruch liegen die Grundwasserstände bei etwa 130 – 135 mNN. Vom Steinbruch bis zum Lennetal sinkt die Grundwasseroberfläche auf etwa 115 mNN ab. Im BL5 liegt die Grundwasseroberfläche bei 115,21 mNN und damit nur wenig höher als in der Lenne, was darauf hinweist, dass diese Messstelle im Einflussbereich des quartären Grundwassers liegt. Im Br. Bilstein liegt die Grundwasseroberfläche mit 116,26 mNN etwa 1 m höher als im BL 5, was durch das Stauwehr Oege verursacht wird. Der Br. Bilstein wird durch die höheren Lenne-Wasserstände oberhalb vom Wehr beeinflusst. Die Grundwasserstände in den Hangenden Schiefen im B 8/2021 sind mit 210,55 mNN um mehr als 70 m höher als im Massenkalk, was auf die hydraulische Trennung zwischen Schiefergebieten und Massenkalk hinweist. In B 9/2021 liegt der Grundwasserstand mit 144,69 mNN höher als im Kalkzug, mit Ausnahme des B 2/2017 im Bereich der Wasserscheide.

Das Grundwasserströmungsfeld für niedrige Grundwasserstände basiert auf dem Stichtag 23.12.2020 (Anlage 4). Es zeigt sich ein grundsätzlich mit den Strömungsverhältnissen am 13.06.2022 (mittlere-niedrige Grundwasserstände) vergleichbares Bild. Die Grundwasserscheide liegt etwa an gleicher Stelle, der Grundwasserstand in B 2/2017 ist mit 145,98 mNN aber deutlich niedriger. Auch die Grundwasserstände östlich der Wasserscheide sind deutlich niedriger, während im Bereich des Steinbruches etwa gleiche Wasserstände, wie am 13.06.2022 herrschen.

Bei hohen Grundwasserständen am 28.02.2022 steigt die B 2/2017 im Bereich der Wasserscheide sogar auf mehr als 180 mNN an. Im Steinbruch liegt die Grundwasseroberfläche bei 137,31 mNN (B 1/2017) und steigt östlich auf etwas über 140 mNN an.

Vor allem in den Messstellen B 2/2017 und B 3/2017 sind die Differenzen zwischen Hoch- und Niedrigständen mit etwa 38 m besonders groß, während in der Messstelle AHM im Osten die Niedrigstände etwa 18 m tiefer liegen. In der Messstelle B 1/2017 im Steinbruch beträgt die Differenz nur ca. 8 m, in der Messstelle BL 5 ist es weniger als 1 m.

Das Grundwasserströmungsfeld bei niedrigen, mittleren und hohen Grundwasserständen zeigt insgesamt nur geringe Unterschiede, insbesondere beim Gefälle. Die Wasserscheide im zentralen Bereich des Massenkalkzuges ist relativ ortsfest.

Auffällig am Gleichbild bei Niedrigständen ist das deutlich geringere hydraulische Gefälle im westlichen Teil des Kalkzuges im Vergleich zum östlichen Abschnitt. Dies



zeugt von höheren Durchlässigkeiten im Massenkalk im Steinbruch im Gegensatz zum Massenkalkabschnitt östlich der großen Querstörung. Vom Steinbruch aus nach Westen im Übergang zum Lennetal versteilt sich das hydraulische Gefälle wieder mehr, was auf dort etwas geringere Durchlässigkeiten als im Steinbruch hinweist.

Die Wasserscheide liegt im Bereich östlich des Steinbruchs, sehr wahrscheinlich gebunden an die dortige Querstörung. Allerdings lässt sich der extrem hohe Grundwasserstand in B 2/2017 nicht mehr in ein gleichmäßiges Strömungsfeld einbinden. Mit der an die Nord-Süd-Störung gebundenen hydraulischen Grenze und dem östlich davon gelegenen Bereich kompakter und weniger stark geklüfteter Kalksteine führt hier die Grundwasserneubildung zu einem deutlich höheren, lokalen Ansteigen des Wasserstandes und Auffüllen des Speicherraumes (Kluftvolumen). Dabei kommt es gleichzeitig aufgrund geringerer Durchlässigkeit nur zu einem geringen horizontalen Abstrom. Die vertikale Versickerung überwiegt hier temporär deutlich dem horizontalen Abstrom des Grundwassers über das Trennflächensystem.

Die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers im Bereich des Steinbruches lässt sich nach Folgender Gleichung bestimmen:

$$v = \frac{k_f \cdot I}{n_{sp}}$$

Mit:

v = Abstandsgeschwindigkeit [m/s]

k_f = Durchlässigkeitsbeiwert

I = hydraulisches Gefälle

n_{sp} = effektiver Porenanteil/Kluftvolumen

Bei einer mittleren Durchlässigkeit von $k_f = 2 \cdot 10^{-6}$ m/s, einem hydraulischen Gefälle von $I = 0,032$ (B 1/2017 = 130,95 mNN, BL 5 = 115,15 mNN, Entfernung B 1/2017 bis BL 5 = 500 m) und einem für den Massenkalk anzusetzenden mittleren effektiven Kluftvolumen von $n_{sp} = 1 \% = 0,01$ errechnet sich eine Abstandsgeschwindigkeit von:

$v = 0,55$ m/Tag (= 202 m/Jahr).

Das Grundwasser in den Hangenden Schiefen im Norden ist vom Massenkalk hydraulisch entkoppelt. Die Schiefer sind als Grundwassernichtleiter und in schluffigen Lagen als Grundwassergeringleiter einzustufen. Das Grundwasser strömt darin sehr langsam, vermutlich generell der Morphologie folgend, vorrangig nach Norden. In den südlich vom Massenkalk gelegenen Oeger Schichten und Saat Schichten erfolgt ein Grundwasserabstrom vorwiegend nach Süden in Richtung zur Lenne.



8.5 Quellen

In einem Hangschuttbereich innerhalb der Flinzschiefer entspringt etwa 500 m nord-östlich des Steinbruchs ein kleines Gewässer, welches nach etwa 300 m Fließstrecke in Richtung Osten den Massenkalk erreicht und dort im Bereich einer Doline versickert.

Ein weiterer kleiner Bachlauf entspringt innerhalb der Oeger-Schichten, südlich des Ahm und fließt intermittierend nach Südosten ab. Hier besteht keine hydraulische Verbindung zum Massenkalk.

Beide Gewässer waren bei Vor-Ort Begehungen im April und im Juni 2022 trocken und führen wohl nur nach sehr starken Niederschlägen temporär Wasser.

8.6 Hydrochemie

Im Jahr 2018 wurden Wasserproben aus den Grundwassermessstellen B 2/2017 und B 3/2017 im Labor auf Hauptionen und anorganische Nebeninhaltsstoffe untersucht. Im Jahr 2022 wurden weitere Proben aus der B 8/2021, der B 9/2021, der Tiefenbohrung, der Messstelle B 1/2017, dem Brunnen Bilstein und der Lenne genommen und ebenfalls auf die Hauptionen und die wichtigen Nebeninhaltsstoffe im Labor analysiert. Die Ergebnisse dieser Analytik sind in den Tabellen Tab. 8-6 und Tab. 8-7 aufgeführt. Die Abb. 8-10 zeigt außerdem Leitfähigkeits-Tiefenprofile der Grundwassermessstellen. Zu den Analyse-Ergebnissen lässt sich Folgendes zusammenfassen:

- Die Haupt-Kationen sind Calcium, Magnesium und Natrium, die Haupt-Anionen sind Hydrogencarbonat, Chlorid und Sulfat.
- In der Messstelle B 2/2017 auf der Ahm ist die Calcium-Konzentration im Massenkalk mit 137 mg/l am höchsten, in der Tiefenbohrung mit 54,2 mg/l am niedrigsten. Nur die Lenne weist mit 35,6 mg/l einen noch niedrigeren Calcium-Gehalt auf. Die B 2/2017 zeigt ebenfalls den höchsten Gehalt an Hydrogencarbonat von 410 mg/l.
- Die Messstelle B 3/2017 am nördlichen Rand des Steinbruchs zeigt im Gegensatz zu der B 2/2017 einen deutlich geringeren Calcium-Gehalt bei gleichzeitig deutlich höherem Magnesium-Gehalt (51,4 mg/l). Während der Hydrogencarbonat- und der Chlorid-Gehalt in dieser Messstelle leicht niedriger als in der B 2/2017 sind, sind der Sulfat- und Nitrat-Gehalt leicht höher.
- Die nördlich des Steinbruchs in den Flinzschiefern gelegene Messstelle B 8/2021 zeigt im Vergleich mit der B 2/2017 und der B 3/2017 vor allem beim



Hydrogencarbonat eine deutlich geringere Mineralisation von 230 mg/l. Die Gehalte an Magnesium, Chlorid und Nitrat liegen ebenfalls unter den jeweiligen Gehalten im Massenkalk. Die Konzentrationen von Natrium und Sulfat liegen in einem mit dem Massenkalk vergleichbaren Bereich.

- Die südlich des Steinbruchs in den Oeger-Schichten gelegene B 9/2021 zeigt, ähnlich wie die B 8/2021, einen niedrigeren Hydrogencarbonat-Gehalt von 200 mg/l. Der Magnesium-Gehalt an dieser Messstelle ist etwas niedriger als im Massenkalk, die Gehalte an Natrium und Chlorid dagegen höher. Die Calcium- und Sulfat-Konzentrationen liegen in einem mit dem Massenkalk vergleichbaren Bereich.
- Das Grundwasser der Tiefenbohrung zeigt im Vergleich zum Massenkalkzug geringere Gehalte der Inhaltsstoffe Calcium, Magnesium, Hydrogencarbonat und Nitrat. Besonders der Hydrogencarbonat-Gehalt ist mit 130 mg/l deutlich niedriger als in den Messstellen B 2/2017 und B 3/2017. Die Natrium- und Sulfat-Konzentrationen sind dagegen deutlich höher.
- Die im Steinbruch gelegene Messstelle B 1/2017 zeigt mit dem Grundwasser in der Tiefenbohrung vergleichbare Mineral-Gehalte, wobei die Magnesium-, Hydrogencarbonat- und Nitrat-Konzentration etwas höher liegen als in der Tiefenbohrung.
- Im Brunnen Bilstein wurden die höchsten Natrium-, Chlorid-, Sulfat- und Kalium-Konzentrationen analysiert (28,8 mg/l, 46 mg/l, 94 mg/l und 5,27 mg/l). Die Gehalte an Calcium und Magnesium befinden sich im Bereich der anderen Messstellen. Der Hydrogencarbonat-Gehalt liegt mit 180 mg/l auf einem ähnlichen Niveau wie im Steinbruch an der B 1/2017.
- Die Lenne zeigt von allen analysierten Wassern die geringsten Calcium- und Hydrogencarbonat-Konzentrationen (35,6 mg/l und 90 mg/l). Auch der Magnesium-Gehalt ist geringer als im Massenkalk (B 2/2017 und B 3/2017), während die Natrium- und Chlorid-Gehalte höher liegen als im Massenkalk.
- Generell zeigen die Analysen für die anstehenden Gesteine typisches, geogen geprägtes Grundwasser. Das Grundwasser ist stärker karbonatisch geprägt als das Grundwasser in den übrigen Festgesteins- und Lockergesteinsbereichen. Die Gehalte an Schwermetallen liegen in allen beprobten Messstellen unterhalb der Bestimmungsgrenze oder nur geringfügig höher.
- Das Grundwasser im östlichen Teil des Massenkalkzuges ist höher mineralisiert (B 2/2017, B 3/2017, AHM – Leitfähigkeit > 700 μ S/cm), als das Grundwasser im Steinbruch (B 1/2017, Tiefbohrung – Leitfähigkeit 450 – 600 μ S/cm) (siehe



Leitfähigkeits-Tiefenprofile, Abb. 8-10). Auch die Ergebnisse der Grundwasseranalysen weisen Unterschiede für diese beiden Bereiche auf. Das zeigt hydrochemisch die Trennung des Grundwasserabstroms nach Osten und nach Westen. Die B 3/2017 zeigt in der Tiefe eine geringere Leitfähigkeit als im oberen Abschnitt, sie liegt im Bereich der Grundwasserscheitelung im Massenkalk.



Tab. 8-6: Ergebnisse der Grundwasseranalytik (1)

Labor		Eurofins	Eurofins	Eurofins	Eurofins
Probennummer		018045016	018059965	122037137	122029765
Bezeichnung der Messstelle		B 2/2017 AHM_neu	B 3/2017 Steltenberg	B 9/2021 Am Sonnen- berg	B 8/2021 Im Ostfeld
Datum der Proben- ahme	-	06.03.2018	23.03.2018	21.03.2022	06.03.2022
Physikalisch-chemische Kenngrößen					
Temperatur	°C			21,5	22,1
pH-Wert	-	7,0	7,4	7,4	7,3
Elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	763	764	544	460
Kationen					
Ca	mg/l	137	78,3	83,7	78,5
Mg	mg/l	14,7	51,4	6,2	8,17
Na	mg/l	4,2	5,11	18,6	6,4
K	mg/l	0,5	1,23	1,43	1,04
Fe	mg/l	0,008	0,027	0,033	0,021
Mn	mg/l	0,001	0,013	0,008	0,042
NH ₄	mg/l	< 0,06	< 0,06	-	-
Al	mg/l	< 0,01	< 0,01	-	-
As	mg/l	< 0,001	0,01	<0,001	< 0,001
Pb	mg/l	< 0,001	< 0,001	<0,001	< 0,001
Cd	mg/l	< 0,0002	< 0,0002	<0,0002	< 0,0002
Cr	mg/l	0,002	<0,001	<0,001	< 0,001
Cu	mg/l	0,001	0,006	-	< 0,001
Ni	mg/l	0,002	0,004	<0,001	0,002
Hg	mg/l	< 0,0001	< 0,0001	<0,0001	< 0,0001
Zn	mg/l	0,014	0,046	0,019	0,042
Anionen					
HCO ₃	mg/l	410	380	200	230
Cl	mg/l	21	14	33	11
SO ₄	mg/l	26	51	43	29
NO ₃	mg/l	29	36	20	5,3
NO ₂	mg/l	< 0,01	< 0,01	-	-
F	mg/l	< 0,1	0,21	<2	< 2,0



Tab. 8-7: Ergebnisse der Grundwasseranalytik (2)

Labor		Eurofins	Eurofins	Eurofins	Eurofins
Probennummer		122089934	122089935	122089936	122089937
Bezeichnung der Messstelle		Tiefenbohrung	B 1/2017 Sohle 7	Brunnen Bilstein	Lenne
Datum der Probenahme	-	23.06.2022	23.06.2022	23.06.2022	23.06.2022
Physikalisch-chemische Kenngrößen					
Temperatur	°C	16,2	15,3	17,0	22,3
pH-Wert	-	8,5	7,5	7,0	8,8
Elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	484	555	649	348
Kationen					
Ca	mg/l	54,2	59,9	82,9	35,6
Mg	mg/l	13,3	26,1	12,9	6,2
Na	mg/l	18,9	13,8	28,8	20,5
K	mg/l	2,36	1,33	5,27	4,08
Fe	mg/l	< 0,005	< 0,005	0,018	0,011
Mn	mg/l	< 0,001	< 0,001	0,004	0,005
NH ₄	mg/l	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06
Al	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
As	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cd	mg/l	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Cr	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ni	mg/l	< 0,001	< 0,001	0,002	0,001
Hg	mg/l	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Zn	mg/l	0,011	0,01	0,141	0,012
Anionen					
HCO ₃	mg/l	130	190	180	90
Cl	mg/l	38	30	46	35
SO ₄	mg/l	63	53	94	32
NO ₃	mg/l	16	42	20	12
NO ₂	mg/l	0,02	< 0,01	< 0,01	0,04
F	mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0



Leitfähigkeits-Tiefenprofile Steltenberg

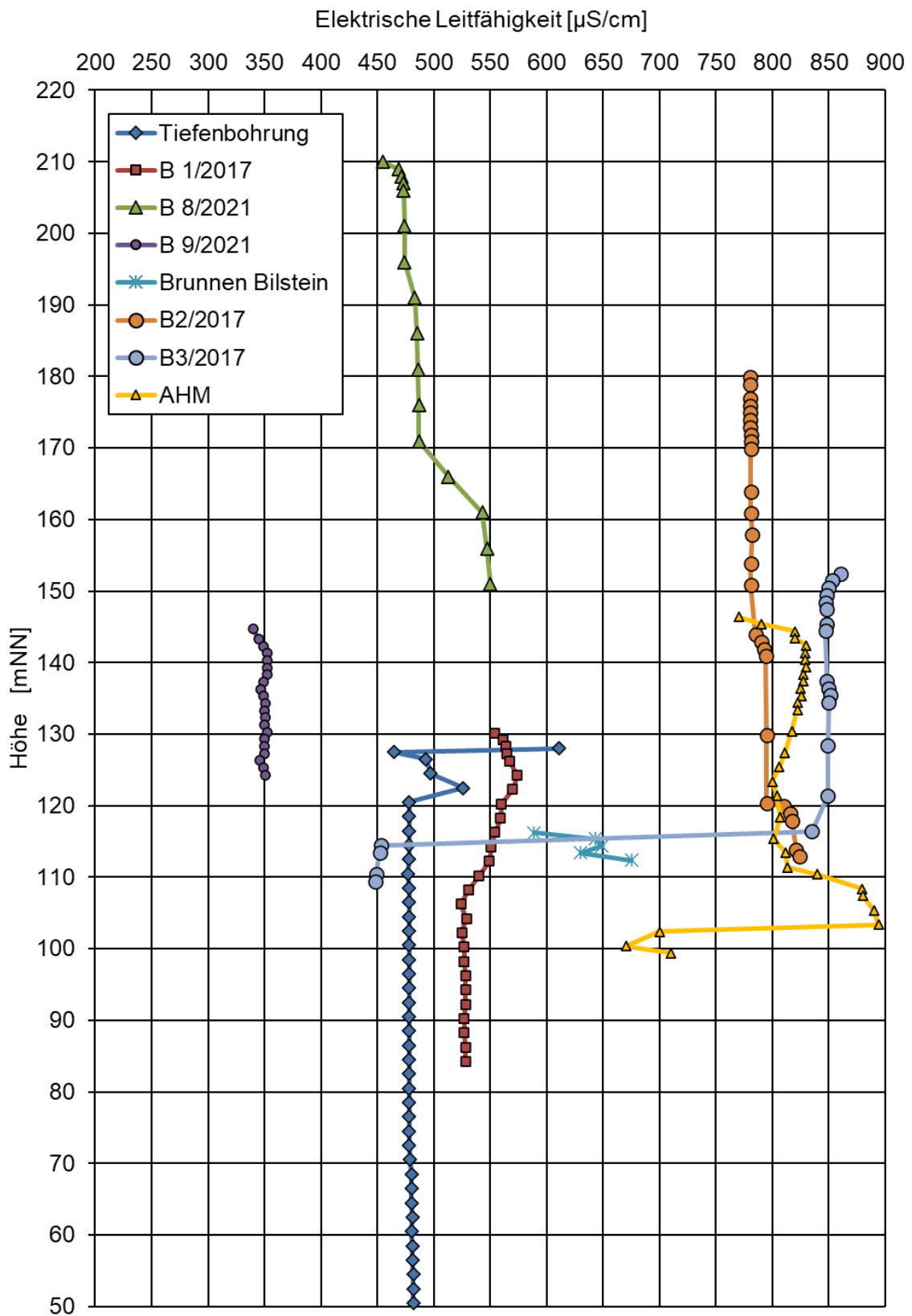


Abb. 8-10: Leitfähigkeits-Tiefenprofile der Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet



9 Hydrogeologisches Modell

Im Folgenden wird das hydrogeologische Modell des Untersuchungsgebietes im Umfeld des Steinbruchs Steltenberg, wie es sich aus den vorliegenden Untersuchungen ableiten lässt, zusammenfassend beschrieben.

Die Fläche der Tiefen-Erweiterung des Steinbruchs ist Teil des Massenkalk-Grundwasserleiters, der sich in West-Ost Richtung auf etwa 2,7 km Länge und etwa 1,0 km Breite zwischen zwei Talquerungen der Lenne erstreckt. Nach Norden wird der Massenkalk von vorwiegend tonigen Festgesteinsschichten der Hangenden Flinzschiefer hydraulisch begrenzt. Nach Süden gibt es eine Begrenzung durch die Saatschichten und Oeger Schichten, die überwiegend aus Tonstein mit sandigen und kalkigen Einlagerungen bestehen. Der Massenkalk fällt mit etwa 50° nach Norden ein und hat eine Mächtigkeit von etwa 600 m. Er erstreckt sich nach Westen und Osten weiter über das Lennetal hinaus, wobei die Lenne und der Lockergesteinsgrundwasserleiter im Lennetal hydrogeologisch gesehen den Vorflutbereich für das Grundwasser im Massenkalkzug am Steltenberg bilden. Im Lennetal verlaufen größere Störungen, an denen der Kalkzug vertikal und lateral versetzt ist.

Der Massenkalkzug innerhalb der Lenne-Schleife ist von mehreren Nord-Süd verlaufenden Querstörungen durchzogen, die an Versatzbeträgen von mehreren 10er Metern erkennbar sind und zum Teil auch im Steinbruch deutlich aufgeschlossen sind. Die wechselnden Durchlässigkeiten aufgrund unterschiedlicher lithologisch-fazieller Abschnitte sowie die tektonische Zergliederung durch Störungen bedingen im Massenkalk unterschiedliche hydrogeologische Homogenbereiche. Das zeigt sich unter anderem an der unterschiedlich starken Reaktion auf Niederschlagsphasen und die damit verbundene Grundwasserneubildung, vor Allem in den Winter- und Frühjahrsmonaten 2017 bis 2021.

Im Massenkalkgrundwasserleiter besteht aufgrund der Klüftung und lokalen Verkarsung generell eine mittlere Durchlässigkeit mit k_f -Werten in der Größenordnung $2 - 5 \cdot 10^{-6}$ m/s. In Teilbereichen, die mit einer massigeren Kalksteinausbildung eine geringere Klüftung aufweisen, sind auch deutlich geringere Durchlässigkeiten mit k_f -Werten von $1 \cdot 10^{-6}$ m/s und darunter zu beobachten. Die massigeren Kalksteine mit etwas geringerer Durchlässigkeit herrschen im südlichen Kalkzug vor. Im nördlichen Massenkalk sind bei der dortigen etwas höheren Klüftigkeit auch höhere Durchlässigkeiten bis etwa $k_f = 5 - 8 \cdot 10^{-6}$ m/s möglich. Die Nord-Süd verlaufenden Störungszonen bewirken keine relevante Erhöhung der Durchlässigkeit im Massenkalkzug, wie die Versuche in der Tiefbohrung TB2022 gezeigt haben. Direkt östlich vom Steinbruch, im Bereich der dortigen Störungszone sind geringere Durchlässigkeiten mit



$k_f < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s anzunehmen, worauf die starken Grundwasserstandsschwankungen und die Pumpversuchsergebnisse hinweisen.

Die Flinzschiefer im Norden des Massenkalkzuges sind weitgehend als Grundwasserstauer oder Grundwassernichtleiter mit k_f -Werten von etwa $1 - 2 \cdot 10^{-7}$ m/s und geringer einzustufen.

Die sandigen Tonsteine der Oeger Schichten und der Saatschichten, die den Massenkalk im Süden begrenzen, zeigen Durchlässigkeiten, die generell etwa im Bereich des Massenkalkes liegen. In der B 9/2021, die auch Kalksteinschichten erbohrt hat (siehe Anlage 10), wurden unterschiedliche Durchlässigkeit bis etwa $k_f = 6 \cdot 10^{-6}$ m/s ermittelt. In den stärker von Tonstein geprägten Bereichen dieser Schichten sind geringere Durchlässigkeiten von $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s und darunter zu erwarten. Die quartären Talsedimente der Lenne besitzen eine generell hohe Durchlässigkeit mit $k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Die Grundwasserneubildung und der Zufluss/Versickerung aus dem Oberflächenabfluss erzeugen im Massenkalkzug permanent eine höhere Grundwasseroberfläche als im Bereich der Lenne und des Lennetals. Das Grundwasser strömt daher ausgehend vom zentralen Bereich des Kalkzuges sowohl nach Westen als auch nach Osten ab und dem Lockergesteinsgrundwasserleiter im Lennetal zu. Ein Grundwasser-Zustrom aus den gering durchlässigen Flinzschiefern im Norden und den ebenfalls wenig durchlässigen Gesteinen im Süden zum Massenkalk ist insgesamt zu vernachlässigen. Die Haupt-Zuflusskomponente zum Massenkalk ist die Grundwasserneubildung. Dies zeigt sich am deutlichen Grundwasser-Jahresgang an den Grundwassermessstellen im Kalkzug mit temporär sehr hohen Wasserstandsspitzen um 10 bis 30 m in regenreichen Phasen im Winter und Frühjahr. Zum Sommer und Herbst sinken die Grundwasserstände im Massenkalk auf Höhen von etwa 128 bis 135 mNN ab. Die Lenne und die Lenne-Kiese als Vorfluter weisen relativ konstante Wasserstände von etwa 114 – 116 mNN im Westen und etwa 118 – 120 mNN im Osten auf.

Im zentralen Teil des Massenkalkzuges, direkt östlich vom Steinbruch gibt es eine Grundwasserscheide. Dort liegt im Bereich einer großen, Nord-Süd verlaufenden Querstörung die Grundwasseroberfläche bei etwa 135 mNN bis über 140 mNN. Das Grundwasser strömt von dort nach Westen oder nach Osten zur Lenne hin ab. Im gesamten, westlich der Grundwasserscheide gelegenen Steinbruch-Bereich herrscht daher eine nach Westen bis Südwesten gerichtete Grundwasserströmung vor.



In sommerlichen Trockenphasen sinkt der Grundwasserstand im Massenkalk in weiten Bereichen auf etwa 130 mNN ab. Damit bleibt vom Steinbruch zum Lennetal im Südwesten vom Steinbruch, wo das Grundwasser im Quartär bei etwa 115 mNN steht, ein relativ hohes Gefälle, was eine vergleichsweise niedrige Durchlässigkeit dort hinweist.



10 Numerisches Grundwasserströmungsmodell

10.1 Modellkonzept und Abgrenzung Modellgebiet

Anhand des numerischen Grundwasserströmungsmodells wird prognostiziert, wie sich die Vertiefung des Steinbruches Steltenberg auf das Grundwasser im Massenkalkzug und den angrenzende Schiefergebiete, im Talgrundwasserleiter der Lenne und möglicherweise auch auf den Oberflächenwasserkörper Lenne auswirkt. Die Auswirkungen im Grundwasser betreffen vor allem folgende Themenbereiche:

- Veränderungen der Grundwasserstände und Änderungen im Grundwasserströmungsfeld,
- Maximale Ausdehnung der Bereiche mit Grundwasserabsenkung,
- Bilanzierung des Wasserhaushaltes.

Bei dem verwendeten numerischen Grundwassermodell handelt es sich um eine Simulation der Grundwasserströmung unter Verwendung des Programms FEFLOW, einem dreidimensionalen Finite Differenzen Grundwasser-Strömungsmodell (FEFLOW 7.5, DHI WASY GmbH 2021, Berlin). Der Aufbau des numerischen Modells und die Kalibrierung werden im Folgenden zusammengefasst beschrieben.

Folgende Szenarien sollen anhand des Strömungsmodells simuliert werden:

- Mittlere, langjährige Grundwasserstände (Ruhegrundwasserstand etwa 131 - 134 mNN, Kalibration),
- Verschiedene Abbaustände unterhalb vom Ruhegrundwasserstand (Absenkung um 40 m, um 80 m und um 120 m auf minimal +15 mNN),
- Endzustand nach Wiederanstieg und Ausbildung eines Sees im Abbaubereich.

Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von etwa 8,4 km² und erstreckt sich etwa 1,6 km in Nord-Süd-Richtung und 4,4 km in Ost-West-Richtung (Abb. 10-1). Im Westen und Osten und Süden wird es durch die Lenne begrenzt, die als Vorfluter für die quartären Kiese und auch das Festgestein dient. Im Norden wird das Modell durch das Streichen der Tonsteine der Flinzschiefer begrenzt.

Das Aussagegebiet des Modells wurde anhand der Grundwassermessstellen, die für die Kalibrierung verwendet wurden, festgelegt. Es umfasst eine Fläche von etwa 22 ha, etwa den Kalkzug, die angrenzenden Schiefergebiete und den Talbereich bis zur Lenne.

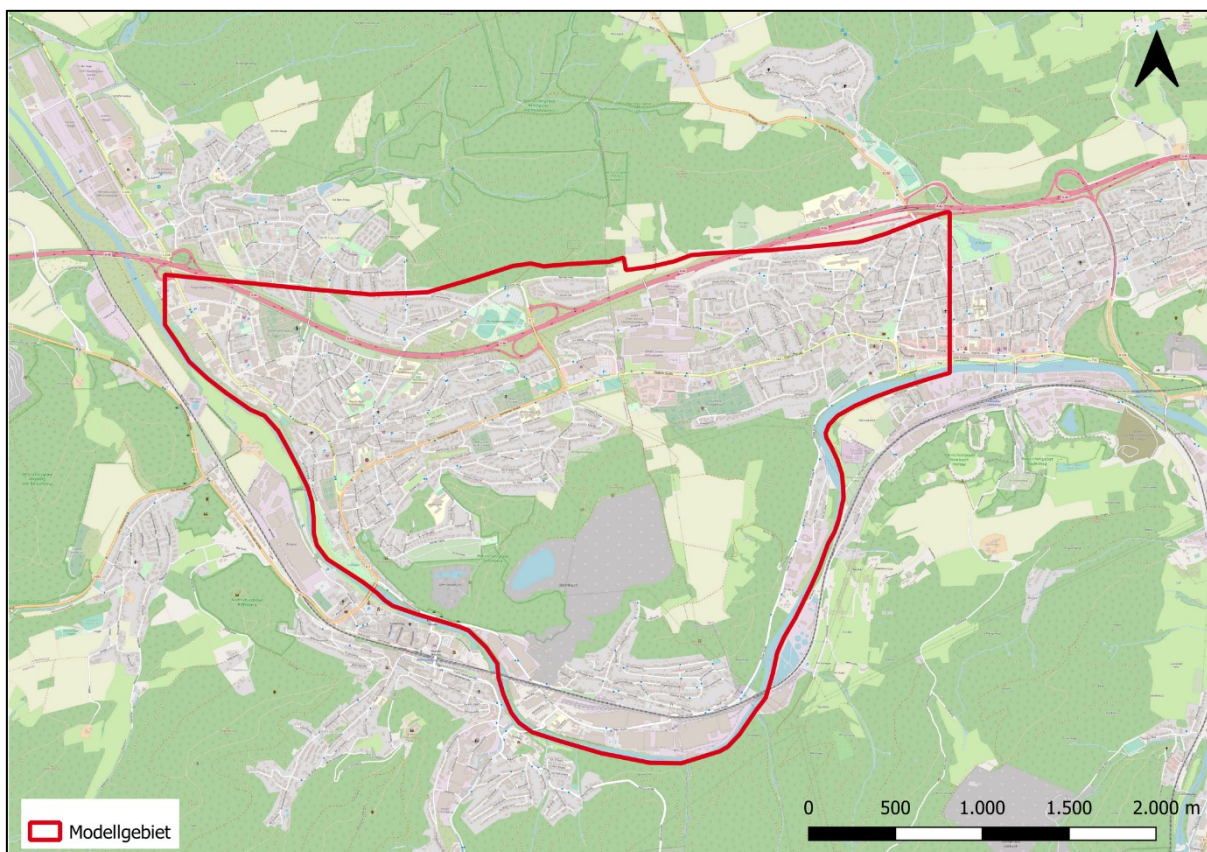


Abb. 10-1: Modellgebiet

10.2 Modellaufbau

10.2.1 Diskretisierung horizontal – Netzgitter

FEFLOW erstellt im definierten Modellgebiet ein Finite-Elemente Netzgitter, das in der horizontalen Ebene aus Dreieckgittern besteht. Die horizontalen Netzebenen (slices) sind vertikal miteinander verbunden und bilden so die Schichten (layer). Formgebendes Strukturelement sind die Modellgrenzen, welche das Modellgebiet als Fläche aufspannen, und die Ortslagen der Grundwassermessstellen und Brunnen als festgesetzte Knotenpunkte. Bezüglich der Erstellung des Netzgitters wurden sekundäre Gliederungselemente hinzugefügt, die als Berechnungselement für eine gezielte Verbesserung der numerischen Modellierung dienen.

Sekundäre Gliederungselemente sind numerisch-geometrische Verbesserungen. Sie zielen auf die Verbesserung der modellinternen Berechnungsbasis durch eine Homogenisierung des geometrischen Umfeldes in Abstand und Anzahl zu einem einzelnen Knotenpunkt. Im Modell erfolgt eine radiale Verdichtung der Knotenpunkte um die



Grundwassermessstellen/Brunnen von mindestens 6 benachbarte Knoten hin zu mindestens 30 Knoten in 1 m Abstand.

Das horizontale Netzgitter des Modellgebietes weist die folgenden Kennwerte auf:

- Gesamtgröße Modellgebiet: 8,2 km²
- Größe Aussagegebiet: 0,2 km²
- Nord-Süd Erstreckung Modellgebiet: ca. 1,6 km
- West-Ost Erstreckung Modellgebiet: ca. 4,4 km
- Anzahl Knoten: 09.151
- Anzahl Elemente: 18.024
- mittlere Kantenlänge Elemente: ca. 34 m
- mittlere Elementgröße: ca. 450 m²

10.2.2 Diskretisierung vertikal – Schichtaufbau

Das Grundwasserströmungsmodell ist 3-dimensional aufgebaut und gliedert sich in sechs (6) Schichten (Layer), die durch Sieben (7) Grenzflächen (Slices) aufgespannt werden. Das Top bildet die Schicht eins (1) als Geländeoberkante. Die Basis bildet die Schicht sechs (6) als numerischer Betrachtungsraum. In der Tab. 10-1 sind die Layer und deren Slices mit Höhenangaben aufgeführt.

Der Schichtaufbau des numerischen Modells gliedert strukturgeometrisch an den Höhen der geplanten Abbauebenen und der Geländeoberkante aus dem digitalen Geländemodell.

Tab. 10-1: Schematische Übersicht über den Modellaufbau

		Slice 1	109,9 – 262,0 mNN (GOK)
Layer 1	Geländeoberkante	Slice 2	175 mNN
Layer 2	Zwischenebene für Berechnung	Slice 3	135 mNN
Layer 3	Geplante Abbausohle	Slice 4	105 mNN
Layer 4	Geplante Abbausohle	Slice 5	65 mNN
Layer 5	Geplante Abbausohle	Slice 6	15 mNN
Layer 6	Endsohle Modell	Slice 7	- 50 mNN



Das gesamte Netzgitter besteht entsprechend dieser vertikalen Diskretisierung aus:

- Gesamtanzahl der Knoten: 64.057
- Gesamtanzahl der Elemente: 108.144

10.2.3 Randbedingungen – Modellrand

Die Randbedingungen des Modells sind wie folgt:

Der Modellrand im Süden, Osten und Westen wird durch die Lenne abgebildet, über die als Festpotential der Grundwasserabstrom aus dem Modellgebiet erfolgt. Dabei wurden die mittleren Wasserstände der Lenne als hydraulische Höhen angesetzt.

Der Modellrand im Norden wird durch die an der Oberfläche streichende Schichtgrenze der oberdevonischen Flinzformation abgebildet. Als grundwasserarme Tonformation wird am Modellrand ein hydraulisches Festpotential gleich 5 m niedriger als die verortete topographische Höhenlage angesetzt.

10.2.4 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung wurde entsprechend der Wasserhaushaltsberechnung mit 167 mm/a bis 697 mm/a den anstehenden Flächen angesetzt (Kap. 4). Diese entspricht für die gesamte Modellfläche einer mittleren Grundwasserneubildung von 271 mm/a. Im Bereich der offenen Wasserflächen findet keine Grundwasserneubildung statt.

Der Wasserzustrom zum gesamten Modellgebiet erfolgt nur über die Grundwasserneubildung und beträgt im Modell ca. $Q = 260 \text{ m}^3/\text{h}$.

10.2.5 Grundwasserentnahme im Steinbruch

Die bestehende Wasserentnahme im Steinbruch ist relativ gering und ohne relevante messbare Auswirkungen auf die Grundwasserstände, sie wird ebenso wie die Klärteichwasserwirtschaft nicht im Modell berücksichtigt.



10.2.6 k_f -Wert Verteilung

Sowohl für die Lenne-Kiese als auch die devonischen Festgesteinsschichten wird initial die vereinfachende Annahme getroffen, dass es sich hierbei um homogene Schichten handelt. Es wird angenommen, dass die horizontalen k_f -Werte isotrop sind und der vertikale k_f -Wert ein Fünftel der horizontalen k_f -Werte beträgt. Die Angaben der Durchlässigkeitsbeiwerte im folgenden Text beziehen sich auf die horizontalen k_f -Werte.

Die Festlegung der k_f -Werte der geologischen Einheiten im Modellgebiet basiert zum einen auf den Pumpversuchsergebnissen (Kap. 7.3) und zum anderen auf Erfahrungs- und Literaturwerten für diese Gesteinsschichten. Die Kalibration zeigt, dass diese Werte mit nur leichten Anpassungen zu einem plausiblen Grundwasserströmungsbild führen, was auch durch die Grundwasserstandsmessungen bestätigt wird.

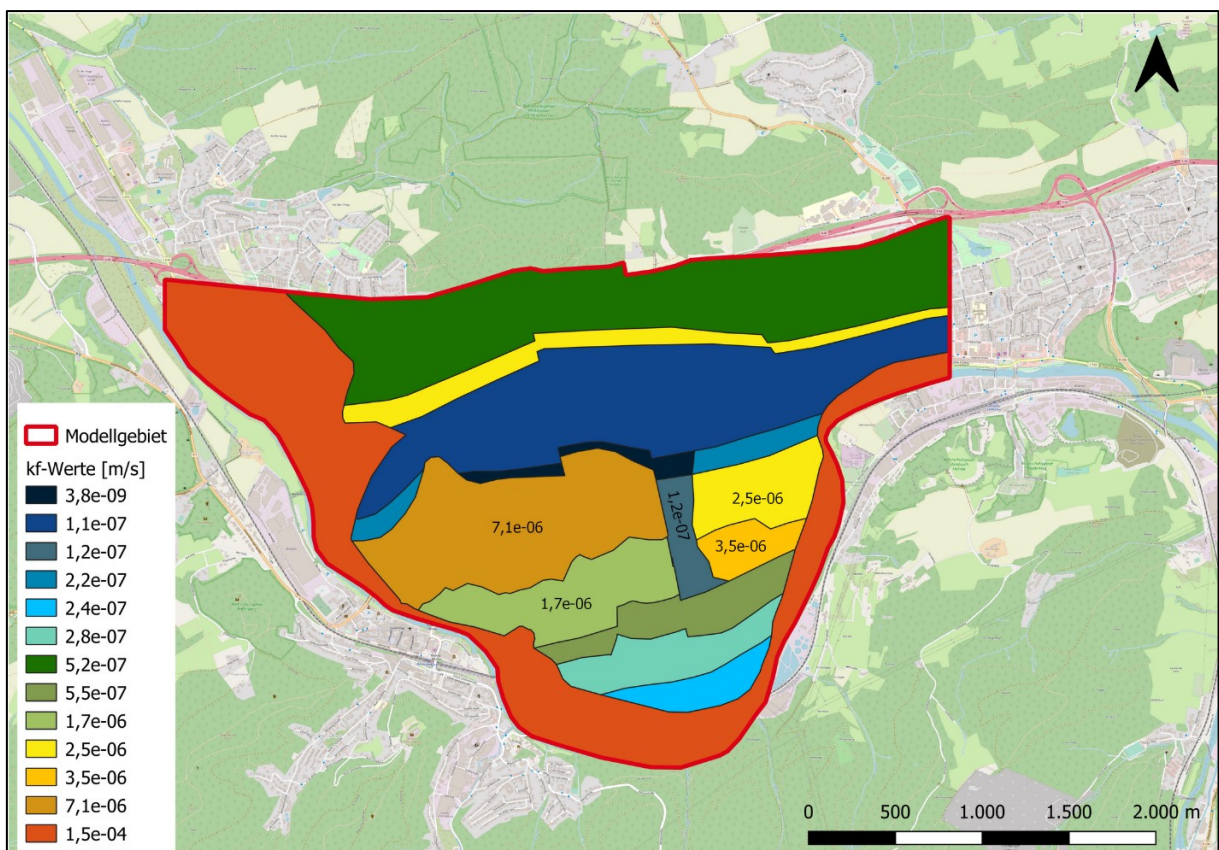


Abb. 10-2: Verteilung der k_f -Werte im Modellgebiet – Layer 2

Der Grundwasserzustrom zum devonischen Massenkalk im Bereich des Steinbruches erfolgt fast ausschließlich über die Grundwasserneubildung. Ein Grundwasserzustrom



aus Richtung Norden ist aufgrund der sehr geringen Durchlässigkeit der hangenden Flinzschiefer vernachlässigbar gering.

Der Massenkalkzug weist mit $k_f = 1,7 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $7,1 \cdot 10^{-6}$ m/s einen deutlich höheren k_f -Wert auf als die hangenden Schiefer. Dort beträgt die Durchlässigkeit $k_f = 1,1 \cdot 10^{-7}$ m/s bis $3,8 \cdot 10^{-9}$ m/s. Im Massenkalkzug gibt es Bereiche mit etwas höheren k_f -Werten und Bereiche mit etwas geringeren k_f -Werten, geringer z.B. südlich von Abbau Richtung Lenne (s. Kap. 9). Im Bereich der Wasserscheide und der dortigen großen Querstörung wurden geringe Durchlässigkeiten von etwa $k_f = 1,2 \cdot 10^{-7}$ m/s angesetzt.

Die Oeger Schichten und Saat Schichten im Süden des Massenkalkzuges wurden aufgrund der überwiegend tonigen Ausprägung mit $k_f < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s mit etwa geringeren Durchlässigkeiten als im Kalkzug modelliert.

Für den Lennekies wurden k_f -Werte von $k_f = 1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s angewendet. Sie korrespondieren mit Pumpversuchen im Brunnen Bilstein, für den ein k_f -Wert von $k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/ ermittelt wurde.

10.2.7 Räumliche Verteilung des Porenvolumens

Für den Kalkzug wird ein wirksames Porenvolumen von 1 % angesetzt. Für die Schiefer und Sandschieferalterationen der Oeger-Schichten und Flinschiefer wurde ein wirksames Porenvolumen von 0,5 % abgeschätzt. Im Lennetal wird zwischen den Kiesen in unmittelbarer Nähe der Lenne und der am Talfuß abgelagerten Lockersedimente unterschieden. Bei gut sortierten Kiesablagerungen wird ein wirksames Porenvolumen von 30 % abgeschätzt, während mit zunehmender Entfernung von der Lenne zum Talfuß hin das wirksame Porenvolumen 12% beträgt.

10.2.8 Stationäre Modell-Kalibrierung

Die initiale, stationäre Modell-Kalibrierung der k_f -Werte und Randbedingungen erfolgte auf der Grundlage der mittleren Grundwasserstände (2017 – 2022) aus 7 Grundwassermessstellen, die im Aussagegebiet und der Umgebung verteilt liegen.

Für die initiale Kalibrierung erfolgte für die Anfangsbedingung die räumliche Diskretisierung der Materialeigenschaften und eine Wertezuweisung der Randbedingungen als Festpotentiale für den Modellrand. Als initiale Grundwasserneubildungsrate wurde die mittlere Grundwasserneubildung verwendet.

Die Abb. 10-3 zeigt ein Streudiagramm der gemessenen und berechneten Grundwasserstandswerte. Diese sind auch in der Tab. 10-2 gegenübergestellt. Die Sieben (7) berechneten Standrohrspiegelhöhen liegen auf oder nahe der idealen Referenzlinie des Erwartungswertes. Die mittlere Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen von Sieben (7) Referenz-Messstellen liegt bei 0,08 m. Bei einem hydraulischen Gefälle von etwa 95 m im Modellgebiet bzw. 30 m im Kalkzug entspricht das einem mittleren relativen Fehler von etwa 0,8 % (Gesamtmodell) bzw. 0,26 % (Kalkzug). Damit wurde eine gute bis sehr gute Modellanpassung erzielt.

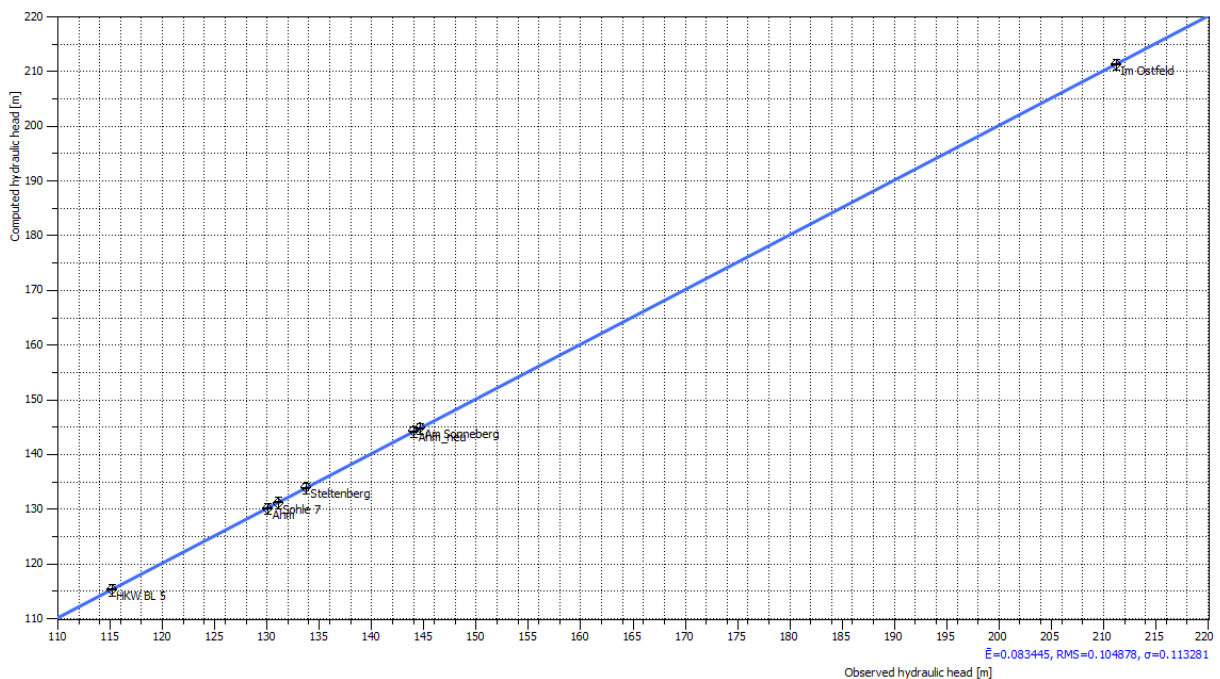


Abb. 10-3: Streudiagramm für alle im Kalibriervorgang verwendeten Grundwassermessstellen

Tab. 10-2: Gegenüberstellung der gemessenen und anhand des Modells berechneten hydraulischen Druckhöhen in den Referenzmessstellen

Messstelle	gemessen	modelliert	Differenz
	mNN	mNN	m
BL 5	115,18	115,25	+0,05
AHM	130,06	130,11	+0,03
B 1/2017	131,15	131,15	-0,06
B 2/2017	144,06	144,27	+0,12
B 3/2017	133,61	133,91	+0,22
B 8/2021	211,28	210,79	+0,03
B 9/2021	144,71	144,86	+0,06



10.2.9 Wasserbilanz Modellgebiet

Nach Abschluss der initialen Kalibrierung wurde für die Grundwasserströmungssituation bei mittleren Grundwasserständen des Zeitraums 2017 bis 2022 („Ist-Zustand“) eine Grundwasserbilanz aufgestellt (Tab. 10-3). Bei Prüfung der rechnerischen Richtigkeit des Modells anhand von modell-internen Wasserbilanzen sollte der Fehler der Gesamtbilanz nicht größer als 1 % im stationären Fall sein.

Tab. 10-3: Modellberechnete Grundwasserbilanz bei der Kalibrierung

Grundwasser-Gesamtbilanz des Modellgebietes (Kalibrierung)		
Bilanzelemente		13.06.2022 [m³/h]
Grundwasserneubildung		260
Zustrom	Grundwasserzustrom	0
Abstrom	Grundwasserabstrom über die Lenne (Westen, Süden, Osten)	259
Numerischer Bilanzfehler		-0,08
Numerischer Bilanzfehler [%]		0,031

Die Bilanzberechnungen lassen sich für das Modellgebiet zum Kalibrierungszeitpunkt folgendermaßen zusammenfassen:

- Die Bilanzsumme für den Grundwasserzustrom und -abstrom weist eine Abweichung von $< 1 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Bezogen auf den Grundwasserumsatz im Modell beträgt der Fehler 0,03 % und ist damit vernachlässigbar. Die Bilanzberechnung ist als ausgeglichen zu bezeichnen.
- Die Bilanzierung entspricht einer NQ- bis MQ-Situation.
- Das Modell zeigt realistische Bilanzgrößen und damit insgesamt eine plausible Mengenbilanz.

10.3 Zusammenfassende Bewertung des Grundwassermodells

Das erstellte Grundwassermodell Steltenberg ist anhand der mittleren Grundwasserströmungssituation kalibriert worden. Auf eine weitere Evaluierung und Validierung des Modells wurde zunächst verzichtet, da das Modell für die Fragestellungen im Zusammenhang mit der Erweiterung des Steinbruches die Grundwasserverhältnisse ausreichend genau wiedergibt. Das Modell liefert plausible und abgesicherte Ergebnisse.

Die statistische und heuristische Prüfung der Modellergebnisse mit den vorhandenen Messdaten zeigen eine hohe Wiedergabetreue. Das Modell zeigt für die hier wichtigen



Fragestellungen einer Bewertung und Quantifizierung der Auswirkungen der Steinbruch-Erweiterung zur Tiefe auf das Grundwasser insgesamt ausreichende bis gute Ergebnisse.

Das Aussagegebiet des Modells wurde anhand der Grundwassermessstellen, die für die Kalibrierung verwendet wurden, festgelegt. Das numerische Grundwassermodell steht somit für die Anwendungen im Rahmen der Aufgabenstellung zur Verfügung.



11 Hydrogeologische Auswirkungen des Vorhabens

11.1 Wasserhaltung und Grundwasserentnahmemenge

Die Grundwasserentnahmemenge, die zum Trockenhalten der Abbausohlen unterhalb des Ruhe-Grundwasserspiegels im Steinbruch Steltenberg notwendig ist, wird in Abhängigkeit von der Abbautiefe generell mit der Vergrößerung des Grundwassereinzugsgebietes ansteigen. Hinzu kommt der Zufluss von Niederschlagswasser, der bei gleichbleibender Abbaufäche im Mittel etwa konstant bleibt. Eine Prognose zur Entwicklung dieser Sumpfungswassermengen wurde auf der Grundlage von analytischen und numerischen Modellrechnungen ermittelt. In sind die prognostizierten Entnahmemengen der Wasserhaltung für verschiedene Abbautiefen aufgelistet und bezüglich des Grundwasseranteils und des Niederschlagswasseranteils aufgeteilt. Die Mengenerrechnungen basieren auf der Grundwassermodellierung (Kap. 10) und der Bilanzierung des Wasserhaushaltes (Kap. 5). Es werden 4 Absenkungszustände bei den Abbautiefen von +115 mNN, +95 mNN, +55 mNN und +15 mNN für die Mengenprognosen betrachtet. Außer für den Abbau auf +115 mNN, der keine relevante Absenkung über den Steinbruchrand hinaus erzeugt, werden für die 3 übrigen Absenkungstiefen entsprechend der im folgenden Kap. 11.2 beschriebenen Absenkungstrichter und Einzugsgebiete die zuströmenden Wassermengen bilanziert (vergl. Dazu Anlagen 8-1 bis 8-3).

Bei den Flächen ist zwischen der offenen Steinbruchfläche im Massenkalk mit erhöhter Grundwasserneubildung, der Fläche mit unverritztem Massenkalk und den Flächen der an den Kalkzug angrenzenden Gesteine (hangende Flinzschiefer, liegende Oeger- und Saat-Schichten und den Lennekiesen) zu unterscheiden.

Wie im folgenden Kap. 11.2 beschrieben, wird die Ausdehnung des Grundwasserabsenkungsbereiches mit dem Tiefenabbau vor Allem durch die Schiefergebiete im Norden und Süden sowie durch geringer durchlässige Abschnitte im Massenkalk begrenzt. So kann sich der Absenkungstrichter und das zugehörige Grundwassereinzugsgebiet nur in begrenztem Maße mit der Eintiefung vergrößern.

Bei der Berechnung der Grundwasserzuflussmengen aus dem Einzugsgebiet sind folgende Zustrom-Komponenten Q1 bis Q6 wirksam (s. Tab. 11-1):

- Mittlere Grundwasserneubildungsrate im Einzugsgebiet des Massenkalk-Grundwasserleiters $Q_1 = GwN_{MK} = 13,3 \text{ l/skm}^2 = 29 \text{ bis } 81 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Mittlere Grundwasserneubildungsrate im freigelegten Massenkalk im Steinbruch $GwN_{SB} = Q_2 = 22,1 \text{ l/skm}^2$. Mehrzustrom „erhöhte GwNeubildung im



Steinbruch“ in Bilanz: $Q_3 = 22,1 \text{ l/skm}^2 - 13,3 \text{ l/skm}^2 = 8,8 \text{ l/skm}^2 = 16 \text{ m}^3/\text{h}$
(Fläche Steinbruch $A_{SB} = 0,5 \text{ km}^2$).

- Mittlerer Niederschlag auf Steinbruchareal $N_{SB} = 930 \text{ mm} = 30 \text{ l/skm}^2$; diese Menge fließt komplett der Sumpfung zu, die Verdunstung wird nicht berücksichtigt. Mehrzustrom „Niederschlag im Steinbruch“ in Bilanz: $Q_3 = 30 \text{ l/skm}^2 - 22,1 \text{ l/skm}^2 = 7,9 \text{ l/skm}^2 = 14 \text{ m}^3/\text{h}$ (Fläche Steinbruch $A_{SB} = 0,5 \text{ km}^2$).
- Sickerwasserverluste aus Klärteich: $Q_4 = \text{etwa } 20 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Ab einer Abbautiefe von unter etwa +100 mNN erfolgen Zuflüsse aus den südlichen Schiefergebieten (Oeger- und Saat-Schichten) über Querstörungen in Größenordnung von $Q_5 = \text{etwa } 10 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Bei größeren Abbautiefen von unter etwa +60 mNN erfolgt ein begrenzter Zustrom aus den Lennekiesen $Q_6 = 15 \text{ bis } 30 \text{ m}^3/\text{h}$.

Weiterhin werden bei der Mengenbilanzierung der Zustrommengen folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Das Einzugsgebiet erstreckt sich nach Osten über die B 2/2017 hinaus bis nahe der Messstelle Ahm, obwohl im Bereich der B 2/2017 ein vermutlich lokaler Hochpunkt des Grundwasserstandes zu messen ist (s. Kap. 11.2). Bei einer Ausdehnung der Grundwasserabsenkung in diesen Bereich kommt es vermutlich zu einer stärkeren Absenkung dort oder zu einer „Umströmung“, sodass sich das Einzugsgebiet der Sumpfung über die B 2/2017 nach Osten hinaus ausdehnt. In der Prognose zum Grundwasserszustrom wurde angenommen, dass der Massenkalkzug nach Osten bis nahe zur GWM Ahm bei einer tiefen Grundwasserabsenkung (unter etwa +100 mNN) in den Zustrombereich zum Steinbruch gelangt.
- Generell höhere Wasserzuflüsse sind in der Folge von sehr niederschlagsreichen Jahren in der Größenordnung von etwa +30 % über dem Mittelwert zu kalkulieren.

Daher sind die prognostizierten Grundwasserzuflussmengen etwas größer, als es die alleinige Berücksichtigung mittlerer Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet zum Absenkungstrichter bei den dargestellten Flächen ergeben würde (s. Anlage 8, s. Kap. 11.2). Dies ist in der Tab. 11-2 aufgelistet.



Tab. 11-1: Prognose der mittleren Sumpfungswassermengen im Steinbruch Steltenberg

Ab- bau- tiefe	Fläche Grundwasser- Einzugsgebiet ¹		Grund- wasser- zuström aus Ein- zugsge- biet im Massen- kalk ²	Zusätz- licher Zu- strom aufgrund höherer GwNeu- bildung im Stein- bruch ³	Zusätzl. Abfluss Regen- wasser im Stein- bruch ⁴	Zusätzl. Zuström über Tri- butärflä- chen zum Massen- kalk ⁵	Mittlerer Zuström Steinbruch gesamt		
	Stein- bruch- fläche	Ge- samt inkl. Stein- bruch							
			Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄ +Q ₅ +Q ₆			
mNN	km ²	km ²	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	l/s	m ³ /h	m ³ /Jahr
115	0,50	0,60	29	16	14	20	22	79	692.000
95	0,50	0,90	43	16	14	30	29	103	905.000
55	0,50	1,30	62	16	14	45	38	137	1.205.000
15	0,50	1,70	81	16	14	60	48	172	1.505.000

Erläuterungen:

- 1: Flächen Einzugsgebiet s. Anlage 8-1 bis 8-3 und Kap. 11.2
- 2: Mittlere GwNeubildung Massenkalk = 13,3 l/skm²
- 3: Mittlere GwNeubildung Steinbruch = 22,1 l/skm²
- 4: Mittlerer Niederschlag = 930 mm = 30 l/skm², zusätzlicher Zuström im Steinbruch (30 l/skm² - 22,1 l/skm²) = 7,9 l/skm²
- 5: Zusätzlicher Zuström aus Sickerwasserverluste Klärteich, aus Oeger-/Saat-Schichten im Süden, aus Kiesaquifer Lennetal

Weitere Erläuterungen im Text

Zur Berücksichtigung besonders niederschlagsreicher Jahre oder zukünftig möglicher Phasen generell höherer Grundwasserneubildung wurde auf die in der Tab. 11-1 angegebenen mittleren Zustrommengen ein Zuschlag von +30 % gegeben. Damit tragen die Werte einem worst case Ansatz Rechnung.

Tab. 11-2: Sumpfungswassermengen im Steinbruch Steltenberg mit Zuschlag für „nasse Jahre“

Abbautiefe	Zuström ¹ zum Steinbruch gesamt		
	l/s	m ³ /h	m ³ /Jahr
mNN			
115	29	103	900.000
95	37	134	1.177.000
55	48	172	1.566.000
15	62	223	1.955.000

Erläuterungen:

- 1 = Zuschlag 30 % auf mittlere Zustrommengen (in Tab. 11-1)



11.2 Auswirkungen auf die Grundwasserstände und das Grundwasserströmungsfeld

Wie das Grundwasserströmungsfeld zeigt (s. Kap. 8.4 und Anlage 3 bis 5), liegen die Ruhe-Grundwasserstände im Bereich des Steinbruchs bei etwa 131 – 134 mNN bei niedrigen und mittleren Grundwasserständen (Anlage 3, Anlage 4), temporär auch bei etwa 135 mNN bis 145 mNN bei hohen Grundwasserständen (Anlage 5). Bei einer maximal beantragten Abbautiefe bis +15 mNN erfolgt eine direkte Beeinflussung des Grundwassers mit einer potentiellen Grundwasserabsenkung bis maximal etwa 120 m und der damit verbundenen Ausbildung eines Absenkungstrichters im Umfeld des Steinbruchs. Zum Pumpensumpf (offene Wasserhaltung) im zentralen Steinbruchbereich ist ein Grundwassereinzugsgebiet abzugrenzen, das in großen Teilen etwa mit dem Absenkungstrichter übereinstimmt. Nach Osten in Anstromrichtung dehnt sich das Einzugsgebiet der Sumpfung etwas weiter aus als der Absenkungsbereich. Nach Westen in Abstromrichtung reicht der Absenkungstrichter nur geringfügig über das Einzugsgebiet der Sumpfung hinaus.

Die Anlagen 8-1 bis 8-3 zeigen als Prognose das Grundwasserströmungsfeld auf Grundlage der Modellierung für drei Absenkungszustände

- Absenkung um etwa 40 m auf +95 mNN (Anlage 8-1)
- Absenkung um etwa 80 m auf +55 mNN (Anlage 8-2)
- Absenkung um etwa 120 m auf +15 mNN (Anlage 8-3)

Dargestellt ist jeweils der Absenkungsbereich (Reichweite in dunkelgelb markiert) und das zu der jeweiligen Absenkung zugehörige Einzugsgebiet (Abgrenzung rot gestrichelte Linie). Der Absenkungsbereich erstreckt sich überwiegend im Grundwasser des devonischen Massenkalks nach Westen und Osten, sowie nach Norden und dort bis unter die den Massenkalk überdeckenden und nach Norden einfallenden Flinzschiefer. Im Süden erstreckt sich die Absenkung zu einem geringen Teil auf die den Massenkalk unterlagernden Saat- und Oeger-Schichten.

Auf den Profilen auf Anlage 6 und Anlage 7 sind die Absenkungstrichter gemäß den Prognosen für den Abbau auf +15 mNN ebenfalls dargestellt.

Die Reichweite und die Form des Absenkungsbereiches ist in erster Linie von der Durchlässigkeit im umgebenden, Grundwasser-führenden Gestein (k_f -Wert) und vom Betrag der Absenkung im Steinbruch (m unter Ruhewasserspiegel) abhängig. Außerdem wirkt das nach Westen gerichtete Grundwasserströmungsfeld auf den Absenkungstrichter ein.



Die Durchlässigkeiten im Massenkalk und den angrenzenden Gesteinen, die auf Grundlage der hydraulischen Versuche an den Messstellen und mit Hilfe des Grundwassermodells flächenhaft ermittelt und dargestellt wurden, prägen das Absenkungsbild für die einzelnen Absenkungsabschnitte (Abbautiefen). Bei einer mittleren Durchlässigkeit im Abbaubereich von etwa $k_f = 2 \cdot 10^{-6}$ m/s und einem Hauptschwankungsbereich von etwa $k_f = 1 - 5 \cdot 10^{-6}$ m/s, stellt sich ein relativ steiler, idealisierter Absenkungstrichter ein. Für die drei auf der Anlage 8 dargestellten Absenkungsstufen ergibt sich gemäß den **Prognoseberechnungen im Grundwassermodell** folgende Ausdehnung und Reichweite des Absenkungstrichters:

Absenkung um etwa 40 m auf +95 mNN (Anl. 8-1)

Der Absenkungstrichter weist eine Reichweite von etwa $R = 250$ m bis 350 m auf. Ausgehend von der dann tiefsten +95 mNN Abbausohle erstreckt sich der Absenkungsbereich maximal bis etwa 150 Meter außerhalb des Steinbruches und der Genehmigungsgrenze mit Absenkungsbeträgen dort von < 15 m. Im Süden erstreckt sich der Absenkungsbereich bis an die Grenze zu den liegenden Saat- und Oeger-Schichten und geringfügig bis in diese Schichten hinein. Nach Norden erreicht die Absenkung nicht die Schichtgrenze zu den nach Norden einfallenden Flinzschiefern. Nach Westen erstreckt sich die Absenkung bis unter den Klärteich, nach Osten bis etwa zur Messstelle B2/2017. Das Einzugsgebiet der Sümpfung ist weitgehend mit dem Absenkungsbereich deckungsgleich und erstreckt sich nach Osten bis etwa zur heutigen Wasserscheide.

Absenkung um etwa 80 m auf +55 mNN (Anl. 8-2)

Der Absenkungstrichter weist eine Reichweite von etwa $R = 350$ m – 550 m auf. Ausgehend von der dann tiefsten +55 mNN Abbausohle erstreckt sich der Absenkungsbereich maximal etwa $200 - 300$ Meter außerhalb des Steinbruches und der Genehmigungsgrenze mit maximalen Absenkungsbeträgen dort von $20 - 30$ m. Südwestlich vom Steinbruch wird die Absenkung bis nahe BL5 reichen, das Lenne-tal vom Absenkungsbereich nicht erreicht. Im Norden vom Steinbruch wird der Absenkungstrichter voraussichtlich bis an die hangenden Flinzschiefer heranreichen. Nach Süden werden die Saat- und Oeger-Schichten geringfügig in den Absenkungsbereich geraten. Nach Osten wird die Absenkung bis fast an die vermutete Wasserscheide heranreichen.



Der Bereich um B2/2017 mit relativ hohen Ruhe-Grundwasserständen wird im Zuge der stärkeren Grundwasserabsenkung im Steinbruch vermutlich nicht die Absenkung in dieser Richtung begrenzen und auch in den Absenkungsbereich gelangen. Dieser Bereich mit aktuell sehr hohem Grundwasserstand ist vermutlich nur lokal ausgedehnt und kann bei einer stärkeren Absenkung vom Steinbruch her „umströmt“ werden, sodass sich das Einzugsgebiet der Sumpfung über B 2/2017 nach Osten hinaus ausdehnt. In der Prognose zum Grundwasserszustrom wurde angenommen, dass der Massenkalkzug nach Osten bis nahe zur Grundwassermessstelle Ahm bei einer tiefen Grundwasserabsenkung in den Zustrombereich zum Steinbruch gelangt. Die Grundwasserscheide kann sich leicht, um bis zu etwa 200 m nach Osten verschieben.

Absenkung um etwa 120 m auf +15 mNN (Anl. 8-3)

In Abhängigkeit von der Durchlässigkeit im Massenkalk im Umfeld des Steinbruches ergibt sich nach der Modellierung ein Absenkungstrichter mit einer Reichweite von etwa 550 bis 850 m.

Ausgehend von der dann tiefsten +15 mNN Abbausohle erstreckt sich der Absenkungsbereich bis an die den Massenkalk begrenzenden Schiefergebiete im Norden heran. Da im Vergleich zum devonischen Massenkalk die Durchlässigkeit in den Flinzschiefern um mindestens eine 10er Potenz geringer ist, wird das Grundwasser darin nicht in relevantem Maße durch die Absenkung im Massenkalk beeinflusst. Der Absenkungstrichter endet quasi an der Schichtgrenze. Aufgrund des Abtauchens des Massenkalks nach Norden reicht der Absenkungsbereich im Kartenbild bis etwa 100-150 m unterhalb der Flinzschiefer und nördlich von deren Ausstrichgrenze an der Geländeoberkante.

Da im südlichen Teil des Massenkalkzuges die Durchlässigkeit in den Oeger Schichten generell etwas geringer ist, als im Massenkalk, wird die Ausdehnung der Reichweite der Absenkung in dieser Richtung auch begrenzt und reicht vermutlich nur geringfügig, weniger als 100 m, in die Oeger Schichten hinein, mit Absenkungsbeträgen von < 2 m. Dass die Grundwasseroberfläche in den Oeger-Schichten mit der Morphologie nach Süden einfällt, begrenzt auch die Ausdehnung des Absenkungsbereiches in diese Richtung.

Nach Osten bis Südosten reicht der Absenkungstrichter bis etwa 350 Meter außerhalb der Genehmigungsgrenze. Durch die Ausdehnung des Absenkungstrichters



nach Osten verschiebt sich die Wasserscheide und damit die östliche Einzugsgebietsgrenze gegenüber dem Szenario +55 mNN noch etwas weiter in Richtung Osten (wenige 10er Meter) bis in den Bereich der Messstelle Ahm. Die Lenne und das Lennetal im Osten wird von der Grundwasserabsenkung im Steinbruch nicht erreicht.

Nach Südwesten dehnt sich der Absenkungstrichter von der +15 mNN-Sohle voraussichtlich knapp bis in das von dort etwa 700 m entfernte Lennetal aus. Da der Massenkalk im südlichen Teil eine eher geringe Durchlässigkeit aufweist, wird sich der Grundwasserzustrom zum Absenkungstrichter aus dem Bereich des Kiesgrundwasserleiters im Lennetal nur in vergleichsweise geringem Maße erhöhen. Die im Kiesgrundwasserleiter des Lennetals randlich zum Kalkstein zu erwartenden Absenkungsbeträge liegen rechnerisch im Bereich von Zentimetern bis wenigen Dezimeter. Die Lenne wird von der Absenkung nicht erreicht.

Der Grundwasser-Absenkungstrichter, der infolge des Kalksteinabbaus und der Sumpfung in Tiefen unter dem Ruhe-Grundwasserspiegel entsteht, ist vorwiegend auf den Abbaubereich selbst und die angrenzenden Massenkalk-Bereiche bis etwa 200 – 700 m Entfernung beschränkt. Außerhalb vom Steinbruch sind Flächen des Massenkalkes betroffen, auf denen der natürliche Grundwasserflurabstand größer als 20 m ist. Der maximale Absenkungsbetrag außerhalb von Steinbruch wird nördlich vom Abbaurand mit etwa 40 – 50 m erreicht.

Die hangenden Schiefergebiete werden aufgrund der dortigen geringen Durchlässigkeit nicht von der Absenkung im Massenkalk betroffen. In den südlich anstehenden Oeger Schichten sind in den nördlichen Randbereichen bis etwa 100 m geringe Absenkungsbeträge von < 2 m zu erwarten. Hier liegt der Grundwasserflurabstand bei mehr als etwa 10 m. Im Kiesgrundwasserleiter des Lennetals sind im Bereich des Werksgeländes HKW und westlich angrenzender gewerblicher Flächen geringe Absenkungen im cm-Bereich bis wenige Dezimeter im Endzustand +15 mNN möglich.

Die Grundwasserströmungsverhältnisse im Massenkalk werden im Umfeld des Steinbruches deutlich beeinflusst. Der Grundwasserabstrom von der Wasserscheide östlich vom Steinbruch nach Westen wird generell dem Pumpensumpf im Steinbruch zuströmen. Das Wasser wird letztlich westlich im Grundwasserabstrom in die Lenne eingeleitet, etwa dort, wo es auch natürlicherweise über den Grundwasserpfad der Lenne zuströmen würde.



11.3 Auswirkungen auf die Deckschichten oberhalb des Grundwassers

Im Zuge der Tiefen-gerichteten Erweiterung des Steinbruchs Steltenberg entstehen keine Veränderungen der Deckschichten oberhalb des Grundwassers. Die Erweiterung ist auf die bereits bestehende Steinbruchfläche limitiert, wo ehemalige Deckschichten bereits abgetragen wurden. Deckschichten über dem Grundwasser und Bodenschichten werden durch das Vorhaben nicht neu abgebaut. Die Boden- und Deckschichten auf den Flächen des Kalkzuges, die den Steinbruch umgeben, werden durch die Abbauerweiterung aufgrund der dort sehr hohen Flurabstände von mehr als 20 m nicht beeinflusst.

11.4 Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

Durch die Erweiterung des Steinbruchs in die Tiefe wird die Fläche an freigelegtem Gestein nicht erhöht. Es entstehen durch die Abbaufäche während des Abbaus keine veränderten Bedingungen für die Wasserbilanzgrößen Verdunstung und Grundwasserneubildung, die in Kap. 4 berechnet wurden. Es entsteht, außer der aktiven Grundwasserentnahme und der Einleitung in die Lenne, kein Einfluss auf den Wasserhaushalt im Untersuchungsgebiet. Auf die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt nach Abbauende und der Entstehung eines Gewässers wird in Kap. 11.12 eingegangen.

11.5 Auswirkungen auf den Chemismus von Grundwasser und Oberflächengewässer

Der Abbau im Erweiterungsgebiet gemäß Stand der Technik führt, wie bislang der Abbau im Steinbruch auch, nicht zu einer Beeinträchtigung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers.

Die chemische Zusammensetzung des Sumpfungswassers wird etwa der Zusammensetzung der Grundwasserprobe aus der Messstellen B 1/2017 und der Tiefenbohrung entsprechen (siehe Kap. 8.3, Tab. 8-7). Diese Messstellen zeigen eine für den Kalkstein typische Zusammensetzung mit Calcium, Magnesium und Hydrogenkarbonat als bestimmenden Ionen.

Die Einleitung des Sumpfungswassers führt nicht zu einer Verschlechterung der Lennewasserbeschaffenheit.



11.6 Auswirkungen auf die Fließgewässer und die Ökologie

Das bei der Absenkung des Grundwassers anfallende Wasser soll dem Brauchwasserkreislauf auf dem Gelände des Steinbruchs zugeführt werden. Dadurch entfällt die bisherige Wasserentnahme aus der Lenne. Im Gegensatz dazu soll überschüssiges Brauchwasser und Sumpfungswasser in die Lenne eingeleitet werden. Sowohl die jetzigen Entnahmemengen aus der Lenne als auch die Einleitmengen in die Lenne sind im Vergleich zum Abfluss der Lenne vernachlässigbar und ohne relevante Auswirkungen auf die Hydrologie und die Ökologie des Fließgewässers (s. Kap. 6).

Die Beschaffenheit des Grundwassers im Steinbruch ist typisch für Kalksteingrundwasserleiter und insgesamt unauffällig (s. Kap. 8.6). Die Einleitung des Grundwassers, das bei der Sumpfung gehoben wird, wird dem etwa entsprechen, es verursacht keine erheblichen Veränderungen und keine Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit der Lenne.

Durch die Absenkung des Wasserspiegels im Umfeld des Steinbruchs Steltenberg kommt es nicht zu negativen Auswirkungen auf die Ökologie im Untersuchungsgebiet. Durch die generell hohen Flurabstände im Bereich des Höhenzuges Ahm von deutlich mehr als 10 m und in weiten Teilen mehr als 30 m besteht keine Verbindung zwischen dem natürlichen Wasserhaushalt der Vegetation und dem Grundwasser. Diese bleibt somit unbeeinflusst. Auch im Bereich des Lennetals südwestlich vom Steinbruch ergeben sich bei den nur geringen Grundwasserbeeinflussungen (s. Kap. 11.2) keine Auswirkungen auf die Ökologie.

11.7 Auswirkungen auf Grundwassernutzung und Trinkwassernutzung

Im Untersuchungsraum besteht keine Trinkwassernutzung, sodass es keine dahingehenden Auswirkungen durch das Vorhaben gibt.

Die genutzten Betriebsbrunnen im Umfeld liegen außerhalb des zu erwartenden, maximalen Absenkungsbereichs.

Der Betrieb Bilstein liegt mit drei Betriebsbrunnen, davon einem zur Wasserentnahme genutzten, im Randbereich des Absenkungstrichters, der zum Ende der Abbaueintiefung auf +15 mNN zu erwarten ist. Die im Modell prognostizierten Absenkungsbeträge im Bereich von cm bis wenige Dezimeter ergeben keine relevante Verringerung der Brunnenergiebigkeiten.



11.8 Auswirkungen auf andere Flächen und Nutzungen außerhalb vom Steinbruch

Die außerhalb vom Steinbruch genutzten Flächen werden durch die Ausdehnung des Absenkungstrichters nicht beeinträchtigt.

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen im Osten sind durch hohe natürliche Flurabstände von mehreren 10er Metern geprägt. Die Grundwasserabsenkung dort hat keine Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nutzung oder andere Nutzungen des Geländes an der Oberfläche.

11.9 Auswirkungen auf Naturschutz und FFH-Gebiete

Die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Naturschutz- und FFH-Gebiete liegen in Bereichen hoher Flurabstände und sind sämtlich nicht vom Grundwasser abhängig. Durch die Grundwasserabsenkungen im Zuge der Abbauerweiterung ergeben sich keine Auswirkungen auf die Naturschutzgebiete und FFH-Gebiete.

11.10 Zusammenwirken der Auswirkungen des Vorhabens mit den Auswirkungen anderer bestehender, zugelassener oder geplanter Vorhaben oder Tätigkeiten

Im potentiellen Wirkungsbereich der Grundwasserabsenkung und der hydrogeologischen Auswirkungen gibt es keine weiteren Vorhaben mit Auswirkungen auf das Grundwasser oder Oberflächengewässer. Daher sind keine kumulativen Auswirkungen zu betrachten.

11.11 Auswirkungen auf das Klima und Anfälligkeit des Vorhabens gegenüber den Folgen des Klimawandels

Auswirkungen des Vorhabens auf das Klima bestehen während der Abbauphase nicht. Die Abbaufäche des bestehenden Steinbruches wird nicht vergrößert.

Das Vorhaben der Tiefenerweiterung des Abbaus besitzt keine besondere Anfälligkeit gegen die Folgen des Klimawandels. Eine mögliche Häufung von Starkregenereignissen oder längeren Trockenphasen führt nicht zu erheblichen Auswirkungen im Abbaubereich und außerhalb davon.



11.12 Auswirkungen auf den Hochwasserabfluss der Oberflächengewässer

Der mittlere Hochwasserabfluss in der Lenne am Pegel Hagen-Hohenlimburg beträgt MHW = 243 m³/s. Am 14.07.2021 wurde an diesem Pegel ein Hochwasserabfluss von HW = 538 m³/s gemessen.

Die Einleitung von Sumpfungswasser in einer Größenordnung von maximal etwa 200 m³/h, entsprechend 0,056 m³/s, in die Lenne führt bei Hochwasser nicht zu einer Verschlechterung des Hochwasserabflusses in der Lenne. Die Einleitwassermenge von maximal 0,056 m³/s entspricht etwa 0,02 % des mittleren Hochwasserabflusses MHQ. Die Einleitmengen aus dem Steinbruch entsprechen etwa den natürlichen Zuflussmengen aus dem Massenkalk in die Lenne in diesem Abschnitt.

11.13 Auswirkungen des Vorhabens nach Einstellung des Kalksteinabbaus

11.13.1 Grundwasserstände und Grundwasserströmungsfeld

Nach Einstellung des Abbaus und der Wasserhaltung wird das Grundwasser wieder ansteigen bis zum Ruhewasserstand im Steinbruchbereich von ca. 131 – 134 mNN und den ehemaligen Tagebau wieder füllen. Es entsteht ein bleibendes Gewässer mit einer Fläche von etwa 128.000 m² und mit einem Wasserspiegel in Höhe des mittleren Grundwasserstandes von etwa 131 bis 134 mNN. Das Grundwasser wird dieses Gewässer entsprechend der Grundwasserströmungsrichtung von Ost nach West zur Lenne hin durchströmen. Die Ruhe-Grundwasserstände, die derzeit bestehen, werden sich dann wiedereinstellen.

Da sich im Steinbruch an Stelle der derzeitigen geneigten Grundwasseroberfläche eine ebene Seefläche einspiegelt, kommt es hier dauerhaft zu begrenzten, bleibenden Grundwasserveränderungen in Form einer Grundwasseraufhöhung im Abstrom westlich des Grundwassersees und einer Grundwasserabsenkung im Anstrom östlich.

Die Anlage 9 zeigt das prognostizierte Grundwasserströmungsfeld nach Ende der Wasserhaltung und Ende des Wiederanstiegs.

Die Berechnung des Absenkungsbetrages h₁ und des Aufhöhungsbetrages h₂ für eine eingespiegelte Seefläche erfolgt nach Folgender Formel:

$$h = h_1 + h_2 = L \times i$$

Mit:

L = maximale See-Länge in Grundwasserfließrichtung
i = Hydraulisches Gefälle

L = 480 m
i = 0,01



Demnach ergibt sich eine Summe h des Absenkungs- und Aufhöhungsbeitrages von $h = 4,8$ m.

Durch das Einspiegeln der freigelegten Grundwasseroberfläche ergibt sich eine Kippungslinie, wo Seespiegel und die ehemalige Grundwasseroberfläche sich schneiden. Im Idealfall liegt die Kippungslinie in der Mitte des Gewässers, dann sind h_1 und h_2 mit 2,4 m jeweils gleich groß.

Die Reichweite der Grundwasserabsenkung und der Grundwasseraufhöhung für die Seefläche Beil/Asbeck lässt sich nach LÜBBE (1977) mit Hilfe einer empirischen Formel wie folgt abschätzen:

$$\begin{aligned} \text{Aufhöhung abstromig:} & \quad R = 3.000 \times h_2 \times \sqrt{k_f} \\ \text{Absenkung anstromig:} & \quad R = 10.000 \times h_1 \times \sqrt{k_f} \end{aligned}$$

Mit:

R: Reichweite der Grundwasserabsenkung bzw. -aufhöhung [m]

h_1 : Grundwasser-Absenkungsbetrag $h_1 = 2,4$ m

h_2 : Grundwasser-Aufhöhungsbetrag $h_2 = 2,4$ m

k_f : Durchlässigkeitsbeiwert (m/s) $k_f = 2 \cdot 10^{-6}$ m/s

Demnach ergeben sich folgende bleibende Grundwasserstandsänderungen nach Abbauende und erfolgtem Wiederanstieg des Grundwassers im Steinbruch (siehe Anlage 9):

- Grundwasseraufhöhung im Abstrom westlich des Grundwassersees von maximal 2,4 m bei einer Reichweite von etwa 10,2 m.
- Grundwasserabsenkung im Anstrom östlich des Grundwassersees von 2,4 m maximal. Die Reichweite der Absenkung beträgt etwa 34 m.

Diese analytischen Berechnungen werden durch die Ergebnisse des Grundwassermodells bestätigt.

Die Phase des Wiederanstiegs nach Abschalten der Pumpen wird voraussichtlich etwa 4 bis 5 Jahre dauern:

- Zu füllendes Wasservolumen $V_A = 8,5$ Mio. m^3
- Mittlerer Zufluss von 250 $m^3/h = 2,2$ Mio. $m^3/Jahr$



Die beschriebenen, dauerhaften Auswirkungen auf die Grundwasserstände und die Grundwasserströmungsverhältnisse sind geringfügig und betreffen nur das nahe Umfeld des Steinbruches und des Grundwassersees.

Nach DVWK (1992) lässt sich die Mehrverdunstung von freien Wasseroberflächen für mittlere Trockenjahre auf der Basis der mittleren langjährigen Lufttemperatur wie folgt berechnen:

$$\Delta V = (1 + (27t_m \div (25 + 3t_m))) \times (90 - B - Z)$$

Mit:

ΔV : Jährliche Differenz zwischen See- und Landverdunstung [mm]

t_m : Vieljähriges Jahresmittel der Lufttemperatur [°C]

B: Beiwert der Speicherfähigkeit des Oberbodens, mit

Kies – Sand - lehmiger Sand :	0 bis 10
sandiger Lehm :	10 bis 15
Lehm, Löß – schwerer Lehm :	15 bis 25

Z: Einfluss des Grundwasserflurabstandes

< 0,5 m	Z = 60
0,5 bis 1,0 m	Z = 45
1,0 bis 2,0 m	Z = 30
2,0 bis 5,0 m	Z = 15
> 5,0 m	Z = 0

Bei einer mittleren Lufttemperatur von 10,0 °C und den hier anzusetzenden Beiwerten $B = 0$ und $Z = 0$ errechnet sich eine Differenz zwischen See- und Landverdunstung von minimal 532 mm. Damit erhöht sich auf der Wasserfläche die Verdunstung rechnerisch von 233 mm auf 765 mm. Bei einer mittleren jährlichen Niederschlagssumme von 930 mm beträgt der Verdunstungsanteil etwa 82 %.

Bei einer Mehrverdunstung von der Wasserfläche von etwa 532 mm/Jahr (= 0,53 m³/Jahr·m²) ergibt sich für die gesamte Seefläche von 128.000 m² gegenüber dem jetzigen Zustand eines Steinbruches eine jährliche Mehrverdunstung von 68.000 m³/Jahr, die die Wirkung einer „Grundwasserentnahme“ hat.



Bei einem Wasservolumen von 8,5 Mio. m³ und einer jährlichen Durchströmung von:

$$Q = k_f \times i \times F = \text{ca. } 60 \text{ m}^3/\text{h} = 526.000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$$

Mit:

Q: Grundwasserdurchfluss durch Steinbruch-See [m³/s]

F: Durchströmte Seefläche mit Einzugsgebiet Kalkzug

i: Hydraul. Gefälle Kalkzug

k_f: Durchlässigkeitsbeiwert (m/s)

F = ca. 80.000 m²

i = 0,04

k_f = 1 - 5 · 10⁻⁶ m/s

ist eine rechnerische Mehr-Verdunstungsmenge von 68.000 m³/Jahr für den Wasserhaushalt im Kalkzug vernachlässigbar gering.

Die Rekultivierung im Endausbauzustand und die Entstehung einer Wasserfläche wird nicht zu einem Eintrag von Schadstoffen und zu einer negativen Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit führen. Das Grundwasser durchströmt den Kalkstein, die Abraum- und Sedimentmassen sowie den Grundwassersee. Wie die chemischen Untersuchungen aber auch Erfahrungen an anderen Grundwasserseen in Kalksteingebieten zeigen, wird die Grundwasserbeschaffenheit im Abstrom durch einen derartigen See nicht verschlechtert, auch werden keine Schadstoffe oder erhöhten Stoffkonzentrationen in das Grundwasser eingetragen.

11.13.2 Verbleibendes Gewässer

Das nach dem Wiederanstieg des Grundwassers bis zum Ruhespiegel bei etwa 131 bis 134 mNN entstandene Gewässer wird, bei einer Wassertiefe bis etwa 120 m, eine Wasserfläche von etwa 128.000 m² aufweisen. Der See wird also im Verhältnis zur Fläche und mit einer Breite von etwa 400 m eine vergleichsweise große Tiefe besitzen.

Dabei stellt sich die Frage, ob es in diesem neue entstandenen See zu einer jahreszeitlichen Wasserzirkulation kommt, die zu einem vollständigen Austausch des oberflächennahen Wassers mit dem Tiefenwasser führt, wie es bei den meisten Seen in den mitteleuropäischen Breiten der Fall ist. Üblicherweise wird eine sommerliche Stagnationsphase von einer winterlichen Zirkulationsphase abgelöst, bei der es zu einem Austausch des gesamten Wasserkörpers kommt. Seen, bei denen das nicht der Fall ist, nennt man meromiktisch. Es handelt sich dabei um ein stehendes Gewässer, in dem die vertikale Wasserzirkulation nicht über das gesamte Tiefenprofil stattfindet und die Tiefenzone des Sees praktisch stagniert und nicht ausgetauscht wird.



Wenn tiefe Wasserschichten von Seen nie ausgetauscht werden oder nur teilweise umgewälzt werden, kommt als Ursache oft in Betracht, dass diese einen hohen Salzgehalt und damit eine sehr hohe Dichte aufweisen. Auch die Tatsache, dass ein See besonders windgeschützt liegt, wird als Ursache für einen meromiktischen See genannt [Reichmann et. al., 2014]. Untersuchungen haben gezeigt, dass weniger die fehlende Windeinwirkung und das „ungünstige Verhältnis von Fläche zu Tiefe sondern mehr die geringe Durchflutung des Gewässers und die stetige Entkalkung der oberen Schichten des hydrogenkarbonatreichen Wassers den meromiktischen Charakter vorrangig bedingen“ [Reichmann et. al., 2014].

Die hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich Steltenberg mit dem zukünftigen tiefen See im Massenkalk sind von Randbedingungen geprägt, die eine hohe Durchströmung des Sees auch in der Tiefe begünstigen. Dies ist darin begründet, dass der Massenkalk eine relativ hohe Durchlässigkeit aufweist. Zudem wird kein Abraum dort verkippt, so dass die Böschungen im See nicht durch toniges Material zum Grundwasserraum hin verschlossen werden. Die Stromlinien im Grundwasser eines geklüfteten und teilweise verkarsteten Grundwasserleiters im Massenkalk mit einer relativ hohen Durchlässigkeit hier am Steltenberg werden bei dem bestehenden hydraulischen Gefälle zum Vorfluter Lenne eine dauerhaft hohe Durchströmung auch der tiefen Gewässerzonen im See gewährleisten können.



12 Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie

Die Firma HOHENLIMBURGER KALKWERKE GMBH betreibt südöstlich des Hagener Stadtteils Hohenlimburg einen Kalksteinbruch mit Grundwasserhaltung. Der Steinbruch soll in die Tiefe, bis zu einer Endtiefe von +15 mNN erweitert werden. Für dieses Vorhaben ist ein Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) vorzulegen.

Der Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie basiert auf folgenden rechtlichen Grundlagen:

- WRRL: Verschlechterungsverbot, Verbesserungsgebot (Art. 4 WRRL),
- WHG (insbes. §§ 27 bis 31, § 47),
- OGewV,
- GrwV,
- LAWA (2016): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser,
- Urteil des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) vom 01.07.2015 (Weservertiefung).

Die Prüfung nach WRRL hat den Nachweis zu erbringen, dass eine Gewässerbenutzung weder zu einer Verschlechterung des ökologischen Zustands/ Potentials und chemischen Zustands eines Oberflächenwasserkörpers noch zu einer Verschlechterung des mengenmäßigen und chemischen Zustands des Grundwassers (Grundwasserkörper) führt (Verschlechterungsverbot). Ebenso ist nachzuweisen, dass eine Gewässerbenutzung nicht der Verbesserung des Wasserkörpers (mengenmäßiger und chemischer Zustand) entgegensteht (Verbesserungsgebot).

12.1 Identifizierung und Beschreibung der betroffenen Wasserkörper

12.1.1 Oberflächenwasserkörper

Vom Vorhaben des Kalkabbaus ist der zur Planungseinheit „Untere Lenne“ gehörende Wasserkörper „Lenne“ (ID: 2766_0) betroffen. Dieser verläuft entlang der Lenne, beginnend südlich von Nachrodt-Wiblingerwerde bis zur Mündung der Lenne in die Ruhr in Hagen. Die folgenden Angaben beziehen sich auf den Entwurf des Bewirtschaftungsplans 2022 – 2027 und sind den Informationen des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW [MKULNV NRW, 2020], sowie dem ELWAS-WEB Datenportal entnommen.



Allgemeine Angaben zum Oberflächenwasserkörper „Lenne“ (OWK)

Wasserkörper-ID: 2766_0
Gewässername: Lenne
Wasserkörperkategorie: NWB – Natürlicher Wasserkörper
LAWA Fließgewässertyp: 9.2
Prägender Gewässertyp: Große Flüsse des Mittelgebirges (Typ 9.2)
Trinkwassergewinnung: nein

Allgemeine Angaben zur Planungseinheit

Planungseinheit: Untere Lenne, PE_RUH_1300
Flussgebiet: Rhein
Bearbeitungsgebiet: Niederrhein
Teileinzugsgebiet: Ruhr
Fläche Einzugsgebiet: 528 km²
Länge der berichtspflichtigen Gewässer: 222 km, davon Lenne: 73,5 km
Flächennutzung: Acker: 4,3 %,
Grünland: 16,7 %,
Wald: 62,6 %,
Siedlung und Gewerbe: 13,8 %
Besonderheiten: stark geprägt durch Wasserkraftnutzung
hydrologische Beeinflussung durch die Biggetalsperre

Zustandsbewertung OWK Lenne – ökologischer Zustand

Ökologischer Zustand: unbefriedigend
MZB Saprobie: gut
MZB Allg. Degradation: sehr gut
MZB Versauerung: nicht relevant
MZB Gesamt: gut
Fische: unbefriedigend



Makrophyten (NRW):	gut
Gewässerflora:	mäßig
Phytoplankton:	nicht relevant

Zustandsbewertung OWK Lenne – ökologisches Potential

Ökologisches Potential:	nicht relevant
MZB Allg. Degradation:	nicht relevant
MZB gesamt:	nicht relevant
Fische:	nicht relevant

Zustandsbewertung OWK Lenne – chemischer Zustand

Metalle (Anl. 6 OGeWV):	mäßig
PBSM (Anl. 6 OGeWV):	gut
Sonst. Stoffe (Anl. 6 OGeWV):	sehr gut
ACP ges. (Anl. 7 OGeWV):	nicht eingehalten
Metalle ges. n. verb. (OW):	nicht eingehalten
PBSM ges. n. verb. (OW):	eingehalten gut
Sonst. St. ges. n. verb. (OW):	nicht eingehalten

Chemischer Zustand:	nicht gut
Chem. Zustand ohne ubiq. St.:	gut
Metalle (Anl. 8 OGeWV):	gut
PBSM (Anl. 8 OGeWV):	gut
Sonst. Stoffe (Anl. 8 OGeWV):	nicht gut
Nitrat (Anl. 8 OGeWV):	gut
ACP Ges. (Anl. 7 OGeWV):	pH-Wert



12.1.2 Grundwasserkörper

Vom Vorhaben des Kalkabbaus sind die Grundwasserkörper „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“ (ID: 276_10) und „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ (ID: 276_13) betroffen. Ersterer erstreckt sich über die Schiefergesteine im Norden und Süden des Massenkalks, während Letzterer den Kalkzug wiedergibt. Die folgenden Angaben beziehen sich auf den Entwurf des Bewirtschaftungsplans 2022 – 2027 und sind den Informationen des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW [MKULNV NRW, 2020], sowie dem ELWAS-WEB Datenportal entnommen.

12.1.2.1 GWK 276_10 „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“

Allgemeine Angaben zum Grundwasserkörper „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“ (GWK)

Wasserkörper-ID:	DEGB_DEBW_276_10
Flussgebietseinheit:	Rhein
Teileinzugsgebiet:	Ruhr
Fläche:	458,43 km ²
Trinkwassernutzung:	< 10 m ³ /d
Formation:	Devon/Karbon
GW-Leitertyp:	Kluft-Grundwasserleiter
Gesteinstyp:	silikatisch
Lithologie:	Ton- und Schluffstein, z.T. Sandstein
Durchlässigkeit:	sehr gering bis gering
Ergiebigkeit:	wenig ergiebig
Hydrogeologische Teilräume:	Paläozoikum des nördl. rhein. Schiefergebirges

Zustandsbewertung GWK „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“ – Mengenmäßiger Zustand

Mengenmäßiger Zustand:	gut
Bewirtschaftungsziel:	erreicht



Mengenbilanz:	ausgeglichen
Auswirkungen auf gwaLös:	nein
Auswirkungen auf OWK:	nein
Salz-/Schadstoffintrusionen:	nein

Zustandsbewertung GWK „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“ – chemischer Zustand; Signifikante anthropogene Belastungen durch bzw. signifikante Auswirkungen auf:

Punktquellen/Schadstofffahnen:	nein
Salz-/Schadstoffintrusionen:	nein
gwaLös:	nein
Trinkwassergewinnung:	nein
Oberflächengewässer:	nein

Zustandsbewertung GWK „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“ – chemischer Zustand; Stoffe

Chemischer Zustand:	gut
Nitrat (50 mg/l):	gut
Nitrit (50 mg/l):	gut
Ammonium (0,5 mg/l):	gut
ortho-Phosphat (0,5 mg/l):	gut
Sulfat (250 mg/l):	gut
Chlorid (250 mg/l):	gut
PBSM einzeln (0,1 µg/l):	gut
PBSM Summe (0,5 µg/l):	gut
Tri-/Tetrachlorethen Summe (10 µg/l):	gut
Arsen (10 µg/l):	gut
Bleib (10µg/l):	gut
Cadmium (0,5 µg/l):	gut



Quecksilber (0,2 µg/l): gut

12.1.2.2 GWK 276_13 „Hagen-Iserlohner Massenkalk“

Allgemeine Angaben zum Grundwasserkörper „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ (GWK)

Wasserkörper-ID:	DEGB_DEBW_276_13
Flussgebietseinheit:	Rhein
Teileinzugsgebiet:	Ruhr
Fläche:	51,06 km ²
Trinkwassernutzung:	> 100 m ³ /d
Formation:	Devon
GW-Leitertyp:	Karst-Grundwasserleiter
Gesteinstyp:	karbonatisch
Lithologie:	Kalkstein
Durchlässigkeit:	hoch bis sehr hoch
Ergiebigkeit:	sehr ergiebig
Hydrogeologische Teilräume:	Devonische Massenkalke

Zustandsbewertung GWK „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ – Mengenmäßiger Zustand

Mengenmäßiger Zustand:	gut
Bewirtschaftungsziel:	erreicht
Signifikant fallende Trends:	nein
Mengenbilanz:	ausgeglichen
Auswirkungen auf gwaLös:	nein
Auswirkungen auf OWK:	nein
Salz-/Schadstoffintrusionen:	nein



Zustandsbewertung GWK „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ – chemischer Zustand; Signifikante anthropogene Belastungen durch bzw. signifikante Auswirkungen auf:

Punktquellen/Schafstofffahnen:	nein
Salz-/Schadstoffintrusionen:	nein
gwaLös:	nein
Trinkwassergewinnung:	nein
Oberflächengewässer:	nein

Zustandsbewertung GWK „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ – chemischer Zustand; Stoffe

Chemischer Zustand:	gut
Nitrat (50 mg/l):	gut
Nitrit (50 mg/l):	gut
Ammonium (0,5 mg/l):	gut
ortho-Phosphat (0,5 mg/l):	gut
Sulfat (250 mg/l):	gut
Chlorid (250 mg/l):	gut
PBSM einzeln (0,1 µg/l):	gut
PBSM Summe (0,5 µg/l):	gut
Tri-/Tetrachlorethen Summe (10 µg/l):	gut
Arsen (10 µg/l):	gut
Bleib (10µg/l):	gut
Cadmium (0,5 µg/l):	gut
Quecksilber (0,2 µg/l):	gut



12.2 Auswirkungen des Vorhabens

12.2.1 Auswirkungen des Vorhabens auf die Oberflächenwasserkörper und Prüfung des Verschlechterungsverbots

Das Vorhaben, den Steinbruch Steltenberg in die Tiefe zu erweitern hat nur geringe Auswirkungen auf den Oberflächenwasserkörper Lenne im Bereich des Untersuchungsgebietes.

Der chemische Zustand der Lenne wird durch die Erweiterung des Steinbruchs und die Einleitung von Sumpfungswasser (Grundwasser plus Regenwasser) aus dem Steinbruch nicht verschlechtert. Das gehobene Grundwasser ist chemisch nicht belastet (s. Kap. 11.5) und wird durch den Betriebswasserkreislauf nicht mit Schadstoffen befrachtet. Auch der ökologische Zustand der Lenne wird durch die Einleitung des gehobenen Grundwassers nicht verschlechtert.

Durch die Tiefen gerichtete Erweiterung des Kalksteinabbaus im Steinbruch Steltenberg entsteht keine Verschlechterung des mengenmäßigen und chemischen Zustandes des Oberflächenwasserkörpers „Lenne“.

Die bisherige Wasserentnahme aus der Lenne wird durch die Einleitung von maximal 230 m³/h in die Lenne ersetzt. Die Einleitmenge gleicht etwa die Grundwasserzuflussmenge aus, die durch die Sumpfung dem natürlichen Grundwasserzustrom aus dem Massenkalk in die Lenne entzogen wird. Damit wird der mengenmäßige Zustand der Lenne durch das Vorhaben und die Einleitung von Sumpfungswasser nicht verschlechtert. Diese Einleitung von bis zu 230 m³/h führt nicht zu nennenswerten Veränderungen in der Wasserführung der Lenne.

12.2.2 Auswirkungen des Vorhabens auf die Grundwasserkörper und Prüfung des Verschlechterungsverbots

Durch die Vertiefung des Steinbruchs werden die grundwasserdynamischen Verhältnisse im Grundwasserkörper „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ beeinflusst. Während des Tiefenabbaus auf eine Tiefe von maximal +15 mNN und die damit verbundene Notwendigkeit einer Wasserhaltung entsteht ein Absenkungstrichter im Massenkalkzug. Durch diesen kommt es zu einer lokalen Verschiebung der natürlichen Grundwassergleichen in einem Umkreis von 200 m bis 700 m um den Steinbruch herum. Die Grundwasserströmung, die im direkten Umfeld des Steinbruches aktuell nach Westen auf die Lenne gerichtet ist, wird während des Abbaus durch den Absenkungstrichter



im Steinbruch verändert. Das in der Wasserhaltung entnommene Grundwasser des Wasserkörpers wird direkt südwestlich vom Steinbruch in die Lenne eingeleitet.

Der mengenmäßige Zustand des Grundwasserkörpers „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ wird damit nicht verschlechtert. Das Grundwasser wird nahe dem natürlichen Zuflussbereich zur Lenne entnommen und in die Lenne etwa dort eingeleitet, wo es natürlicherweise ohnehin den Grundwasserleiter verlässt und der Lenne zufließt.

Die Erweiterung des Steinbruchs Steltenberg hat keine Auswirkungen auf den Grundwasserkörper „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“. Es entsteht kein Eintrag oder eine Mobilisierung von Stoffen, die zu einer messbaren Verschlechterung des qualitativen Zustandes führen. Für die Grundwasserkörper „Rechtsrhein. Schiefergebirge, u. Lenne“ und „Hagen-Iserlohner Massenkalk“ entsteht durch die zur Tiefe gerichtete Erweiterung des Kalksteinabbaus im Steinbruch Steltenberg keine Verschlechterung des mengenmäßigen und chemischen Zustandes. Das im Steinbruch für den temporären Tiefenabbau zukünftig abgepumpte Grundwasser wird in die Lenne geleitet, etwa an der Stelle, wo es im natürlichen, weiteren Grundwasserabstrom auch der Lenne zufließt.

Nach Einstellung des Gesteinsabbaus wird sich im stillgelegten Steinbruch ein See bilden. Die Wasserfläche bei etwa 131 mNN bildet die natürliche Grundwasseroberfläche ab. Im Bereich vor dem See – östlich des Steinbruchs - wird es zu einer oberstromigen Absenkung des Grundwassers um etwa 2,4 m kommen. Korrespondierend dazu wird sich im westlichen Abstrom eine unterstromige Aufhöhung um 2,4 m einstellen. Die berechneten Aufhöhungs- und Absenkungsbeträge treten direkt am Ufer auf und nehmen mit zunehmender Entfernung vom Ufer exponentiell ab. Die Reichweite der abstromigen Aufhöhung beträgt 10 m, die Reichweite der anstromigen Absenkung beträgt 39 m. Insgesamt sind die Auswirkungen auf das Grundwasser nicht erheblich. Nach Abbauende stellt sich das heutige, natürliche Grundwasserströmungsfeld im Massenkalk, das nach Südwesten zur Lenne gerichtet ist, wieder ein.



13 Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch die Vertiefung des Steinbruchs und die damit verbundene Grundwasserabsenkung sowie die Einleitung in die Lenne keine negativen Auswirkungen und keine erheblichen Beeinträchtigungen für die betroffenen Wasserkörper sowie die Umweltbereiche Grundwasser, Oberflächengewässer, Wasserhaushalt und vom Grundwasser abhängiger Flora und Fauna im Umfeld entstehen. Auch die Nutzungen im Umfeld des Steinbruchs sind durch die Grundwasserabsenkung nicht betroffen

Bis zu einer Abbautiefe von etwa +55 mNN erstreckt sich der Absenkungsbereich nur auf den Massenkalkgrundwasserleiter, der durch hohe Grundwasserflurabstände von mehr als 20 m gekennzeichnet ist. Bei tieferer Absenkung kann auch der quartäre Talgrundwasserleiter im Lennetal im Umfeld des Werksbereiches HKW in den Absenkungsbereich gelangen. Es wird daher empfohlen, im Vorfeld die Beweissicherungsuntersuchungen in dieser Richtung zu verstärken, z.B. durch eine weitere Grundwassermessstelle und verdichtete Kontrollen. Die Schiefergebiete im Hangenden und im Liegenden zum Massenkalk sind durch die Grundwasserabsenkung nicht in erheblichem Maße betroffen. Hier gibt es Grundwassermessstellen zur Beweissicherung.

Nach Abbauende und der Entstehung eines Grundwassersees im Steinbruch gibt es keine bleibenden erheblichen oder negativen Auswirkungen auf die Umweltbereiche Grundwasser, Oberflächengewässer, Wasserhaushalt und Flora und Fauna im Umfeld.

Zum allgemeinen Schutz des Grundwassers im Bereich des Steinbruchs und der Erweiterungsfläche wird aus gutachterlicher Sicht empfohlen, die abbaubegleitenden Monitoring-Maßnahmen fortzusetzen.

Beim Abbau sind die gemäß dem Stand der Technik üblichen und bislang auch erfolgreichen Vorkehrungen zu treffen, um Schadensfälle und Stoffeinträge in das Grundwasser, z.B. durch Fahrzeuge oder Sprengungen, zu verhindern.

Für die Abbauerweiterung werden aus gutachterlicher Sicht generell folgende Beweissicherungsmaßnahmen empfohlen:

- Regelmäßige Messung und Kontrolle der Lage der Grundwasserstände im Erweiterungsgebiet, im Steinbruch und östlich an das Erweiterungsgebiet angrenzenden Bereich des Massenkalkes bis zum Lennetal mit Hilfe der bestehenden Grundwassermessstellen.



- Messung der Sumpfungswassermengen und der Einleitwassermengen in die Lenne.
- Regelmäßige gutachterliche Kontrolle der Abbauwände hinsichtlich der Geologie, Tektonik und Hydrogeologie (z.B. Wasserzutritte).
- Regelmäßige Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit im Abbaubereich (Sumpfungswasser, Einleitwasser).



Dr. Johannes Pommerening

Julia Doerks



14 Literaturverzeichnis

- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen,- DVWK-Merkblätter 238; 136 S., Bonn
- Earth Manual (1974): U.S.B.R., 2. Auflage, -810 s., U.S. Printing Office, Washington.
- Höiting, B. & Coldewey, W. (2005): Hydrogeologie.-
- Geologischer Dienst (2005): Geologische Karte von NW, Blatt 4611 Hagen-Hohenlimburg mit Erläuterungen
- Köhler & Pommerening (2018): Hydrogeologisches Gutachten - Abbauerweiterung des Steinbruchs Steltenberg der Hohenlimburger Kalkwerke GmbH in Hagen-Hohenlimburg.-
- Langguth, H.-R. & Voigt, R. (2004): Hydrogeologische Methoden. – 2. überarb. und erw. Aufl., 1005 S., 304 Abb.; Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg
- LANUV Klimaatlas NRW, abzurufen unter: <https://www.klimaatlas.nrw.de/karte-klimaatlas>, abgerufen am 20.06.2022
- Maniak, U. (2010): Hydrologie und Wasserwirtschaft
- Meßer, J. (2008): Ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der flächendifferenzier-ten Grundwasserneubildung in Mitteleuropa
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW (MKULNV NRW) (2020): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nord-rhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas, Bewirtschaftungsplan 2022 – 2027, Entwurf, zu finden unter: <https://www.flussgebiete.nrw.de/planungseinheiten-steckbriefe-2016-2021-5696>
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW (MKULNV NRW) (2022): ELWAS-WEB, abzurufen unter: <https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.xhtml#>
- Reichmann, M.; Fresner, R. & Schulz, L. (2014): Meromixis an Kärntner Seen.- Denisia 33
- Stadt Hagen (2011): Wasserrechtliche Genehmigung gem. §§ 99 und 113 Landeswassergesetz zur Errichtung einer Flusswasserentnahme an der Lenne auf dem Grundstück Gemarkung Hohenlimburg Flur 15 Flurstück 782
- Stadt Hagen (2015): Ihr Antrag zur Verlängerung der Erlaubnis zur Entnahme von Wasser aus dem Betriebsbrunnen „B“



Stadt Hagen (2017): Wasserrechtliche Erlaubnis gem. § 8 Wasserhaushaltsgesetz zur Entnahme von Grundwasser auf ihrem Betriebsgrundstück Gemarkung Hohenlimburg Flur 8 Flurstück 279

Talsperrenleitzentrale des Ruhrverbandes: Informationen für den Gewässerpegel Hagen-Hohenlimburg, abzurufen unter: https://www.talsperrenleitzentrale-ruhr.de/online-daten/gewaesserpegel/2766993000100/?tx_onlinedata_gauges%5Baction%5D=show&tx_onlinedata_gauges%5Bcontroller%5D=Gauges, abgerufen am 20.06.2022

Talsperrenleitzentrale des Ruhrverbandes: Wasserstands und Abflussdaten Lenne-Pegel Hagen-Hohelimburg, Stand 21.06.2022

TURC, L. (1961): Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mis à jour.—Ann agron, 12, S. 13-49, Paris