

Geplantes Gips-Bergwerk Altertheim Ergänzung zum Hydrogeologischen Gutachten mit Szenarienuntersuchungen

Auftraggeber: Knauf Gips KG
Am Bahnhof 7
97346 Iphofen

Auftragsnummer: 4503359593-004
Bestelldatum: 16.02.2023

Sachverständige: Dipl.-Math. H. Kories
Dipl.-Geol. Dr. C. Klinger
Dipl.-Geol. T. Kaspar
Dipl.-Ing. Dr. L. Karimzadeh
Dipl.-Geol. H. Stubbe
M. Sc. Geow. A. Remmers
Dipl.-Geol. H. Feld (UMF)

Tel.-Durchwahl: 0201/172-1862

DMT-Bearbeitungs-Nr.: CME2-2022-01433

Essen, den 12.09.2024

DMT GmbH & Co. KG


(Kories)


(Klinger)

Diese Ergänzung besteht aus 21 Seiten.

Diese Unterlagen enthalten Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse. Einer Weitergabe an Dritte, auch im Rahmen von Informationsanträgen, wird ausdrücklich widersprochen.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1	Einleitung	5
2	Korrekturen und Ergänzungen	5

Die Begriffe Mittlere Dolomite und Mittlerer Dolomit sowie Untere Dolomite und Unterer Dolomit werden synonym verwendet. Für die Einheit Liter werden die Abkürzungen l und L synonym verwendet.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

Abbildung 1:	Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (nördlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	9
Abbildung 2:	Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (nördlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	10
Abbildung 3:	Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (zentraler Bereich des geplanten Abbaubereichs).....	11
Abbildung 4:	Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (zentraler Bereich des geplanten Abbaubereichs).....	11
Abbildung 5:	Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (südlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	13
Abbildung 6:	Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (südlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	13
Abbildung 7:	Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	16
Abbildung 8:	Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	16
Abbildung 9:	Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am nördlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	18
Abbildung 10:	Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am nördlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	18
Abbildung 11:	Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (unterer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	20
Abbildung 12:	Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (unterer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).....	20

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

Tabelle 1:	Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten des Gesamtmodells und des abgesoffenen Bergwerks für den Ausgangszustand und alle vier untersuchten Varianten.....	7
Tabelle 2:	Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den nördlichen Rand des geplanten Abbaubereichs.	9
Tabelle 3:	Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den zentralen Bereich des geplanten Abbaubereichs.	11
Tabelle 4:	Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den südlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.	13
Tabelle 5:	Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den oberen Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.	15
Tabelle 6:	Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den oberen Bereich der Unteren Dolomite am nördlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.	17
Tabelle 7:	Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den unteren Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.	19

1 Einleitung

Die Knauf Gips KG (Knauf) plant den untertägigen Abbau einer Gips-Lagerstätte im Raum Altertheim. Hierzu wurde von DMT GmbH & Co. KG (DMT) in Zusammenarbeit mit UMF – Umwelt- und Geotechnik Mainfranken GmbH (UMF) ein zweiteiliges Hydrogeologisches Gutachten mit Szenarienberechnungen erarbeitet. Teil A (Datum 03.05.2024) beschreibt die Bestandsaufnahme, Teil B (Datum 10.06.2024) die Szenarienberechnungen.

In der Zeit nach der Abgabe der beiden Teile sind einige Schreibfehler aufgefallen. Außerdem wurde das Gutachten von Gutachtern der Trinkwasserversorgung Würzburg (TWV) gelesen und die TWV bat in der Folge um eine zusätzliche oder ausführlichere Beschreibung von bestimmten Untersuchungsschritten. In dieser Ergänzung werden alle aufgefallenen Schreibfehler benannt und richtiggestellt und die von der TWV bzw. ihren Gutachtern angesprochenen Punkte beschrieben.

2 Korrekturen und Ergänzungen

Teil A, Seite 127, letzter Absatz: In dem Satz „Abbildung 44 (rechts) basiert ebenso wie Abbildung 45 auf Mittelwerten der im Dezember 2023 entnommenen Schöpfproben aus den Filterstrecken der unterhalb des Gipslagers verfilterten Messstellen.“ wird zum Schluss Teil B, Kapitel 3 zum Vergleich adressiert. Dieser Querverweis ist falsch. Es muss Kapitel 6.3.4 in Teil A adressiert werden.

Teil A, Seite 129, Unterschrift unter Abbildung 46: Diese Unterschrift ist unpräzise. Sie muss lauten: „Übersicht über den Untersuchungsraum mit Lage der Bohransatzpunkte mit beprobaren Bohrkernen.“

Teil A, Seite 134, dritter Absatz: In dem Satz „Wird diese Grundfläche auf einen würfelförmigen Körper übertragen, ergibt sich eine Oberfläche von 216 cm³“ ist die Einheit falsch. Es muss 216 cm² heißen.

Teil A, Seite 146, Unterschrift unter Abbildung 59: In der Unterschrift „Verteilung der 48 untersuchten Proben im ternären System SiO₂ – CO₂ – SO₄.“ ist ein Fehler enthalten. Es muss CO₃ statt CO₂ heißen.

Teil A, Seite 150, Anfang vom 2. Absatz: „Alle diese Minerale stellen keine Neubildungen bei der Diagenese dar, sondern sind wohl während der Bildung der Ablagerungen als feinklastisches Material in das versalzende Meer eingetragen worden.“ Anstelle von Meer muss es Meer heißen.

Teil A, Seite 151, 2. Absatz: „Der Anteil an Quarz nimmt mit abnehmendem Gesamtsilikatgehalt ab, ein Effekt, der auch durch die gute Kristallinität und damit Bestimmbarkeit bei der XRD-Analyse bedingt sein kann,...“. Es ist falsch, dass der Anteil an Quarz abnimmt. Er nimmt zu.

Teil A, Seite 157, 1. Absatz: In den letzten 3 Sätzen „Entsprechend zeigen die Kerne auch keine Anzeichen von Plastizität und auch die Probenkörper bleiben formstabil. Der Vergleich der beiden Dünnschliffe Gips-Residual-Proben aus UD3 und UD4 ergibt nur Unterschiede im Detail. Feinklastische Bestandteile und Gips sind kleinteilig miteinander vermischt, so dass das Vorhandensein offener Klüfte ausgeschlossen werden kann.“ fehlen Verweise und der mittlere Satz ist unverständlich formuliert. Die 3 Sätze müssen mit den Verweisen korrekt lauten: „Entsprechend zeigen die Kerne auch keine Anzeichen von Plastizität und auch die Probenkörper bleiben formstabil (Abbildung 75). Der Vergleich von zwei Dünnschliffen solcher Gips-Residual-Proben aus UD3 (Abbildung 73) und UD4 (Abbildung 72) ergibt nur Unterschiede im Detail. Feinklastische Bestandteile und Gips sind kleinteilig miteinander vermischt, so dass das Vorhandensein offener Klüfte ausgeschlossen werden kann.“

Teil A, Seite 197, Benennung von Kapitel 8.4: Zum besseren Verständnis muss Kapitel 8.4 anstelle von „Synthese“ „Datenaufbereitung für die Modellrechnungen und Synthese“ heißen.

Teil B, Seite 14: Unterhalb von Tabelle 1 steht der Begriff Chlorid. Dies ist ein Schreibfehler. Das Mineral wird Chlorit geschrieben.

Teil B, Seite 20, letzter Absatz: Dort werden in einer Aufzählung 3 Proben mit ihren vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten aufgeführt. Bei der mittleren Probe ist es zu einem Schreibfehler bei der Durchlässigkeit gekommen. Anstelle von $4,03E-10$ m/s muss dort $4,03E-9$ m/s entsprechend Tabelle 1 stehen. Der Schreibfehler ist nicht in die Berechnung des resultierenden vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerts von $3,90E-10$ m/s eingegangen. Es wurde der richtige Wert aus Tabelle 1 verwendet.

Teil B, Kapitel 2.6, Massenbilanz des numerischen Grundwassermodells: Zur Berechnung von Szenario 4 (Nachbergbauphase) wurde ein kalibriertes numerisches Grundwasserströmungsmodell eingesetzt. Ein Gutachter der TWV bat um die Auswertung der Massenbilanz des Grundwassermodells im Ausgangszustand und der gerechneten Varianten im Sinne eines Vergleichs der Gesamteinströmung in den Modellkörper mit der Gesamtausströmung. Der Bitte des Gutachters wird hiermit nachgekommen. Zusätzlich wurden die Ein- und Ausströmungsraten des abgeoffenen Bergwerks für alle 4 untersuchten Varianten zusammengestellt und ausgewertet. Die sich ergebenden Differenzen sind in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten des Gesamtmodells und des abgesoffenen Bergwerks für den Ausgangszustand und alle vier untersuchten Varianten.

Modellvariante	Gesamteinfluss	Gesamtausfluss	Abs. Delta	Abweichung
	m ³ /a	m ³ /a	m ³ /a	%
Ausgangszustand - Gesamtmodell	2599428,901	2599475,164	46,263	0,001780
Variante 1 - Gesamtmodell	2600310,829	2600314,894	4,065	0,000156
Variante 1 - Grubenbilanz	4804,935	4804,932		
Variante 2 - Gesamtmodell	2600509,302	2600505,658	3,644	0,000140
Variante 2 - Grubenbilanz	5727,581	5727,552		
Variante 3 - Gesamtmodell	2600369,044	2600366,458	2,586	0,000099
Variante 3 - Grubenbilanz	5417,369	5417,334		
Variante 4 - Gesamtmodell	2600368,287	2600373,618	5,331	0,000205
Variante 4 - Grubenbilanz	5254,444	5254,388		

Die Differenzen zwischen der Gesamteinströmung und der Gesamtausströmung sind auf gewisse Restungenauigkeiten bei der iterativen Lösung (PCG-Löser) des linearen Gleichungssystems zurückzuführen. Insgesamt ist festzustellen, dass das numerische Grundwassermodell in sich sehr genau rechnet.

Teil B, Kapitel 2.6.1, Unterpunkt Randbedingungen: Unter dem Unterpunkt „Randbedingungen“ wird auch die Zusickerung zu den Mittleren Dolomiten als Randbedingung 2. Art (Neumann-Randbedingung) beschrieben. Einer der Gutachter der TWV bat um Erläuterung der festgelegten Zusickerungsraten (generell 65 mm/a, nur im zentralen Modellgebiet 20 mm/a, flächengemittelt 62 mm/a) in Anbetracht einer mittleren Neubildungsrate von 100 mm/a bis 130 mm/a im Einzugsgebiet der Zeller Quellen (im Erläuterungsbericht zur Neufestsetzung des Trinkwasserschutzbereichs für die Zeller Quellen von Genesis werden 100 mm/a angesetzt).

Die Grundwasserneubildung und die Zusickerung zu den Mittleren Dolomiten im Untersuchungs- bzw. Modellgebiet sind im Kapitel 6.7 in Teil A beschrieben. Die Zusickerung zu den Mittleren Dolomiten darf nicht mit der Grundwasserneubildung verwechselt werden. Da sich oberhalb der Mittleren Dolomiten noch ein differenziert aufgebautes Gebirge mit Mächtigkeiten von bis zu 120 m erstreckt, ist es für DMT/UMF plausibel, dass die Neubildung nicht einfach bis zu den Mittleren Dolomiten durchsickert, sondern dass es in verschiedenen Schichten wie z. B. den Stylolithenkalken zu einer lateralen Grundwasserbewegung kommt. Es entspricht dem hydrogeologischen Grundverständnis von Behörden und Gutachterbüros, dass sich verschiedene Schichten wie die Stylolithenkalke, die Mittleren Dolomite und die Unteren Dolomite sowie deren Liegendschichten auf dem Weg Richtung Main zu einem gemeinsamen zusammenhängenden Grundwasserleiter vereinigen, wobei sich die jeweiligen Durchlässigkeiten vergrößern. Die Grundwässer und damit

auch die neugebildeten Grundwässer sickern nach dieser Vorstellung kaskadierend dem gemeinsamen Grundwasserleiter zu. Damit ist plausibel, dass die Grundwasserneubildung nicht ungeschmälert im Bereich des Untersuchungsgebiets bei Altertheim den Mittleren Dolomiten zusickert. Während der Modellkalibrierung wurde versucht, größere Zusickerungsraten zu den Mittleren Dolomiten im Hinblick auf Plausibilität zu testen. Dabei stellte sich heraus, dass mit größeren Zusickerungsraten die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte und die Grundwasserstandsmesswerte ungenauer nachzurechnen sind. Dies ist für das Modellverständnis von DMT/UMF ein zusätzlicher Beleg dafür, dass Zusickerungsraten in der gewählten Größenordnung plausibel sind. Auch die verringerten Zusickerungsraten im zentralen Abbaugbiet von 20 mm/a sind plausibel, da sich die Mittleren Dolomite in diesem Bereich als geringer durchlässig erwiesen haben als in den umgebenden Bereichen (siehe Abbildung 25 auf Seite 55 und Abbildung 26 auf Seite 57 in Teil B). In dem zentralen Bereich wurden für die Mittleren Dolomite Durchlässigkeitsbeiwerte in Pumpversuchen von E-6 m/s oder E-5 m/s ermittelt. Eine deutlich größere Zusickerungsrate in diesem Bereich würde höhere Grundwasserstände erzeugen und die Modellkalibrierung erschweren.

Abschließend zu diesem Thema sei noch darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der zugehörigen Modellrechnungen für die Nachbergbauphase im Sinne der Durchströmungsraten durch das abgesoffene Bergwerk weitgehend unabhängig davon sind, wie groß der Anteil der Zusickerungsrate zu den Mittleren Dolomiten ist. Die Durchströmungsraten durch das abgesoffene Bergwerk ließen sich für die Variante ohne Zuströmungsfenster näherungsweise auch analytisch berechnen. Die Durchströmungsrate wird primär bestimmt durch die Grundwasserpotenzialverteilung in den Mittleren Dolomiten und die vertikale Durchlässigkeit der TSW.

Teil B, Kapitel 3.1, Modellrechnungen zur Gipsauflösung und möglichen Vergrößerung der Durchlässigkeit für Szenario 1

In Teil B, Kapitel 3.1 werden die numerischen Stofftransportmodelle, mit denen die Auswirkungen der Gipsauflösung auf die Durchlässigkeit der TSW in Szenario 1 berechnet werden, beschrieben. Als Simulationsprogramm wurde COMSOL verwendet. Es wurden insgesamt 3 numerische Stofftransportmodelle erstellt, und zwar für die Bohrung UD1 am nördlichen Rand des geplanten Abbaubereichs, für die Bohrung UD3 im Zentrum des geplanten Abbaubereichs und für die Bohrung UD4 am südlichen Rand des geplanten Abbaubereichs. Es handelt sich dabei jeweils um instationäre zweidimensional-vertikale Modelle (1 m² Grundfläche), die die Durchströmung mit Grundwasser als Porenströmung entsprechend dem Darcy-Gesetz, die Gipsauflösung und den Stofftransport über jeweils 100 Jahre berechnen. Ein Gutachter der TWV bat um die Auswertung der Massenbilanz dieser Modelle im Sinne eines Vergleichs der Gesamteinströmung in den Modellkörper mit der Gesamtausströmung. Der Bitte des Gutachters wird hiermit nachgekommen.

Nördlicher Randbereich des Abbaubereichs, UD1

In Tabelle 2 sind die Ein- und Ausstromraten des Stofftransportmodells zusammen mit dem absoluten Betrag der Differenz zwischen beiden mit einem zeitlichen Abstand von jeweils 10 Jahren aufgeführt. Abschließend wurde der Anteil der absoluten Differenz an der Ein- und Ausstromrate

als Prozentzahl berechnet. In der vorletzten und der letzten Spalte von Tabelle 2 sind die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) in g/a beim Ein- und Ausstrom dargestellt.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den nördlichen Rand des geplanten Abbaubereichs.

T [a]	Qin [l/a]	Qout [l/a]	Qout-Qin [l/a]	proz. Anteil Qout-Qin an Qin [%]	proz. Anteil Qout-Qin an Qout [%]	TDS in [g/a]	TDS out [g/a]
0	11,2640	11,2530	0,0110	0,0977	0,0978	8,1687	29,1813
10	11,2750	11,2630	0,0120	0,1064	0,1065	8,1766	29,2072
20	11,2910	11,2800	0,0110	0,0974	0,0975	8,1882	29,2513
30	11,3040	11,2960	0,0080	0,0708	0,0708	8,1977	29,2928
40	11,3170	11,3120	0,0050	0,0442	0,0442	8,2071	29,3343
50	11,3290	11,3270	0,0020	0,0177	0,0177	8,2158	29,3732
60	11,3380	11,3430	0,0050	0,0441	0,0441	8,2223	29,4147
70	11,3500	11,3580	0,0080	0,0705	0,0704	8,2310	29,4536
80	11,3610	11,3720	0,0110	0,0968	0,0967	8,2390	29,4899
90	11,3720	11,3860	0,0140	0,1231	0,1230	8,2470	29,5262
100	11,3830	11,4000	0,0170	0,1493	0,1491	8,2550	29,5625

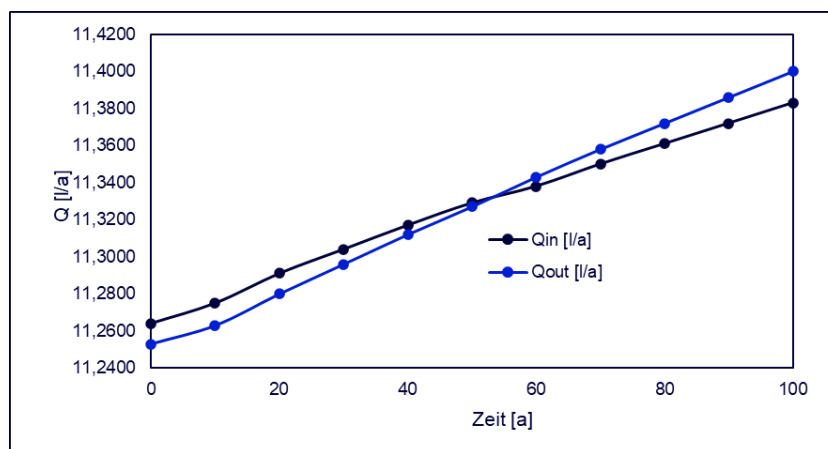


Abbildung 1: Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (nördlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

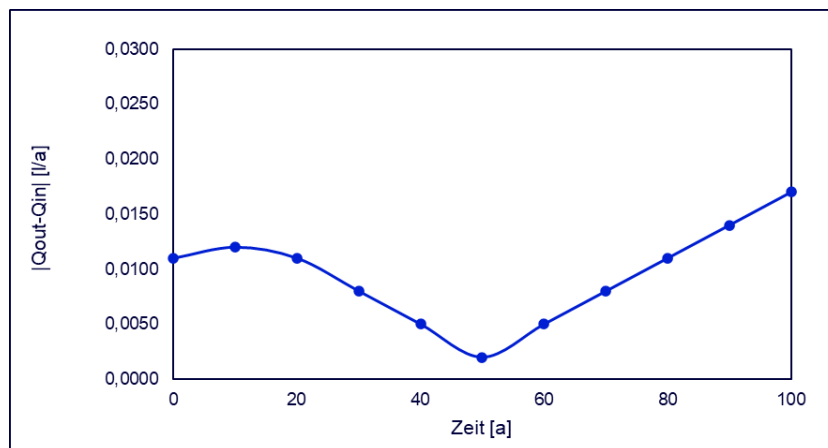


Abbildung 2: Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (nördlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

In Abbildung 1 sind die Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells und in Abbildung 2 der Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate jeweils über 100 Jahre dargestellt.

Die Differenzen zwischen den Ein- und Ausströmungsraten betragen maximal ca. 0,017 l/a. Dies sind ca. 0,15 % der Ein- bzw. Ausströmungsraten. Diese Differenzen sind auf Restungenauigkeiten bei der Lösung des linearen Gleichungssystems zurückzuführen. Insgesamt ist festzustellen, dass der Strömungsteil des numerischen Stofftransportmodells in sich sehr genau rechnet.

Die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) beim Einstrom entsprechen den Wasserinhaltsstoffen des Grundwassers in den Mittleren Dolomiten. Im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit werden so 8,2 g/a in den Modellkörper eingetragen. Im Modellkörper kommt es zu einer Gipsauflösung, so dass das Grundwasser im Modellkörper mit Calcium und Sulfat aufkonzentriert wird (Gipssättigung). Entsprechend größer sind die insgesamt gelösten Stoffmassen beim Ausstrom (im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit ca. 29,4 g/a). Es werden also im Mittel 21,2 g/a an Calcium und Sulfat aus der Gipsauflösung aus dem Modellkörper ausgetragen. Dies sind für 100 Jahre ca. 2,12 kg. Auf Seite 85 in Teil B steht, dass insgesamt 2,8 kg Gips in den 100 Jahren entsprechend der COMSOL-Modellierung aufgelöst wurden. Die fehlenden 0,68 kg in 100 Jahren bestehen aus dem Kristallwasser, das bei der Gipsauflösung freigesetzt wird und als Wasser (kein Anteil von TDS) aus dem Modellkörper ausströmt. Damit ist auch die Stoffbilanz gut belegt und plausibel. Dieses Hinzukommen von Kristallwasser kann strenggenommen als innere Quelle für Grundwasser betrachtet werden, aber es handelt sich um geringe Mengen (0,0068 l/a), die in der Massenbilanz vernachlässigbar sind. Das Volumen des in 100 Jahren gelösten Gipses beträgt 1,2 l. Im Laufe der 100 Jahre wird es sukzessive mit Wasser aus der Durchströmung gefüllt.

Zentraler Bereich des Abbaubereichs, UD3

In Tabelle 3 sind die Ein- und Ausstromraten des Stofftransportmodells zusammen mit dem Absolutbetrag der Differenz zwischen beiden mit einem zeitlichen Abstand von jeweils 10 Jahren aufgeführt. Abschließend wurde der Anteil der absoluten Differenz an der Ein- und Ausstromrate als Prozentzahl berechnet. In der vorletzten und der letzten Spalte von Tabelle 3 sind die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) in g/a beim Ein- und Ausstrom dargestellt.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den zentralen Bereich des geplanten Abbaubereichs.

T [a]	Qin [l/a]	Qout [l/a]	Qout-Qin [l/a]	proz. Anteil Qout-Qin an Qin [%]	proz. Anteil Qout-Qin an Qout [%]	TDS in [g/a]	TDS out [g/a]
0	13,5100	13,5001	0,0099	0,0733	0,0733	9,7975	35,0085
10	13,5138	13,5040	0,0098	0,0721	0,0722	9,8002	35,0186
20	13,5150	13,5080	0,0070	0,0518	0,0518	9,8011	35,0289
30	13,5153	13,5110	0,0043	0,0314	0,0315	9,8013	35,0367
40	13,5150	13,5130	0,0020	0,0148	0,0148	9,8011	35,0419
50	13,5145	13,5150	0,0005	0,0037	0,0037	9,8007	35,0471
60	13,5135	13,5160	0,0026	0,0189	0,0189	9,8000	35,0497
70	13,5127	13,5170	0,0043	0,0316	0,0316	9,7994	35,0523
80	13,5122	13,5180	0,0058	0,0427	0,0427	9,7991	35,0549
90	13,5115	13,5190	0,0075	0,0555	0,0555	9,7985	35,0575
100	13,5110	13,5200	0,0090	0,0666	0,0666	9,7982	35,0601

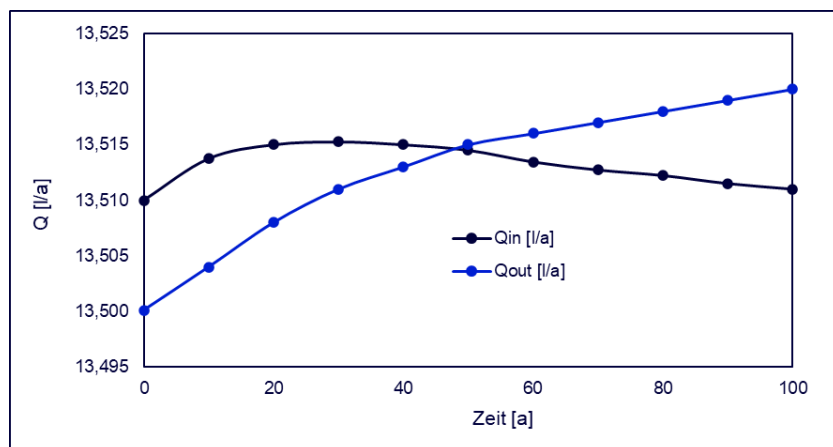


Abbildung 3: Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (zentraler Bereich des geplanten Abbaubereichs).

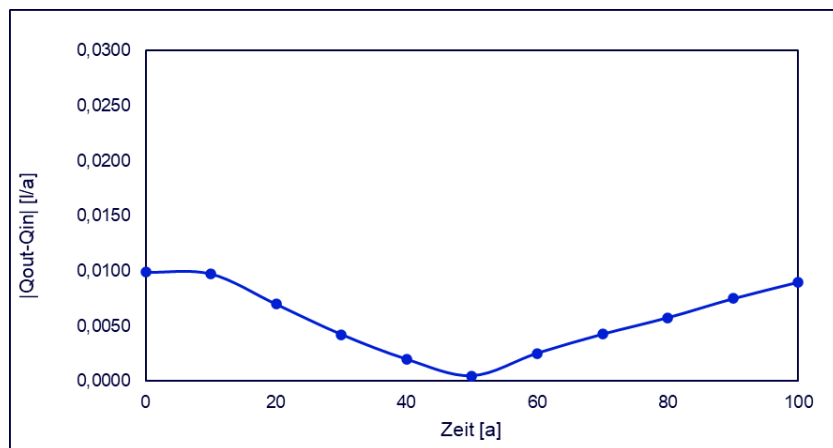


Abbildung 4: Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (zentraler Bereich des geplanten Abbaubereichs).

In Abbildung 3 sind die Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells und in Abbildung 4 der Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate jeweils über 100 Jahre dargestellt.

Die Differenzen zwischen den Ein- und Ausströmungsraten betragen maximal ca. 0,01 l/a. Dies sind ca. 0,07 % der Ein- bzw. Ausströmungsraten. Diese Differenzen sind auf Restungenauigkeiten bei der Lösung des linearen Gleichungssystems zurückzuführen. Insgesamt ist festzustellen, dass der Strömungsteil des numerischen Stofftransportmodells in sich sehr genau rechnet.

Die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) beim Einstrom entsprechen den Wasserinhaltsstoffen des Grundwassers in den Mittleren Dolomiten. Im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit werden so 9,80 g/a in den Modellkörper eingetragen. Im Modellkörper kommt es zu einer Gipsauflösung, so dass das Grundwasser im Modellkörper mit Calcium und Sulfat aufkonzentriert wird (Gips sättigung). Entsprechend größer sind die insgesamt gelösten Stoffmassen beim Ausstrom (im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit ca. 35,04 g/a). Es werden also im Mittel 25,24 g/a an Calcium und Sulfat aus der Gipsauflösung aus dem Modellkörper ausgetragen. Dies sind für 100 Jahre ca. 2,52 kg. Auf Seite 89 in Teil B steht, dass insgesamt 3,26 kg Gips in den 100 Jahren entsprechend der COMSOL-Modellierung aufgelöst wurden. Die fehlenden 0,74 kg in 100 Jahren bestehen aus dem Kristallwasser, das bei der Gipsauflösung freigesetzt wird und als Wasser (kein Anteil von TDS) aus dem Modellkörper ausströmt. Damit ist auch die Stoffbilanz gut belegt und plausibel. Dieses Hinzukommen von Kristallwasser kann strenggenommen als innere Quelle für Grundwasser betrachtet werden, aber es handelt sich um geringe Mengen (0,0074 l/a), die in der Massenbilanz vernachlässigbar sind. Das Volumen des in 100 Jahren gelösten Gipses beträgt 1,4 l. Im Laufe der 100 Jahre wird es sukzessive mit Wasser aus der Durchströmung gefüllt.

Südlicher Randbereich des Abbaubereichs, UD4

In Tabelle 4 sind die Ein- und Ausstromraten des Stofftransportmodells zusammen mit dem Absolutbetrag der Differenz zwischen beiden mit einem zeitlichen Abstand von jeweils 10 Jahren aufgeführt. Abschließend wurde der Anteil der absoluten Differenz an der Ein- und Ausstromrate als Prozentzahl berechnet. In der vorletzten und der letzten Spalte von Tabelle 4 sind die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) in g/a beim Ein- und Ausstrom dargestellt.

Tabelle 4: Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den südlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.

T [a]	Qin [l/a]	Qout [l/a]	Qout-Qin [l/a]	proz. Anteil Qout-Qin an Qin [%]	proz. Anteil Qout-Qin an Qout [%]	TDS in [g/a]	TDS out [g/a]
0	8,5780	8,5700	0,0080	0,0933	0,0933	6,2208	22,2237
10	8,5875	8,5806	0,0069	0,0803	0,0804	6,2277	22,2512
20	8,5950	8,5888	0,0062	0,0721	0,0722	6,2331	22,2725
30	8,6018	8,5969	0,0049	0,0570	0,0570	6,2380	22,2935
40	8,6079	8,6049	0,0030	0,0349	0,0349	6,2424	22,3142
50	8,6139	8,6129	0,0010	0,0116	0,0116	6,2468	22,3350
60	8,6197	8,6206	0,0009	0,0104	0,0104	6,2510	22,3549
70	8,6246	8,6283	0,0037	0,0429	0,0429	6,2546	22,3749
80	8,6302	8,6359	0,0057	0,0660	0,0660	6,2586	22,3946
90	8,6358	8,6434	0,0076	0,0880	0,0879	6,2627	22,4141
100	8,6411	8,6507	0,0096	0,1111	0,1110	6,2665	22,4330

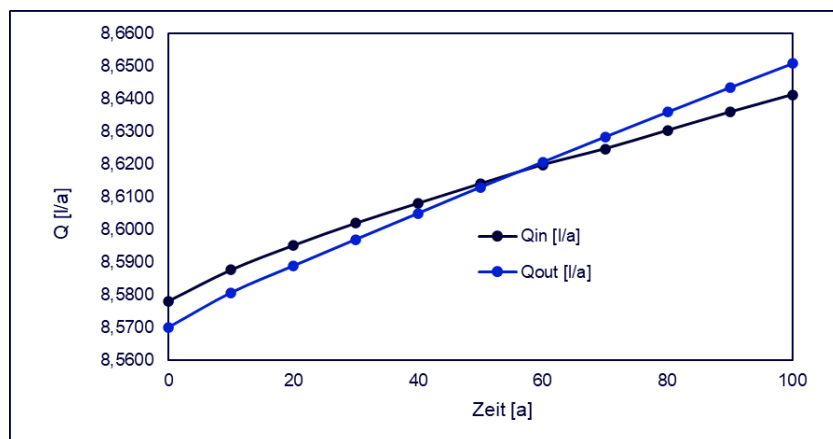


Abbildung 5: Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (südlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

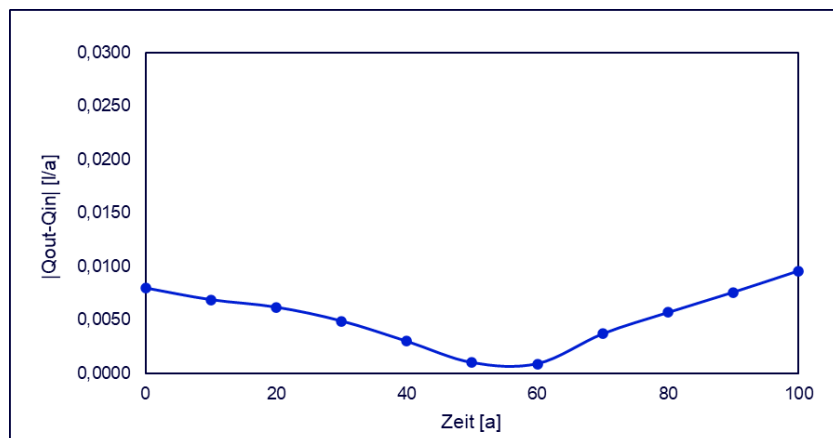


Abbildung 6: Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (südlicher Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

In Abbildung 5 sind die Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells und in Abbildung 6 der Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate jeweils über 100 Jahre dargestellt.

Die Differenzen zwischen den Ein- und Ausströmungsraten betragen maximal ca. 0,01 l/a. Dies sind ca. 0,11 % der Ein- bzw. Ausströmungsraten. Diese Differenzen sind auf Restungenauigkeiten bei der Lösung des linearen Gleichungssystems zurückzuführen. Insgesamt ist festzustellen, dass der Strömungsteil des numerischen Stofftransportmodells in sich sehr genau rechnet.

Die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) beim Einstrom entsprechen den Wasserinhaltsstoffen des Grundwassers in den Mittleren Dolomiten. Im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit werden so 6,25 g/a in den Modellkörper eingetragen. Im Modellkörper kommt es zu einer Gipsauflösung, so dass das Grundwasser im Modellkörper mit Calcium und Sulfat aufkonzentriert wird (Gipssättigung). Entsprechend größer sind die insgesamt gelösten Stoffmassen beim Ausstrom (im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit ca. 22,35 g/a). Es werden also im Mittel 16,10 g/a an Calcium und Sulfat aus der Gipsauflösung aus dem Modellkörper ausgetragen. Dies sind für 100 Jahre ca. 1,61 kg. Auf Seite 92 in Teil B steht, dass insgesamt 2,1 kg Gips in den 100 Jahren entsprechend der COMSOL-Modellierung aufgelöst wurden. Die fehlenden 0,49 kg in 100 Jahren bestehen aus dem Kristallwasser, das bei der Gipsauflösung freigesetzt wird und als Wasser (kein Anteil von TDS) aus dem Modellkörper ausströmt. Damit ist auch die Stoffbilanz gut belegt und plausibel. Dieses Hinzukommen von Kristallwasser kann strenggenommen als innere Quelle für Grundwasser betrachtet werden, aber es handelt sich um geringe Mengen (0,0049 l/a), die in der Massenbilanz vernachlässigbar sind. Das Volumen des in 100 Jahren gelösten Gipses beträgt 0,9 l. Im Laufe der 100 Jahre wird es sukzessive mit Wasser aus der Durchströmung gefüllt.

Teil B, Kapitel 3.2, Modellrechnungen zur Gipsauflösung und Vergrößerung der Durchlässigkeit für Szenario 2.1

In Teil B, Kapitel 3.2 werden die numerischen Stofftransportmodelle, mit denen die Auswirkungen der Gipsauflösung auf die Durchlässigkeit der Unteren Dolomite in Szenario 2.1 berechnet werden, beschrieben. Als Simulationsprogramm wurde COMSOL verwendet. Es wurden insgesamt 3 numerische Stofftransportmodelle erstellt, und zwar für den oberen, gipsreichen Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs, für den oberen, gipsreichen Bereich der Unteren Dolomite am nördlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs und für den unteren, gipsarmen Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs. Es handelt sich dabei jeweils um instationäre zweidimensional-horizontale Modelle (1 m Breite und 0,3 m Höhe), die die Durchströmung mit Grundwasser als Kluftströmung entsprechend dem kubischen Gesetz, die Gipsauflösung und den Stofftransport über jeweils 100 Jahre berechnen. Ein Gutachter der TWV bat um die Auswertung der Massenbilanz dieser Modelle im Sinne eines Vergleichs der Gesamteinströmung in den Modellkörper mit der Gesamtausströmung. Der Bitte des Gutachters wird hiermit nachgekommen.

Westlicher Randbereich des Abbaubereichs, oberer Bereich der Unteren Dolomite

In Tabelle 5 sind die Ein- und Ausstromraten des Stofftransportmodells zusammen mit dem Absolutbetrag der Differenz zwischen beiden mit einem zeitlichen Abstand von jeweils 10 Jahren aufgeführt. Abschließend wurde der Anteil der absoluten Differenz an der Ein- und Ausstromrate als Prozentzahl berechnet. In der vorletzten und der letzten Spalte von Tabelle 5 sind die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) in g/a beim Ein- und Ausstrom dargestellt.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den oberen Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.

T [a]	Qin [l/a]	Qout [l/a]	Qout-Qin [l/a]	proz. Anteil Qout-Qin an Qin [%]	proz. Anteil Qout-Qin an Qout [%]	TDS in [g/a]	TDS out [g/a]
0	0,8322	0,8315	0,0007	0,0868	0,0869	9,5106	10,2324
10	0,8324	0,8317	0,0007	0,0867	0,0867	9,5130	10,2350
20	0,8327	0,8320	0,0007	0,0846	0,0847	9,5157	10,2381
30	0,8329	0,8322	0,0007	0,0794	0,0795	9,5179	10,2410
40	0,8331	0,8324	0,0006	0,0735	0,0736	9,5201	10,2440
50	0,8332	0,8327	0,0006	0,0675	0,0675	9,5222	10,2468
60	0,8334	0,8329	0,0005	0,0568	0,0568	9,5239	10,2497
70	0,8335	0,8331	0,0004	0,0498	0,0499	9,5258	10,2525
80	0,8337	0,8333	0,0004	0,0438	0,0439	9,5277	10,2552
90	0,8339	0,8336	0,0003	0,0379	0,0380	9,5296	10,2578
100	0,8340	0,8338	0,0003	0,0319	0,0320	9,5314	10,2605

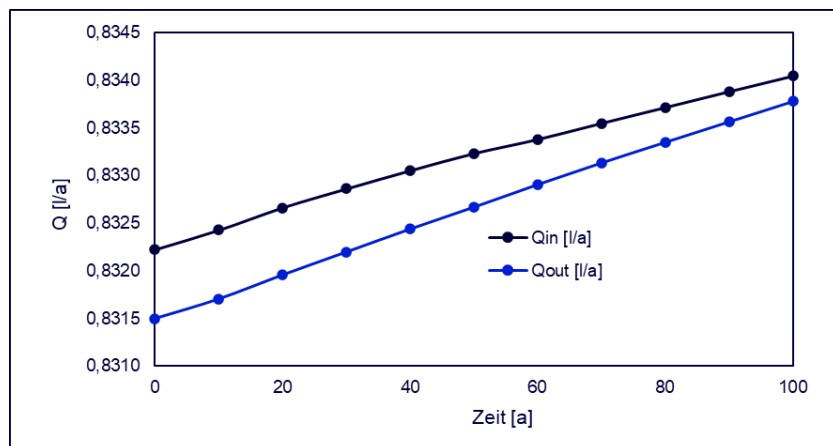


Abbildung 7: Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

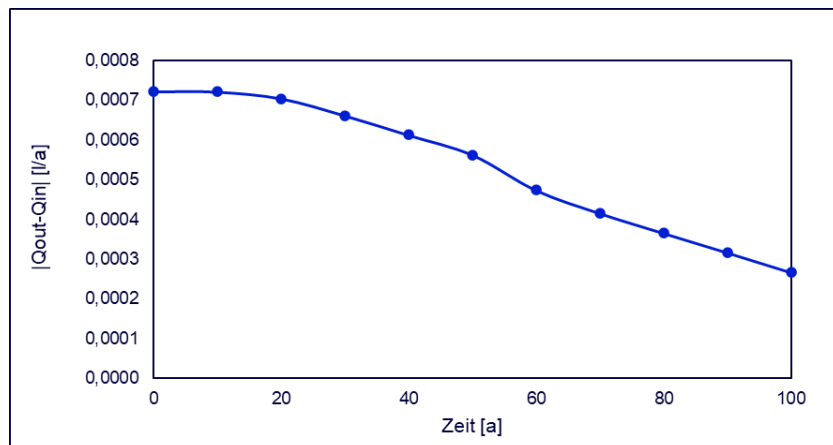


Abbildung 8: Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

In Abbildung 7 sind die Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells und in Abbildung 8 der Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate jeweils über 100 Jahre dargestellt.

Die Differenzen zwischen den Ein- und Ausströmungsraten betragen maximal ca. 0,0007 l/a. Dies sind ca. 0,087 % der Ein- bzw. Ausströmungsraten. Diese Differenzen sind auf Restungenauigkeiten bei der Lösung des linearen Gleichungssystems zurückzuführen. Insgesamt ist festzustellen, dass der Strömungsteil des numerischen Stofftransportmodells in sich sehr genau rechnet.

Die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) beim Einstrom entsprechen den Wasserinhaltsstoffen des Grundwassers in den Unteren Dolomiten am westlichen Rand des geplanten Abbaubereichs. Im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit werden so 9,52 g/a in den Modellkörper eingetragen. Im Modellkörper kommt es zu einer Gipsauflösung, so dass das Grundwasser im Modellkörper mit Calcium und Sulfat aufkonzentriert wird (Gipssättigung). Entsprechend größer sind die insgesamt gelösten Stoffmassen beim Ausstrom (im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit ca. 10,25 g/a). Es

werden also im Mittel 0,73 g/a an Calcium und Sulfat aus der Gipsauflösung aus dem Modellkörper ausgetragen. Dies sind für 100 Jahre ca. 73 g. Auf Seite 105 in Teil B steht, dass insgesamt 74,5 g Gips in den 100 Jahren entsprechend der COMSOL-Modellierung aufgelöst wurden. Bei diesen sehr geringen Gipsauflösungsraten (0,75 g/a) in Kombination mit der sehr geringen Kluftöffnungsweite reicht die numerische Genauigkeit des Stofftransportmodells nicht mehr aus, den Anteil des frei gewordenen Kristallwassers (0,15 g/a) genau zu berechnen. Dies beeinträchtigt aber nicht die generelle Aussagekraft des Modells im Hinblick auf die Durchströmungsrate, die Gipsauflösung und die Durchlässigkeitsvergrößerung. Das Volumen des in 100 Jahren gelösten Gipses beträgt 0,025 l. Im Laufe der 100 Jahre wird es sukzessive mit Wasser aus der Durchströmung gefüllt.

Nördlicher Randbereich des Abbaubereichs, oberer Bereich der Unteren Dolomite

In Tabelle 6 sind die Ein- und Ausstromraten des Stofftransportmodells zusammen mit dem Absolutbetrag der Differenz zwischen beiden mit einem zeitlichen Abstand von jeweils 10 Jahren aufgeführt. Abschließend wurde der Anteil der absoluten Differenz an der Ein- und Ausstromrate als Prozentzahl berechnet. In der vorletzten und der letzten Spalte von Tabelle 6 sind die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) in g/a beim Ein- und Ausstrom dargestellt.

Tabelle 6: Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den oberen Bereich der Unteren Dolomite am nördlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.

T [a]	Q _{in} [l/a]	Q _{out} [l/a]	Q _{out} -Q _{in} [l/a]	proz. Anteil Q _{out} -Q _{in} an Q _{in} [%]	proz. Anteil Q _{out} -Q _{in} an Q _{out} [%]	TDS in [g/a]	TDS out [g/a]
0	0,4800	0,4799	0,0001	0,0218	0,0218	5,7428	6,1068
10	0,4809	0,4807	0,0002	0,0457	0,0457	5,7538	6,1170
20	0,4819	0,4815	0,0003	0,0704	0,0705	5,7653	6,1277
30	0,4828	0,4824	0,0005	0,0949	0,0950	5,7767	6,1383
40	0,4838	0,4832	0,0006	0,1192	0,1194	5,7880	6,1488
50	0,4847	0,4840	0,0007	0,1432	0,1434	5,7993	6,1593
60	0,4857	0,4849	0,0008	0,1673	0,1676	5,8106	6,1698
70	0,4866	0,4857	0,0009	0,1911	0,1914	5,8218	6,1803
80	0,4875	0,4865	0,0010	0,2145	0,2150	5,8329	6,1906
90	0,4885	0,4873	0,0012	0,2379	0,2384	5,8440	6,2010
100	0,4894	0,4881	0,0013	0,2611	0,2618	5,8551	6,2113

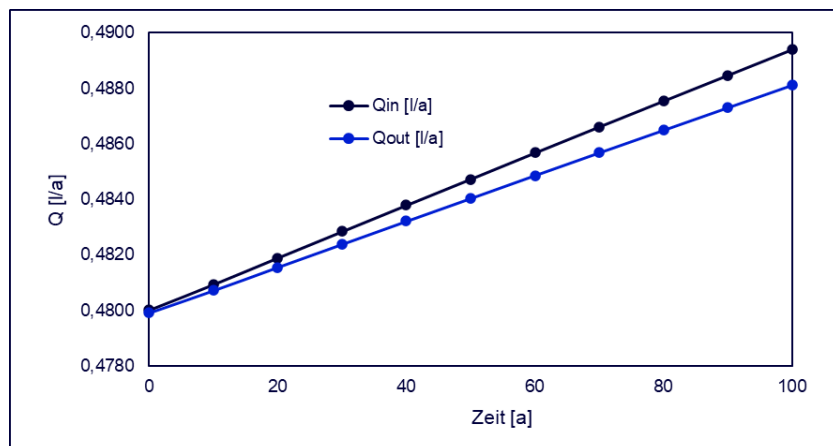


Abbildung 9: Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am nördlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

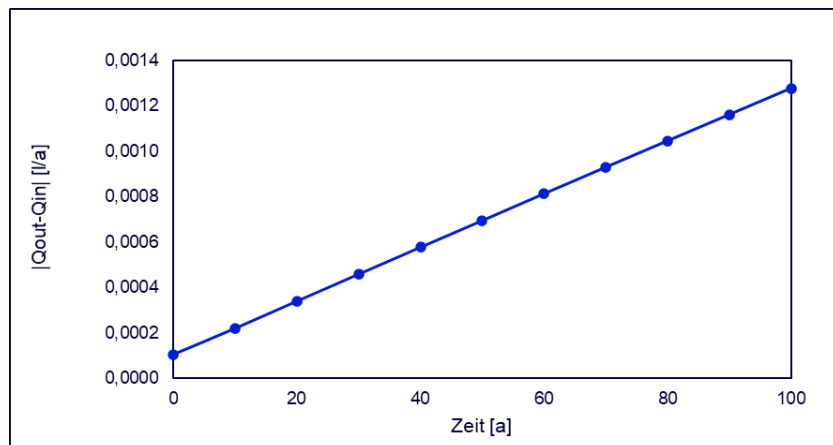


Abbildung 10: Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (oberer Bereich der Unteren Dolomite am nördlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

In Abbildung 9 sind die Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells und in Abbildung 10 der Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate jeweils über 100 Jahre dargestellt.

Die Differenzen zwischen den Ein- und Ausströmungsraten betragen maximal ca. 0,0013 l/a. Dies sind ca. 0,26 % der Ein- bzw. Ausströmungsrates. Diese Differenzen sind auf Restungenauigkeiten bei der Lösung des linearen Gleichungssystems zurückzuführen. Insgesamt ist festzustellen, dass der Strömungsteil des numerischen Stofftransportmodells in sich sehr genau rechnet.

Die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) beim Einstrom entsprechen den Wasserinhaltsstoffen des Grundwassers in den Unteren Dolomiten am nördlichen Rand des geplanten Abbaubereichs. Im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit werden so 5,80 g/a in den Modellkörper eingetragen. Im Modellkörper kommt es zu einer Gipsauflösung, so dass das Grundwasser im Modellkörper mit Calcium und Sulfat aufkonzentriert wird (Gipssättigung). Entsprechend größer sind die insgesamt gelösten Stoffmassen beim Ausstrom (im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit ca. 6,16 g/a). Es

werden also im Mittel 0,36 g/a an Calcium und Sulfat aus der Gipsauflösung aus dem Modellkörper ausgetragen. Dies sind für 100 Jahre ca. 36 g. Auf Seite 107 in Teil B steht, dass insgesamt 37,5 g Gips in den 100 Jahren entsprechend der COMSOL-Modellierung aufgelöst wurden. Bei diesen sehr geringen Gipsauflösungsraten (0,37 g/a) in Kombination mit der sehr geringen Kluftöffnungsweite reicht die numerische Genauigkeit des Stofftransportmodells nicht mehr aus, den Anteil des frei gewordenen Kristallwassers (0,075 g/a) genau zu berechnen. Dies beeinträchtigt aber nicht die generelle Aussagekraft des Modells im Hinblick auf die Durchströmungsrate, die Gipsauflösung und die Durchlässigkeitsvergrößerung. Das Volumen des in 100 Jahren gelösten Gipses beträgt 0,013 l. Im Laufe der 100 Jahre wird es sukzessive mit Wasser aus der Durchströmung gefüllt.

Westlicher Randbereich des Abbaubereichs, unterer Bereich der Unteren Dolomite

In Tabelle 7 sind die Ein- und Ausstromraten des Stofftransportmodells zusammen mit dem Absolutbetrag der Differenz zwischen beiden mit einem zeitlichen Abstand von jeweils 10 Jahren aufgeführt. Abschließend wurde der Anteil der absoluten Differenz an der Ein- und Ausstromrate als Prozentzahl berechnet. In der vorletzten und der letzten Spalte von Tabelle 7 sind die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) in g/a beim Ein- und Ausstrom dargestellt.

Tabelle 7: Zusammenstellung der Ein- und Ausströmungsraten und der transportierten gelösten Massen des COMSOL-Modells für den unteren Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs.

T [a]	Qin [l/a]	Qout [l/a]	Qout-Qin [l/a]	proz. Anteil Qout-Qin an Qin [%]	proz. Anteil Qout-Qin an Qout [%]	TDS in [g/a]	TDS out [g/a]
0	0,9362	0,9353	0,0009	0,0970	0,0971	10,6990	11,5098
10	0,9367	0,9359	0,0008	0,0880	0,0880	10,7045	11,5168
20	0,9372	0,9365	0,0007	0,0783	0,0783	10,7104	11,5243
30	0,9377	0,9371	0,0006	0,0687	0,0687	10,7163	11,5317
40	0,9382	0,9377	0,0006	0,0592	0,0592	10,7221	11,5390
50	0,9387	0,9383	0,0005	0,0498	0,0498	10,7278	11,5463
60	0,9392	0,9389	0,0004	0,0403	0,0403	10,7336	11,5536
70	0,9397	0,9394	0,0003	0,0310	0,0310	10,7393	11,5608
80	0,9402	0,9400	0,0002	0,0219	0,0219	10,7449	11,5679
90	0,9407	0,9406	0,0001	0,0128	0,0128	10,7505	11,5750
100	0,9412	0,9412	0,00003	0,0037	0,0037	10,7561	11,5821

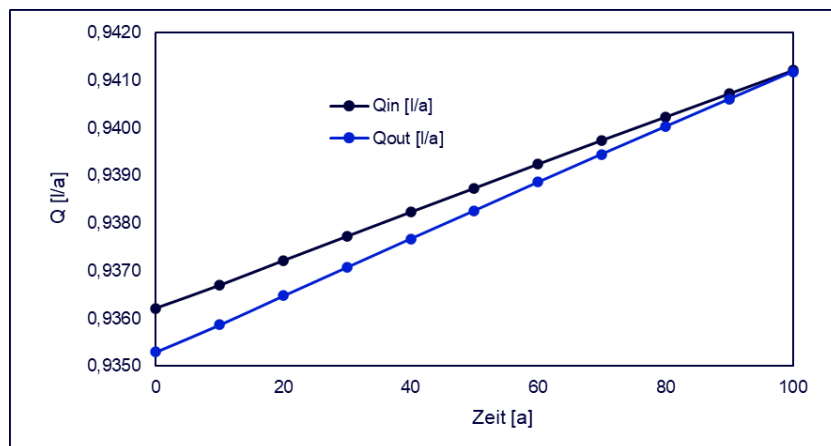


Abbildung 11: Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells (unterer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

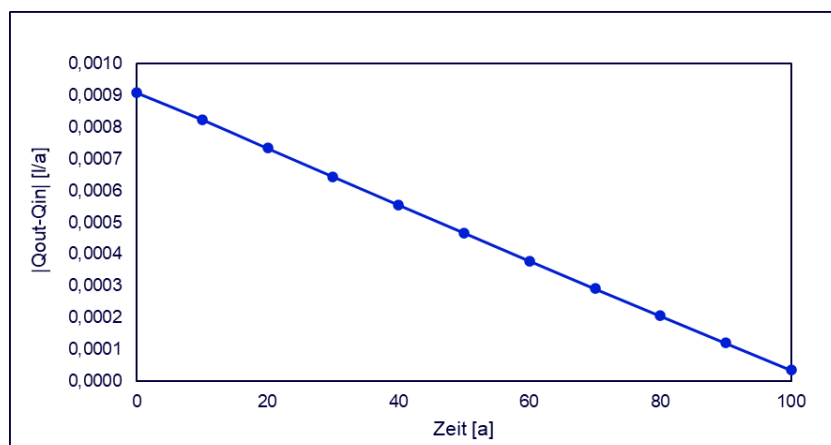


Abbildung 12: Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate des COMSOL-Modells (unterer Bereich der Unteren Dolomite am westlichen Randbereich des geplanten Abbaubereichs).

In Abbildung 11 sind die Ein- und Ausstromraten des COMSOL-Modells und in Abbildung 12 der Absolutbetrag der Differenz zwischen Ein- und Ausstromrate jeweils über 100 Jahre dargestellt.

Die Differenzen zwischen den Ein- und Ausströmungsraten betragen maximal ca. 0,0009 l/a. Dies sind ca. 0,097 % der Ein- bzw. Ausströmungsraten. Diese Differenzen sind auf Restungenauigkeiten bei der Lösung des linearen Gleichungssystems zurückzuführen. Insgesamt ist festzustellen, dass der Strömungsteil des numerischen Stofftransportmodells in sich sehr genau rechnet.

Die insgesamt gelösten Stoffmassen (TDS) beim Einstrom entsprechen den Wasserinhaltsstoffen des Grundwassers in den Unteren Dolomiten am nördlichen Rand des geplanten Abbaubereichs. Im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit werden so 10,73 g/a in den Modellkörper eingetragen. Im Modellkörper kommt es zu einer Gipsauflösung, so dass das Grundwasser im Modellkörper mit Calcium und Sulfat aufkonzentriert wird (Gipssättigung). Entsprechend größer sind die insgesamt gelösten Stoffmassen beim Ausstrom (im Mittel der 100 Jahre Simulationszeit ca. 11,55 g/a). Es

werden also im Mittel 0,82 g/a an Calcium und Sulfat aus der Gipsauflösung aus dem Modellkörper ausgetragen. Dies sind für 100 Jahre ca. 82 g. Auf Seite 110 in Teil B steht, dass insgesamt 81,3 g Gips in den 100 Jahren entsprechend der COMSOL-Modellierung aufgelöst wurden. Bei diesen sehr geringen Gipsauflösungsraten (0,81 g/a) in Kombination mit der sehr geringen Kluftöffnungsweite reicht die numerische Genauigkeit des Stofftransportmodells nicht mehr aus, den Anteil des frei gewordenen Kristallwassers (0,16 g/a) genau zu berechnen. Dies beeinträchtigt aber nicht die generelle Aussagekraft des Modells im Hinblick auf die Durchströmungsrate, die Gipsauflösung und die Durchlässigkeitsvergrößerung. Das Volumen des in 100 Jahren gelösten Gipses beträgt 0,027 l. Im Laufe der 100 Jahre wird es sukzessive mit Wasser aus der Durchströmung gefüllt.

Teil B, Seite 77, zweiter Absatz: Am Ende dieses Absatzes wird beschrieben, dass der Effekt der Porositätsänderung auf die Durchlässigkeit in den Comsol-Modellierungen gemäß der Gleichung $k_f(t) = k_f \cdot (n_e(t)/n_e)^a$ berechnet wird. Diese Gleichung wird in dem Gutachten als Carman-Kozeny-Beziehung bezeichnet. Dies ist nicht ganz richtig. Bei der aufgeführten Formel handelt es sich um eine vereinfachte Form der Verma-Pruess-Gleichung, die auf die Carman-Kozeny-Beziehung zurückgeht. Die Vereinfachung der Verma-Pruess-Gleichung besteht darin, dass die sogenannte kritische Porosität, bei der die Durchlässigkeit zu Null wird, vernachlässigt wird, also mit Null angesetzt wird. Die verwendete Gleichung ist geeignet, um den Effekt der Porositätsänderung auf die Durchlässigkeit gut abzubilden. Im darunter folgenden dritten Absatz wird die Literatur /2/ adressiert. Dies ist falsch. Es muss die Literatur /1/ adressiert werden.

D. Korte

Alip