

# Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

## Verfahrensunterlage

**Titel:** Endlager Morsleben  
3D Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter  
Süßwasserverhältnissen  
Abschätzung der möglichen Lösungszutritte aus dem Deckgebirge in das  
Grubengebäude

**Autor:** Klemenz, W. & Siegel, P.

**Erscheinungsjahr:** 2001

**Unterlagen-Nr.:** P 121

**Revision:** 00

**Unterlagenteil:**



## ZUSAMMENFASSUNG

W. Klemenz und Dr. P. Siegel

Endlager Morsleben. 3D Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter Süßwasserverhältnissen. Abschätzung der möglichen Lösungszutritte aus dem Deckgebirge in das Grubengebäude

In den in diesem Bericht präsentierten numerischen Modellrechnungen mit dem 3D Süßwassermodell ERAM werden die potentiellen Zutritte von Wässern aus dem Hutgestein über eine Wegsamkeit DGL-Grubengebäude als Abflüsse aus dem Deckgebirge simuliert. Dabei erfolgt der Übertritt der Wässer vom Hutgestein in das Grubengebäude über einen Querschnitt von etwa 150 m<sup>2</sup>.

Bei den Berechnungen des potentiellen Wasserabflusses aus dem Deckgebirge wird angenommen, daß der Abfluß nur durch die hydraulischen Bedingungen im Hutgestein und am Salzspiegel begrenzt wird und daß in der Salzstruktur und im Grubengebäude kein Fließwiderstand besteht.

Eine mit der Abflußstelle verbundene Subrosionsrinne entlang des Kaliflözes, die mit der Schichtenfolge DGL am Salzspiegel in Kontakt steht, wirkt als Drainage und Kollektor; sie besitzt unter heutigen Verhältnissen einen deutlichen hydraulischen Widerstand (Rechenfälle R44\_00 bis \_07).

Da nach den Modellrechnungen R44\_00 bis 07 zu erwarten ist, daß nach einer Zeitdauer von 800 bis 2000 Jahren am Salzspiegel Süßwasser oder Wasser geringer Salinität abfließen wird, wird die Subrosion in der Rinnenverfüllung und entlang des Kaliflözes wieder einsetzen. Die langfristig erwarteten Verhältnisse sind in den Rechnungen R44\_08 bis \_15 simuliert worden.

Zusammenfassend können nachstehende Aussagen zu den zukünftig möglichen Lösungszutritten aus dem Deckgebirge in das Grubengebäude gemacht werden:

- Kurzfristig (bis 800 – 2000 Jahre) ist bei einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von  $5 \cdot 10^{-11}$  m/s, einer Durchlässigkeit der Schichtenfolge DGL von  $10^{-9}$  m/s sowie einer Subrosionsrinne mit einer Durchlässigkeit von  $10^{-8}$  m/s ein Zutritt von 85 m<sup>3</sup>/a möglich, praktisch unabhängig von der Länge der Subrosionsrinne. Bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $10^{-11}$  m/s ist mit einem Zutritt von 55 m<sup>3</sup>/a zu rechnen.
- Nach langen Zeiten – nach einer Erhöhung der Transmissivität der Subrosionsrinne durch zutretendes Süßwasser – ist für eine realistische Speisung der Subrosionsrinne entsprechend der typischen Ausdehnung der Anhydritblöcke von 200 m bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $5 \cdot 10^{-11}$  m/s ein Zutritt von 180 m<sup>3</sup>/a, bei  $10^{-11}$  m/s ein Zutritt von 90 m<sup>3</sup>/a zu erwarten.
- Bei einer ungünstig großen Speisung der Subrosionsrinne ist für die Zutrittsraten nach langen Zeiten mit Werten von 600 m<sup>3</sup>/a bzw. 260 m<sup>3</sup>/a zu rechnen.
- Höhere Werte setzen geologisch/hydrogeologische Veränderungen des Hutgesteins voraus, die nicht für die nächsten wenigen 10'000 Jahre zu unterstellen sind.

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Abflüsse beim heutigen Zustand</b> .....	<b>7</b>
2.1 Annahmen .....	7
2.2 Konzept zur Modellierung des Abflusses aus dem Deckgebirge .....	8
2.3 Ausführung im 3D Süßwassermodell .....	8
2.4 Abfluß bei der heutigen Ausbildung der Subrosionsrinne entlang des Kaliflözes .....	9
2.4.1 $k_f$ -Werte, Randbedingungen .....	9
2.4.2 Rechenfälle .....	9
2.4.3 Resultate .....	10
<b>3 Langzeitverhalten</b> .....	<b>11</b>
3.1 Überlegungen zum Langzeitverhalten .....	11
3.2 Rechenfälle .....	11
3.3 Resultate .....	12
<b>4 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen</b> .....	<b>13</b>
<b>5 Literatur</b> .....	<b>16</b>
<b>6 Tabellen</b> .....	<b>17</b>
<b>7 Abbildungen</b> .....	<b>19</b>
<b>Gesamtseitenzahl</b> .....	<b>32</b>

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1	Rechenfälle R44_00 bis _15. Parameter und berechneter Abfluß .....	18
-----------	--	----

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1	3D Süßwassermodell ERAM. Topographie der Oberfläche des Hutgesteins mit Ausbißlinie DGL und Position der Aller .....	20
Abbildung 2	3D Süßwassermodell ERAM. Position der Aller, Ausbißlinie DGL an der Oberfläche des Hutgesteins und K-Klassen der Einheiten, die die Ausbißlinie DGL überlagern.....	21
Abbildung 3	Abflußberechnungen: Schematische Darstellung .....	22
Abbildung 4	Modellierung der Abflußstelle mit $h=z$ und Subrosionsrinne (1D-Elemente).....	23
Abbildung 5	Rechenfälle R44_00 bis R44_03. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht) .....	24
Abbildung 6	Rechenfälle R44_04 und R44_05. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht) .....	25
Abbildung 7	Rechenfall R44_06. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht).....	26
Abbildung 8	Rechenfall R44_07. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht).....	27
Abbildung 9	Rechenfall R44_08. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht).....	28
Abbildung 10	Rechenfall R44_09. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht).....	29
Abbildung 11	Rechenfall R44_10. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht).....	30
Abbildung 12	Rechenfälle R44_11 und R44_12. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht) .....	31
Abbildung 13	Rechenfall R44_15. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht).....	32

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

1D, 2D, 3D	eindimensional, zweidimensional, dreidimensional
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
DGL	Schichtenfolge Deckanhydrit - Grauer Salzton – Leinekarbonat im Hutgestein
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
FSCGM	Finite-Elemente Computer-Programm „Free Surface Colenco Groundwater Model“ zur instationären Berechnung der Grundwasserströmung mit freier Oberfläche
h	Geländehöhe, mNN
$k_f$	Durchlässigkeitsbeiwert, m/s
K-Klasse	Materialindex im Programm FSCGM zur Zonierung der hydraulischen Leitfähigkeit
NN	Normal Null (Pegel Amsterdam)
q	Durchflußrate, $m^3/s$
T	Transmissivität, $m^2/s$

## 1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der Existenz der in das Hutgestein eingebetteten, gegenüber dem umgebenden Hutgestein höher durchlässigen Schichtenfolge Deckanhydrit – Grauer Salzton – Leinekarbonat (DGL) und der Möglichkeit von Wegsamkeiten ab dem Salzspiegel zum Grubengebäude sollen Rechnungen zur Abklärung der aus der Schichtenfolge DGL des Deckgebirges über eine Wegsamkeit Salzspiegel – Grubengebäude möglichen Wasserzutritte in das Grubengebäude (Abfluß aus dem Deckgebirge) durchgeführt werden.

Die Rechnungen werden mit dem 3D Süßwassermodell ERAM mit der  $k_f$ -Verteilung und den Randbedingungen des Rechenfalls R44 [3], jedoch mit einer Abflußstelle an der Basis der Schichtenfolge DGL am Salzspiegel ausgeführt. Für die stationären Rechnungen mit freier Oberfläche wird das Programm FSCGM verwendet. Als Randbedingung an der Abflußstelle wird zeitlich konstant Atmosphärendruck angenommen, wodurch die Abflußrate diesbezüglich überschätzt wird.

Als Abflußstelle aus der Schichtenfolge DGL am Salzspiegel wird eine mit einer Wegsamkeit Salzspiegel-Grubengebäude verbundene Fläche von etwa 100 m<sup>2</sup> (5m x 20m) unterstellt. Diese Wegsamkeit soll eine entlang des Kaliflözes ausgebildete Subrosionsrinne, die über ihre gesamte Länge mit der Schichtenfolge DGL hydraulisch verbunden ist, drainieren.

Die Schichtenfolge DGL ist, gebunden an den Hauptanhydrit im Hutgestein, zerblockt und weist typischerweise eine Ausdehnung im Streichen und Fallen von je ca. 200 m auf. Die Subrosionsrinne erstreckt sich kontinuierlich mit dem Ausbiss des Kaliflözes entlang des Salzspiegels, unabhängig von der Zerblockung des Hauptanhydrits im Salinar. Für die Ermittlung der möglichen Zutrittsrate aus dem Hutgestein wird deshalb einerseits die Drainage eines DGL-Abschnittes mit der Ausdehnung einer Anhydritscholle (typische Ausdehnung 200 m) und andererseits, verbunden über die Subrosionsrinne, auch die Drainage mehrerer DGL-Abschnitte unterstellt.

Für den Fließweg entlang der verfüllten Subrosionsrinne im selektiv subrodierten Kaliflöz im Streichen der Westflanke der Hauptmulde wird ein hydraulischer Widerstand angenommen. Sowohl aus der Analyse der Dynamik der Zuflüsse zum Lager H in [1] als auch aus der Analyse der Bedingungen am rezenten Salzspiegel in [2] ergibt sich die Vorstellung von geringen Durchlässigkeiten auf diesem Fließweg (z.B. infolge Gipsverheilung im Anschluß an die elsterzeitliche Phase aktiver Subrosion). Dem Subrosionsmaterial ist in der heutigen Ausbildung ein hydraulischer Widerstand von  $k_f = \text{ca. } 10^{-9} \text{ m/s}$ , maximal  $10^{-8} \text{ m/s}$ , zuzuweisen.

## 2 Abflüsse beim heutigen Zustand

### 2.1 Annahmen

Die Modellrechnungen zur Abschätzung der möglichen Lösungszutritte aus dem Deckgebirge in das Grubengebäude (Abflüsse aus dem 3D Süßwassermodell) gehen von folgenden Annahmen aus:

- Existenz einer Wegsamkeit vom Grubengebäude bis zur Verschneidung der Schichtenfolge DGL mit dem Salzspiegel. Diese Wegsamkeit weise eine relativ große Durchlässigkeit auf, so daß am Salzspiegel als Randbedingung vereinfachend und konservativ atmosphärischer Druck angesetzt wird.
- Diese Wegsamkeit in der Salzstruktur drainiere widerstandsfrei eine Fläche von mehreren Zehnern von  $\text{m}^2$  am Kontakt zwischen DGL und Salzspiegel.
- Diese Wegsamkeit steht in der Streichrichtung der Schichtenfolge DGL gegen SE und NW mit einer entlang der Kontaktfläche Kaliflöz/Salzspiegel ausgebildeten verfüllten (Subrosionsbrekzie) Subrosionsrinne in Verbindung.
- Für die verfüllte Subrosionsrinne im Kaliflöz wird ein Querschnitt von  $4 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 24 \text{ m}^2$  und eine Durchlässigkeit von  $10^{-9} \text{ m/s}$  bis  $10^{-8} \text{ m/s}$  angenommen. Die Subrosionsrinne weist damit eine Transmissivität von  $2,4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $2,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  auf.
- Es wird angenommen, daß die Ausdehnung der Subrosionsrinne nach SE und NW im Normalfall je 100 m und in extremen Fällen bis je 400 m betragen kann und daß sie über die gesamte Länge mit der Schichtenfolge DGL in Kontakt steht und diese drainiert.

In den Abflußberechnungen sollen die Länge und die Durchlässigkeit der Subrosionsrinne variiert werden. Auch der Einfluß der Durchlässigkeit der Schichtenfolge DGL und des Hutgesteins soll untersucht werden.

Testrechnungen haben gezeigt, daß die Position der Abflußstelle einen moderaten Einfluß auf die Abflüsse hat (ca. 20%). Trotzdem soll die Abflußstelle in einen DGL-Abschnitt gelegt werden, in der der Ausbiß der Schichtenfolge DGL an der Oberfläche des Hutgesteins von relativ gutdurchlässigen Gesteinen überlagert wird. Abbildung 1 zeigt die Topographie der Hutgesteinsoberfläche, den Verlauf der Aller sowie die Spur der Verschneidung DGL/Hutgesteinsoberfläche, während in Abbildung 2 die hydrostratigraphischen Einheiten/K-Klassen sowie die kalibrierten Durchlässigkeiten (Rechenfall R44 [3]) der diese Ausbißfläche überlagernden Schichten darstellt.

Neben den Durchlässigkeiten der den Ausbiß DGL/Hutgesteinsoberfläche überlagernden hydrostratigraphischen Einheiten ist auch die Mächtigkeit des Hutgesteins von einiger Bedeutung: Je geringmächtiger das Hutgestein, desto direkter erfolgt ein Wasserzufluß aus den Deckschichten. Diese beiden Argumente kombinierend ist für eine konservative Ermittlung der möglichen Wasserzutritte in das Grubengebäude eine Abflußstelle aus dem Deckgebirge zu wählen, die eine gut durchlässige Überdeckung der Schichtenfolge DGL sowie eine geringe Hutgesteinsmächtigkeit aufweist. Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, ist dies für das Gebiet um Schnitt 4, in der

die Längserstreckung der etwas höher durchlässigen überlagernden Einheiten größer und die Hutgesteinsmächtigkeit etwas geringer sind in ausgeprägterem Maße der Fall als in der Zone bei Schnitt 6.

Die Verlegung der Abflußstelle in eine bezüglich der Abflußbedingungen aus dem Deckgebirge ungünstige Zone soll damit Aussagen über die Obergrenze der möglichen Wasserzutritte in das Grubengebäude erlauben. Wo auch immer die tatsächliche Zutrittsstelle liegen wird, sind die dort bei einer gegebenen Länge und Transmissivität der Subrosionsrinne am Kaliflöz zu erwartenden Zutrittsraten geringer oder höchstens gleich jenen der modellierten Abflußstelle.

## 2.2 Konzept zur Modellierung des Abflusses aus dem Deckgebirge

Die Modellierung der Abflußfläche – der offenen Kontaktfläche zwischen der Wegsamkeit in der Salzstruktur und dem Kontakt zur Schichtenfolge DGL am Salzspiegel – soll in einem Knoten mit einem Einzugsbereich am Salzspiegel von rund 100 m<sup>2</sup> erfolgen. Diesem Knoten, in

Abbildung 3 mit Kn0 bezeichnet, wird eine Druckrandbedingung von  $h=z$  (atmosphärischer Druck) zugewiesen. Es wird also vorausgesetzt, daß der Fließwiderstand entlang einer Wegsamkeit in der Salzstruktur den Fließwiderstand der Schichtenfolge DGL deutlich übersteigt.

Die Modellierung der Subrosionsrinne entlang des Kaliflözes, die mit der Schichtenfolge DGL in Kontakt steht, erfolgt mit 1D Elementen entlang des Kontaktes der 2D Elemente DGL mit dem Modellboden. Als Ausdehnung dieses 1D Stranges entlang der Schichtenfolge DGL sind nach NW und SE je 400 m vorgesehen. Die 1D Elemente werden abschnittsweise (Abschnitte 2 x 100 m, 1 x 200 m) mit unterschiedlichen K-Klassen versehen, so daß auch Abflüsse mit geringeren Längen der Subrosionsrinne simuliert werden können (

Abbildung 3). Mit Ausnahme des Knotens der Abflußstelle Kn0 ( $h=z$ ) sind sämtliche Knoten entlang des 1D-Elementstrangs gegen die Salzstruktur geschlossen ( $q=0$ ).

## 2.3 Ausführung im 3D Süßwassermodell

Die Übertragung dieses Konzeptes auf das 3D Süßwassermodell ist vereinfacht in Abbildung 4 dargestellt. Diese Abbildung zeigt eine Vertikalaufsicht auf die nach Westen einfallende Schichtenfolge DGL. Die Begrenzungslinie auf der NE-Seite stellt den Ausbiß an der Hutgesteinsoberfläche, d.h. den Kontakt mit dem Deckgebirge dar. Die Einheiten, die die Schichtenfolge DGL an der Oberfläche des Hutgesteins überlagern, sind in Farbe gekennzeichnet. Als Abflußstelle am Salzspiegel (Knoten kn0 in

Abbildung 3) wurde der Knoten 197'593 ausgewählt. Die Distanz zu den nächsten Nachbarknoten beträgt je 15 m, damit weist die Abflußstelle in den Rechnungen eine Fläche von 150 m<sup>2</sup> auf.

Entlang der Verschneidungslinie DGL/Salzspiegel wurde nach SE und nach NW ein Strang von 1D Elementen in das Modell eingefügt und mit folgenden K-Klassen versehen:

Nach S		nach N	
Distanz ab Kn0	K-Klasse	Distanz ab Kn0	K-Klasse
0 – 104 m	803	0 – 90 m	804
104 – 206 m	802	90 – 180 m	805
206 – 400 m	801	180 – 396 m	806

Dieser 1D Strang repräsentiert die Subrosionsrinne am Kaliflöz und wird mit einem T-Wert ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) versehen.

## 2.4 Abfluß bei der heutigen Ausbildung der Subrosionsrinne entlang des Kaliflözes

### 2.4.1 $k_f$ -Werte, Randbedingungen

Die Rechnungen werden für Süßwasser, stationär, mit freier Oberfläche und mit den  $k_f$ -Werten des Süßwasserrechenfalls R44 ([3], Tabellen 4 bis 6) durchgeführt.

An der Modelloberfläche erfolgt die Vorgabe einer Grundwasserneubildung ([3], Abbildung 31). Die seitlichen Modellränder und ebenfalls die Modellbasis sind - mit Ausnahme der Abflußstelle (Knoten Kn0, Nr. 197'593 mit  $h=z$ ) - geschlossen.

### 2.4.2 Rechenfälle

Für die Simulation der potentiellen Abflüsse mit der heutigen Ausbildung des Abflußsystems werden die Rechenfälle R44\_00 bis \_07 ausgeführt. Die Parameter für diese Rechenfälle sind in Tabelle 1 enthalten.

Die Rechenfälle R44\_00 bis \_07 werden mit einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von  $5 \cdot 10^{-11}$  m/s gerechnet. Die Schichtenfolge DGL weist in den Rechenfällen R44\_00 bis \_05 eine Durchlässigkeit von  $10^{-9}$  m/s bzw. einen T-Wert von  $5 \cdot 10^{-9}$   $\text{m}^2/\text{s}$  auf; in den Rechenfällen R44\_06 und \_07 ist die Durchlässigkeit DGL um eine Größenordnung geringer ( $5 \cdot 10^{-10}$  m/s bzw.  $5 \cdot 10^{-10}$   $\text{m}^2/\text{s}$ ).

Im Rechenfall R44\_00 wird keine Subrosionsrinne simuliert; am Abflußknoten 195'793 wird einzig eine Dirichlet-Randbedingung  $h=z$  (-140 mNN) angesetzt.

Der Subrosionsrinne (angenommener Querschnitt  $24 \text{ m}^2$ ) wird in den Rechenfällen R44\_01 bis \_03 eine Durchlässigkeit von  $10^{-9}$  m/s ( $T = 2,4 \cdot 10^{-8}$   $\text{m}^3/\text{s}$ ) zugewiesen. Die Länge der Subrosionsrinne wird von R44\_01 ( $2 \times 100 \text{ m} = 200 \text{ m}$ ) auf 400 m in R44\_02 und 800 m in R44\_03 erhöht.

In den Rechenfällen R44\_04 und \_05 wird die Durchlässigkeit der Subrosionsrinne auf  $10^{-8}$  m/s ( $T = 2,4 \cdot 10^{-7}$   $\text{m}^3/\text{s}$ ) vergrößert und ihre Länge variiert (200 m bzw. 800 m).

In R44\_06 und \_07 schließlich wird bei einer 200 m langen Subrosionsrinne mit  $k_f$   $10^{-9}$  bzw.  $10^{-8}$  m/s die Durchlässigkeit der Schichtenfolge DGL um eine Größenordnung auf  $10^{-10}$  m/s ( $T = 5 \cdot 10^{-10}$   $\text{m}^2/\text{s}$ ) verringert.

### 2.4.3 Resultate

Wesentliches Resultat der Abflußberechnungen R44\_00 bis \_07 ist der berechnete Abfluß aus dem Deckgebirge. Die berechneten Abflüsse sind zusammen mit den Parametern in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Rechnungen werden zusätzlich mit einer Darstellung des Absenkungstrichters in der Schichtenfolge DGL – dargestellt in einer Vertikalaufsicht, wie in Abbildung 4 – dokumentiert (vgl. Abbildung 5 bis Abbildung 8).

Im Rechenfall R44\_00 ohne Subrosionsrinne, in dem ein Abfluß aus einer Fläche am Salzspiegel mit einer 30 m langen Verschneidungslänge mit der Schichtenfolge DGL simuliert wird, wird ein Abfluß von  $33,7 \text{ m}^3/\text{a}$  berechnet.

Bei Anwesenheit einer 200 m, 400 m bzw. 800 m langen Subrosionsrinne entlang des Kaliflözes mit einem T-Wert von  $2,4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  ergeben sich in den Rechenfällen R44\_01, \_02 bzw. \_03 Abflüsse von  $43,8 \text{ m}^3/\text{a}$ . Bei einem geringen Kontrast des T-Wertes Subrosionsrinne/DGL spielt also die Ausdehnung der Subrosionsrinne für den Abfluß eine vernachlässigbare Rolle.

Wird die Durchlässigkeit der Subrosionsrinne um eine Größenordnung vergrößert, d.h. der Kontrast zwischen den Transmissivitäten der Subrosionsrinne (Länge 200 m) und der Schichtenfolge DGL erhöht, so verdoppelt sich der berechnete Abfluß annähernd auf  $82,6 \text{ m}^3/\text{a}$  (R44\_04). Eine Verlängerung der Subrosionsrinne von 200 m auf 800 m hat wiederum nur einen geringen weiteren Anstieg des Abflusses auf  $84,4 \text{ m}^3/\text{a}$  zur Folge (Rechenfall R44\_05).

In den Rechenfällen R44\_06 und \_07 (Länge Subrosionsrinne 200 m,  $k_f = 10^{-9} \text{ m/s}$  bzw.  $10^{-8} \text{ m/s}$ ) nimmt bei einer Verringerung der Durchlässigkeit der Schichtenfolge DGL auf  $10^{-10} \text{ m/s}$  der Abfluß gegenüber den Rechnungen R44\_01 und \_04 auf jeweils ungefähr die Hälfte ab.

### **3 Langzeitverhalten**

#### **3.1 Überlegungen zum Langzeitverhalten**

Das Grundwasser des Hutgesteins weist einen mit der Tiefe zunehmenden Salzgehalt auf; in der Nähe des Salzspiegels ist das Grundwasser salzgesättigt. Für die Schichtenfolge DGL liegt eine repräsentative Bestimmung der Sättigung vor (DpMors65), die rund 30 m oberhalb des Salzspiegels eine Dichte von ca. 1,087 g/cm<sup>3</sup> ausweist [5]. Geht man von dieser Bohrung aus, kann die Mächtigkeit des gesättigten Salzwassers in der Schichtenfolge DGL nicht mehr als 20 m bis 30 m betragen.

Beim Übertritt von Wasser aus dem Deckgebirge in die Salzstruktur bzw. das Grubengebäude wird das abfließende Wasser im Deckgebirge von oben zunehmend durch Süßwasser ersetzt. Die Salinität des abfließenden Wassers, gesättigt zu Beginn, wird mit der Zeit abnehmen. Bei der Aussüßung des entlang der Subrosionsrinne abfließenden Wassers wird die Verfüllung der Subrosionsrinne verändert und erneut die Subrosion entlang des Kaliflözes einsetzen, verbunden mit einer sukzessiven Vergrößerung der Rinnen-Transmissivität. Es wird angenommen, daß dabei die Wegsamkeit Salzspiegel-Grubengebäude sich wohl ausweiten, ihre Position jedoch nicht verlagern wird.

Die subrosive Erhöhung der Subrosionsrinnen-Transmissivität wird von der Abflußstelle aus rückwärts erfolgen, da zu erwarten ist, daß das abfließende Wasser mit einer Herkunft aus dem Gebiet oberhalb der Abflußstelle schneller aussüßt als das in größerer Distanz zur Abflußstelle in die Subrosionsrinne übertretende Wasser. Die Durchlässigkeit der Subrosionsrinne wird sich, ausgehend von der Abflußstelle, sukzessive erhöhen. Allerdings muß nicht angenommen werden, daß sich die Erhöhung der Subrosionsrinnen-Transmissivität über die Ausdehnung des drainierten DGL-Abschnittes ausdehnt. Neben einer Ausdehnung im Referenzfall auf 200 m wird als Extremfall eine solche auf 800 m unterstellt.

Das abfließende Salzwasser wird von oben her durch nachfließendes Süßwasser ersetzt. Die Dauer bis zum Zeitpunkt, ab dem am Salzspiegel Wasser geringen Salzgehaltes oder Süßwasser abfließen wird, wird unter Annahme von anfänglich salzgesättigtem Wasser in der Schichtenfolge DGL bis 20-30 m über dem Salzspiegel auf lediglich einige hundert Jahre geschätzt.

#### **3.2 Rechenfälle**

Als Folge der langzeitlichen Entwicklung ist also eine markante Erhöhung der Durchlässigkeit und Transmissivität der Subrosionsrinne, jedoch kaum deren Verlängerung zu erwarten. Die potentiellen Abflüsse nach Erhöhung der Transmissivität der Subrosionsrinne werden mit den Rechnungen R44\_08 bis \_15 untersucht:

- In R44\_08 bis \_10 die Durchlässigkeit und Transmissivität der Subrosionsrinne schrittweise erhöht.

- In den Rechenfällen R44\_11 und 12 wird für die maximale Länge der Subrosionsrinne (800 m) eine sehr hohe Transmissivität angenommen ( $10^{-3}$  bzw. 1 m/s,  $T = 2,4 \cdot 10^{-2}$  bzw.  $24 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- In den Rechenfällen R44\_12 bis \_14 wird bei einer sehr hohen Transmissivität der Subrosionsrinne (1 m/s,  $T = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ ) der Einfluß ihrer Länge auf den Abfluß untersucht.
- In R44\_15 soll schließlich, ebenfalls für eine Länge der Subrosionsrinne von 800 m und eine hohe Transmissivität der Subrosionsrinne – die Auswirkung einer realistischeren, gegenüber den bisherigen Rechenfällen verringerten Durchlässigkeit des Hutgesteins ( $10^{-11}$  m/s) getestet werden.
- In allen Rechenfällen hat die Schichtenfolge DGL eine Durchlässigkeit von  $10^{-9}$  m/s.

Die Parameter für diese Rechenfälle sind in Tabelle 1 enthalten.

### 3.3 Resultate

Die für die Rechenfälle R44\_08 bis \_15 berechneten Abflüsse sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die um die Abflußstelle in der Schichtenfolge DGL sich ausbildenden Absenkungstrichter sind in Abbildung 9 bis Abbildung 13 dargestellt.

Bei einer stufenweisen Zunahme der Durchlässigkeit einer 800 m langen Subrosionsrinne nehmen in R44\_08 bis \_10 die Abflüsse von  $168,3 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $272,1 \text{ m}^3/\text{a}$  und  $409,9 \text{ m}^3/\text{a}$  zu. Der Abfluß erhöht sich bei sehr hohen Durchlässigkeiten ( $10^{-3}$  bzw. 1 m/s) in R44\_11 und \_12 weiter auf  $544,8 \text{ m}^3/\text{a}$  und  $592,8 \text{ m}^3/\text{a}$ . Wird bei der letztgenannten Durchlässigkeit die Länge der Subrosionsrinne auf 400 m bzw. 200 m verringert, so geht der Abfluß um 51% auf  $288,1 \text{ m}^3/\text{a}$  bzw. um 70% auf  $179,7 \text{ m}^3/\text{a}$  zurück.

Wird der hohe  $k_f$ -Wert der Subrosionsrinne (800 m) von 1 m/s beibehalten und die Durchlässigkeit des Hutgesteins auf  $10^{-11}$  m/s verringert, so geht der Wasserabfluß in R44\_15 gegenüber R44\_12 um 57% auf  $254,6 \text{ m}^3/\text{a}$  zurück.

## 4 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In den in diesem Bericht präsentierten numerischen Modellrechnungen mit dem 3D Süßwassermodell ERAM werden die potentiellen Zutritte von Wässern aus dem Hutgestein in die Salzstruktur über eine Wegsamkeit DGL-Grubengebäude als Abflüsse aus dem Deckgebirge simuliert.

Dabei erfolgt der Übertritt der Wässer vom Hutgestein in das Grubengebäude über einen Querschnitt von etwa  $150 \text{ m}^2$  (dies entspricht einer Ausdehnung entlang der DGL von 30 m; die Größe dieser Fläche ist numerisch – durch die Diskretisierung des Modellnetzes - bedingt).

Bei den Berechnungen des potentiellen Wasserabflusses aus dem Deckgebirge wird angenommen, daß der Abfluß nur durch die hydraulischen Bedingungen im Hutgestein und am Salzspiegel begrenzt wird, daß jedoch im Salzgebirge und Grubengebäude kein Fließwiderstand besteht.

Eine mit der Abflußstelle verbundene Subrosionsrinne entlang des Kaliflözes, die mit der Schichtenfolge DGL am Salzspiegel in Kontakt steht, wirkt als Drainage und Kollektor; sie besitzt unter heutigen Verhältnissen einen deutlichen hydraulischen Widerstand (R44\_00 bis \_07).

Da nach den Modellrechnungen R44\_00 bis 07 zu erwarten ist, daß nach einer Zeitdauer von 800 bis 2000 Jahren am Salzspiegel Süßwasser oder Wasser geringer Salinität abfließen wird, wird die Subrosion in der Rinnenverfüllung und entlang des Kaliflözes wieder einsetzen. Die langfristig erwarteten Verhältnisse sind in den Rechnungen R44\_08 bis \_15 simuliert worden.

In den durchgeführten 16 Rechenfällen werden die in nachstehender Tabelle zusammengestellten Abflüsse aus dem Deckgebirge berechnet.

Rechenfall	DGL/Hutgestein	Subrosionsrinne im Kaliflöz, 24 m <sup>2</sup>			
	k <sub>f</sub> [m/s]	k <sub>f</sub> [m/s]	Länge Subrosionsrinne	Abfluß [m <sup>3</sup> /a]	
R44_00	DGL 10 <sup>-9</sup> Hutgestein 5·10 <sup>-11</sup>	--	ohne Subrosionsrinne	33,7	
R44_01 bis R44_03		10 <sup>-9</sup>	200 m, 400 m, 800 m	43,8	
R44_04		10 <sup>-8</sup>	200 m	82,6	
R44_05			800 m	84,4	
R44_06		DGL 10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	200 m	21,0
R44_07	Hutgestein 5·10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-8</sup>	50,6		
R44_08 bis R44_10	DGL 10 <sup>-9</sup> Hutgestein 5·10 <sup>-11</sup>	Progressive Zunahme k <sub>f</sub>	800 m	168 bis 410	
R44_11		10 <sup>-3</sup>		545	
R44_12		1		593	
R44_13				400 m	288
R44_14				200 m	180
R44_15				DGL 10 <sup>-9</sup> Hutgestein 10 <sup>-11</sup>	800 m
Bemerkung	- Mächtigkeit DGL = 5 m - Querschnitt Subrosionsrinne = 24 m <sup>2</sup> - Potential am Austritt = -140 mNN				

Diese Abflüsse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der berechnete mögliche Abfluß unter heutigen Verhältnissen beträgt bei einer Durchlässigkeit der Schichtenfolge DGL von 10<sup>-9</sup> m/s und des Hutgesteins von 5·10<sup>-11</sup> m/s je nach Parameterbelegung für die Länge und Transmissivität der Subrosionsrinne 40 bis 85 m<sup>3</sup>/a (R44\_00 bis \_07).
- Nach mehreren hundert bis wenigen tausend Jahren ist mit dem Abfluß von Süßwasser zu rechnen. Dadurch ist eine progressive Erhöhung der Durchlässigkeit der Subrosionsrinne durch Auflösung der Subrosionsrinnenverfüllung und des angrenzenden Salzes zu erwarten (R44\_08 bis \_15).

Je nach Ansatz für die Länge der Subrosionsrinne (200 bis 800 m) ergeben sich dabei bei einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von 5·10<sup>-11</sup> m/s und der Schichtenfolge DGL von 10<sup>-9</sup> m/s langfristig Abflüsse von ca. 180 m<sup>3</sup>/a bis ca. 600 m<sup>3</sup>/a.

- Bei einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von 10<sup>-11</sup> m/s und einer hohen Durchlässigkeit entlang der Subrosionsrinne (800 m) verringert sich der Abfluß auf weniger als die Hälfte (255 m<sup>3</sup>/a).
- Ebenfalls hat eine Verringerung der Durchlässigkeit der Schichtenfolge DGL von 10<sup>-9</sup> m/s auf 10<sup>-10</sup> m/s ungefähr eine Halbierung des Abflusses zur Folge.
- Bei einer Verlängerung der Subrosionsrinne von 200 m auf 800 m erfolgt eine Zunahme des Abflusses ungefähr proportional der Verlängerung der Rinne.

Zusammenfassend können nachstehende Aussagen zu den zukünftig möglichen Wasserabflüssen gemacht werden:

- Kurzfristig (bis 800 – 2000 Jahre) ist bei einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von  $5 \cdot 10^{-11}$  m/s, einer Durchlässigkeit der Schichtenfolge DGL von  $10^{-9}$  m/s sowie einer Subrosionsrinne mit einer Durchlässigkeit von  $10^{-8}$  m/s ein Abfluß von  $85 \text{ m}^3/\text{a}$  möglich, praktisch unabhängig von der Länge der Subrosionsrinne. Bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $10^{-11}$  m/s ist mit einem Abfluß von  $55 \text{ m}^3/\text{a}$  zu rechnen.
- Nach langen Zeiten – nach einer Erhöhung der Transmissivität der Subrosionsrinne durch zutretendes Süßwasser – ist für eine realistische Speisung der Subrosionsrinne entsprechend der typischen Ausdehnung der Anhydritblöcke von 200 m bei einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von  $5 \cdot 10^{-11}$  m/s ein Abfluß von  $180 \text{ m}^3/\text{a}$ , bei  $10^{-11}$  m/s ein Abfluß von  $90 \text{ m}^3/\text{a}$  zu erwarten.
- Bei einer ungünstig großen Speisung der Subrosionsrinne ist nach langen Zeiten mit Abflüssen von  $600 \text{ m}^3/\text{a}$  bzw.  $260 \text{ m}^3/\text{a}$  zu rechnen.<sup>1</sup>
- Höhere Werte setzen geologisch/hydrogeologische Veränderungen des Hutgesteins voraus, die nicht für die nächsten wenigen 10'000 Jahre zu unterstellen sind [4].

	$k_f$ Hutgestein	
	$5 \cdot 10^{-11}$ m/s	$10^{-11}$ m/s
Heutige Verhältnisse (Dauer 800 – 2000 Jahre)	$85 \text{ m}^3/\text{a}$	$55 \text{ m}^3/\text{a}$
Nach langen Zeiten (realistische Speisung der Subrosionsrinne von 200 m)	$180 \text{ m}^3/\text{a}$	$90 \text{ m}^3/\text{a}$
Nach langen Zeiten (ungünstig große Speisung der Subrosionsrinne von 800 m)	$600 \text{ m}^3/\text{a}$	$260 \text{ m}^3/\text{a}$

<sup>1</sup> Bei einer Hochrechnung für eine durchgehende Länge der DGL von 4 km (entsprechend der maximalen Ausdehnung aller hintereinander liegenden DGL-Schollen) ergibt sich ein Abfluß von ca.  $3'000 \text{ m}^3/\text{a}$ .

## 5 Literatur

- [1] Käbel, H. (1997): Projekt ERA Morsleben. Geologische Gesamtbewertung der Lösungszutritte in den Gruben Bartensleben und Marie.- Archiv-Nr. 116 678, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- [2] Balzer, D: (1998) Projekt Morsleben. Geologische Bearbeitung des Hutgesteins, Abschlußbericht. – Archiv-Nr. 116 662, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- [3] Klemenz, W., Klubertanz, G., Oswald, S. und Siegel, P. (2001): Endlager Morsleben. 3D Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter Süßwasserverhältnissen. Modellaufbau, Modellkalibrierung R42, Rechenfall R43 und Referenzfall R44. – CPE-Bericht 4305/33, Colenco Power Engineering AG; Baden/Schweiz
- [4] Käbel, H. (2002): ERA Morsleben. Geowissenschaftliche Bewertung der Langzeitentwicklung sowie Zufluss- und Austrittsszenarien nach Verfüllung des Endlagers. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- [5] Langkutsch, U., Käbel, H., Margane, A. & Schwamm, G. (1998): Projekt ERA Morsleben. Hydrogeologische Standortbeschreibung und Modellgrundlagen (Entwurf). – Archiv-Nr. 116 906, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

## 6 Tabellen

ERA  
ERA  
Morsleben  
Morsleben

Abflußberechnungen													
Rechenfall	Hutgestein	DGL		Subrosionsrinne am Kaliflöz, 24 m <sup>2</sup>									
		k <sub>f</sub> , m/s	k <sub>f</sub> , m/s	T, m <sup>2</sup> /s	k <sub>f</sub> , m/s	T-Wert, m <sup>3</sup> /s			Abflußstelle (Kn.197'593)	T-Wert, m <sup>3</sup> /s			
						801	802	803		804	805	806	
						-400m	-200m	-100m	Abfluß, m <sup>3</sup> /a	+100m	+200m	+400m	
R44_00 (1)	5·10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-9</sup>	5·10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup>	ohne Subrosionsrinne			33,7	ohne Subrosionsrinne				
R44_01					0	2,4·10 <sup>-8</sup>	43,78	2,4·10 <sup>-8</sup>	0				
R44_02					0	2,4·10 <sup>-8</sup>	43,80	2,4·10 <sup>-8</sup>	0				
R44_03					2,4·10 <sup>-8</sup>			43,81	2,4·10 <sup>-8</sup>				
R44_04					0	2,4·10 <sup>-7</sup>	82,6	2,4·10 <sup>-7</sup>	0				
R44_05					2,4·10 <sup>-7</sup>			84,4	2,4·10 <sup>-7</sup>				
R44_06				10 <sup>-10</sup>	5·10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	0	2,4·10 <sup>-8</sup>	21,0	2,4·10 <sup>-8</sup>	0		
R44_07							10 <sup>-8</sup>	0	2,4·10 <sup>-7</sup>	50,7	2,4·10 <sup>-7</sup>	0	
R44_08				10 <sup>-9</sup>	5·10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup> , 10 <sup>-7</sup>	2,4·10 <sup>-7</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>	168,3	2,4·10 <sup>-6</sup>	2,4·10 <sup>-7</sup>		
R44_09						10 <sup>-8</sup> , 10 <sup>-7</sup> , 10 <sup>-6</sup>	2,4·10 <sup>-7</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>	2,4·10 <sup>-5</sup>	272,1	2,4·10 <sup>-5</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>	2,4·10 <sup>-7</sup>
R44_10						10 <sup>-7</sup> , 10 <sup>-6</sup> , 10 <sup>-5</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>	2,4·10 <sup>-5</sup>	2,4·10 <sup>-4</sup>	409,9	2,4·10 <sup>-4</sup>	2,4·10 <sup>-5</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>
R44_11						10 <sup>-3</sup>	2,4·10 <sup>-2</sup>			544,8	2,4·10 <sup>-2</sup>		
R44_12						24			592,8	24			
R44_13				1	0	24		288,1	24		0		
R44_14					0	24		179,7	24	0			
R44_15	24				254,6	24							

(1) ohne 1D Strang, lediglich Knoten mit h=z. Länge DGL 30 m, Abflußfläche DGL ca. 150 m<sup>2</sup>

Tabelle 1 Rechenfälle R44\_00 bis \_15. Parameter und berechneter Abfluß

## 7 **Abbildungen**

ERA  
ERA  
Morsleben

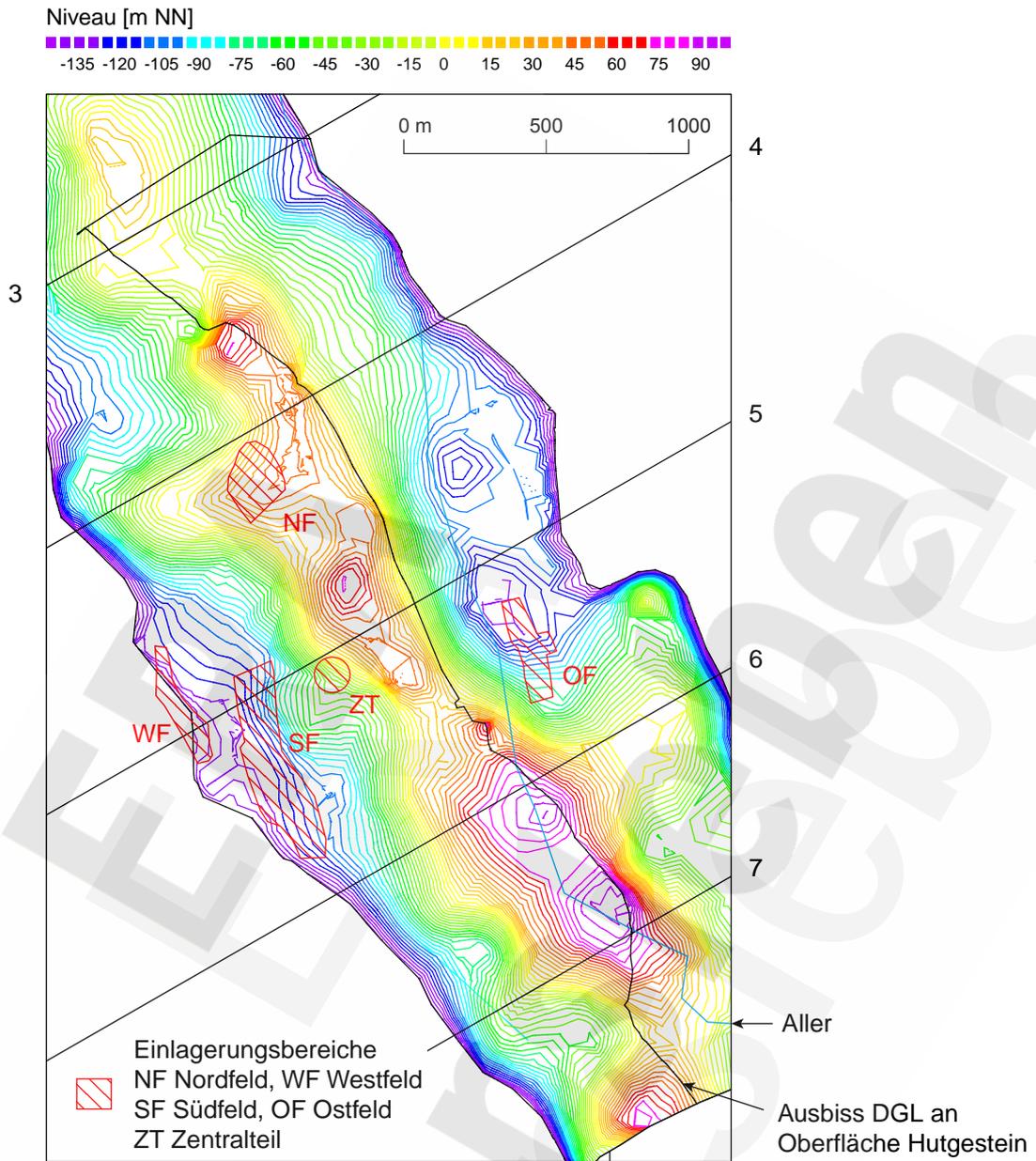


Abbildung 1 3D Süßwassermodell ERAM. Topographie der Oberfläche des Hutgesteins mit Ausbißlinie DGL und Position der Aller

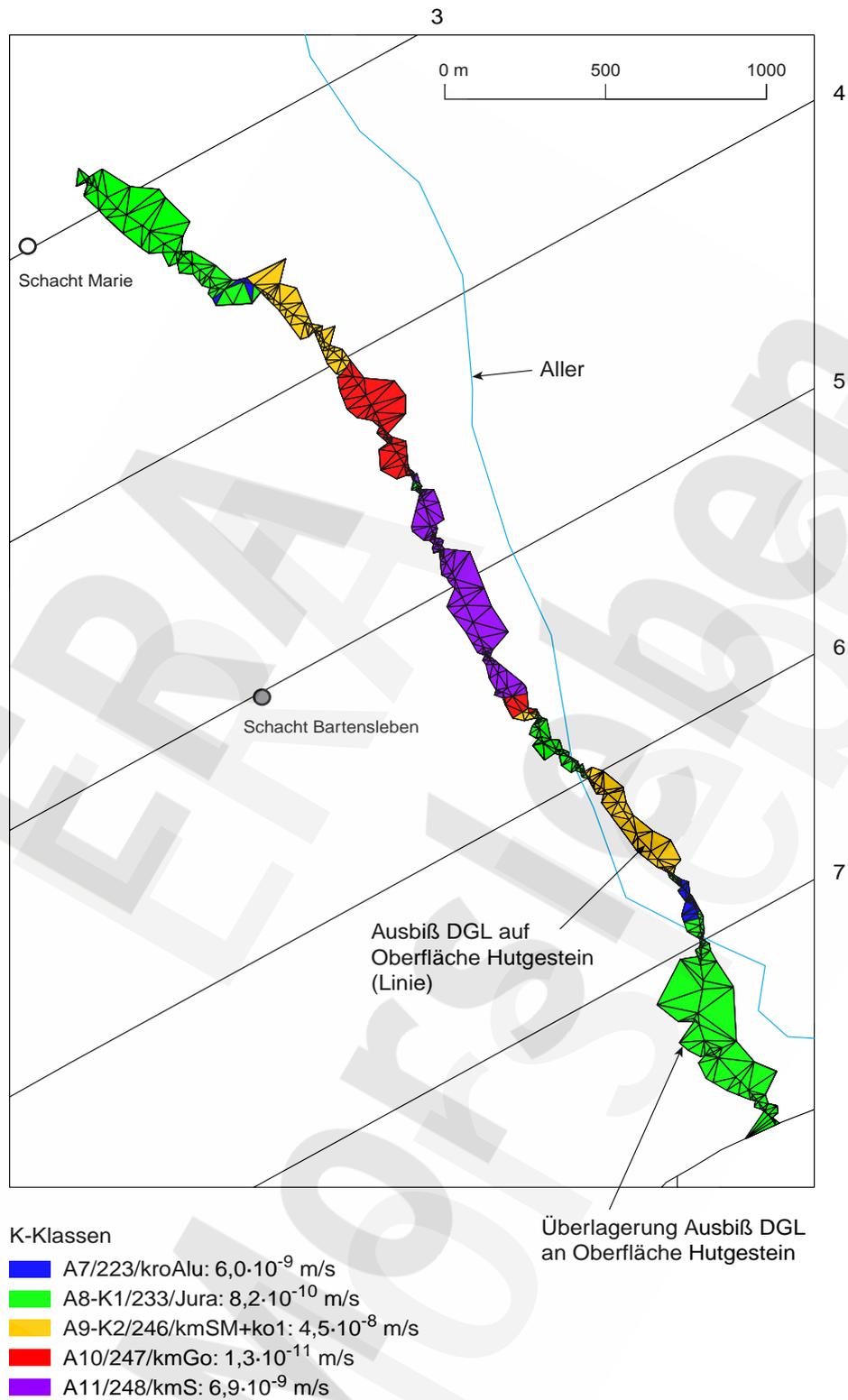
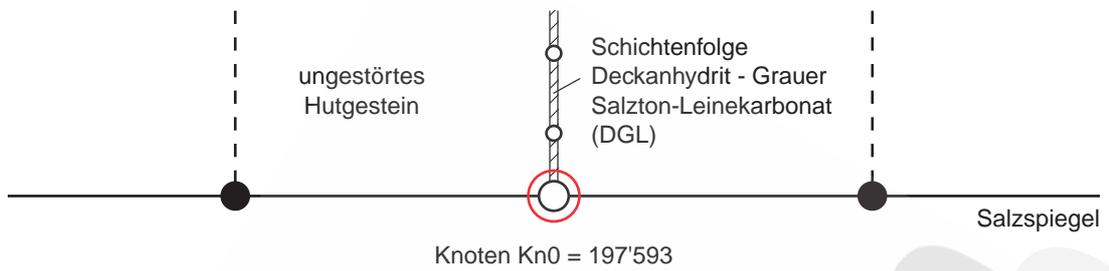
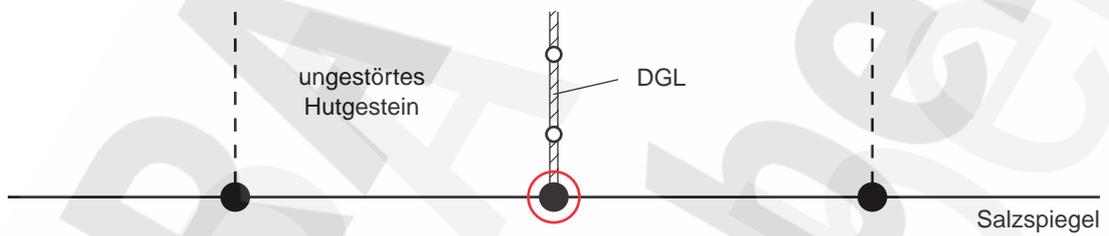


Abbildung 2 3D Süßwassermodell ERAM. Position der Aller, Ausbißlinie DGL an der Oberfläche des Hutgesteins und K-Klassen der Einheiten, die die Ausbißlinie DGL überlagern

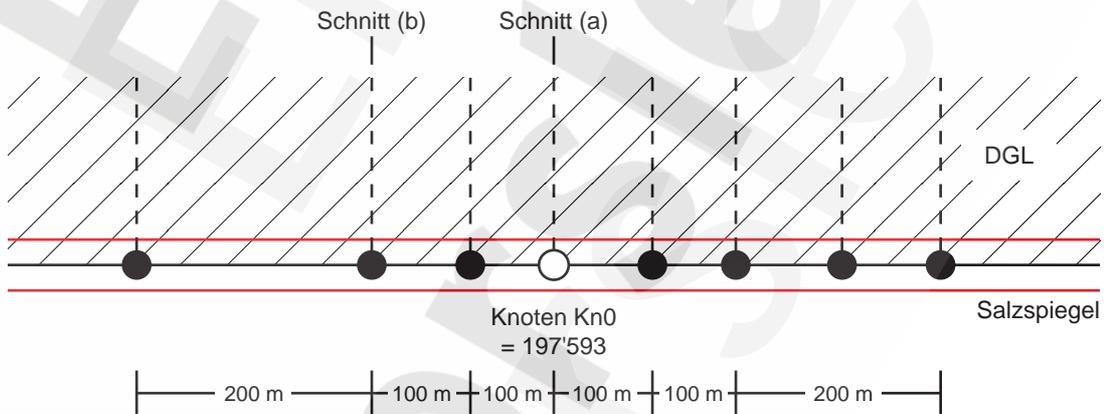
a) Schematischer Schnitt quer zur Schichtenfolge DGL durch Abflußstelle  
(Randbedingung  $h = z$ )



b) Schematischer Schnitt quer zur Schichtenfolge DGL durch Knoten ohne Abfluß  
(Randbedingung  $q = 0$ )



c) Schematischer Schnitt entlang der Schichtenfolge DGL



- Knoten innerhalb Modell
- Randknoten mit Randbedingung  $h = z$
- Randknoten mit Randbedingung  $q = 0$
- ○ ● 1D Element (Subrosionsrinne Kaliflöz)
- ○ 2D Element (Schichtenfolge DGL)
- - - - Elementgrenzen

4305/33/2d-elementdgl\_2.eps/shu/29.10.01

Abbildung 3 Abflußberechnungen: Schematische Darstellung

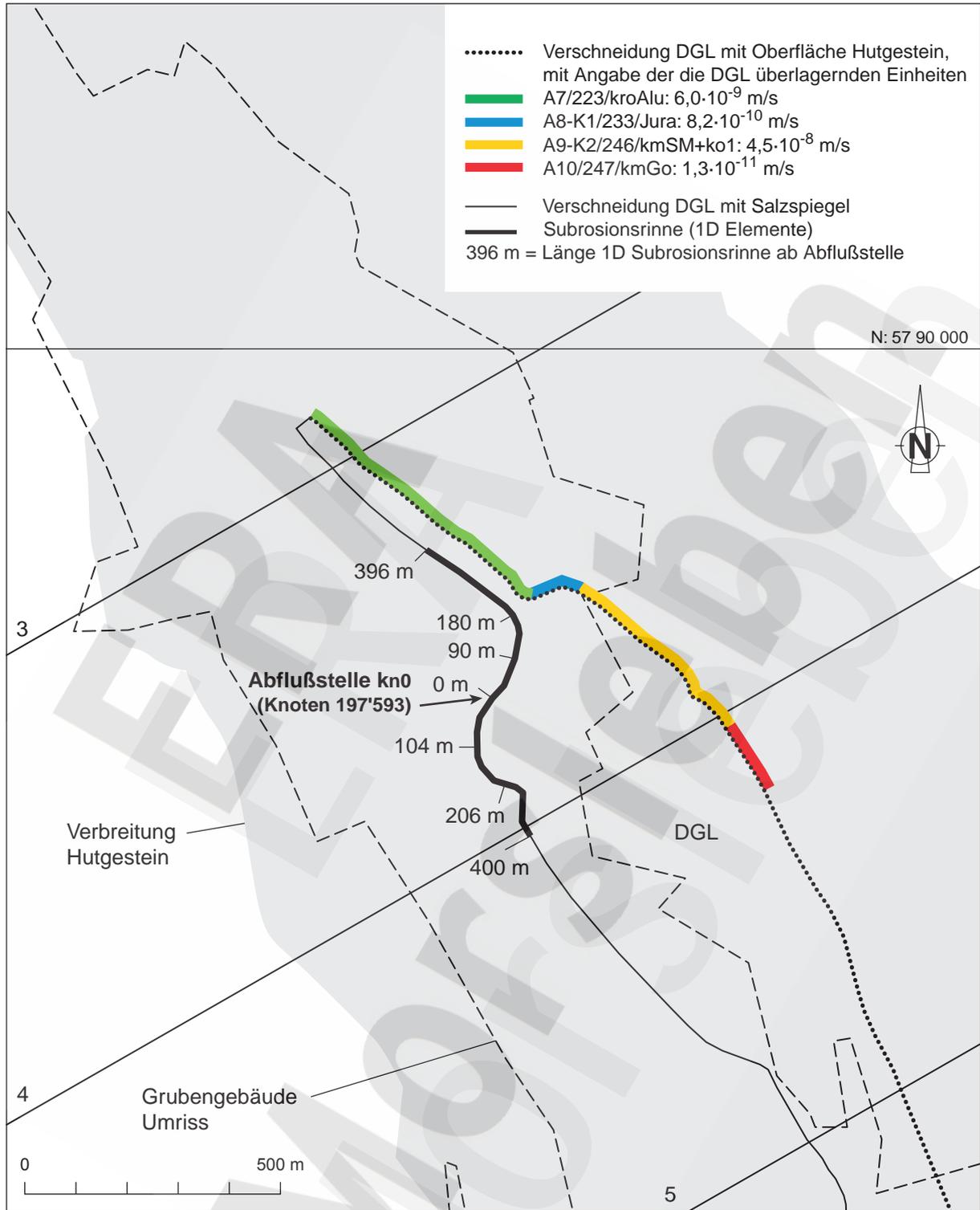


Abbildung 4 Modellierung der Abflußstelle mit h=z und Subrosionsrinne (1D-Elemente)

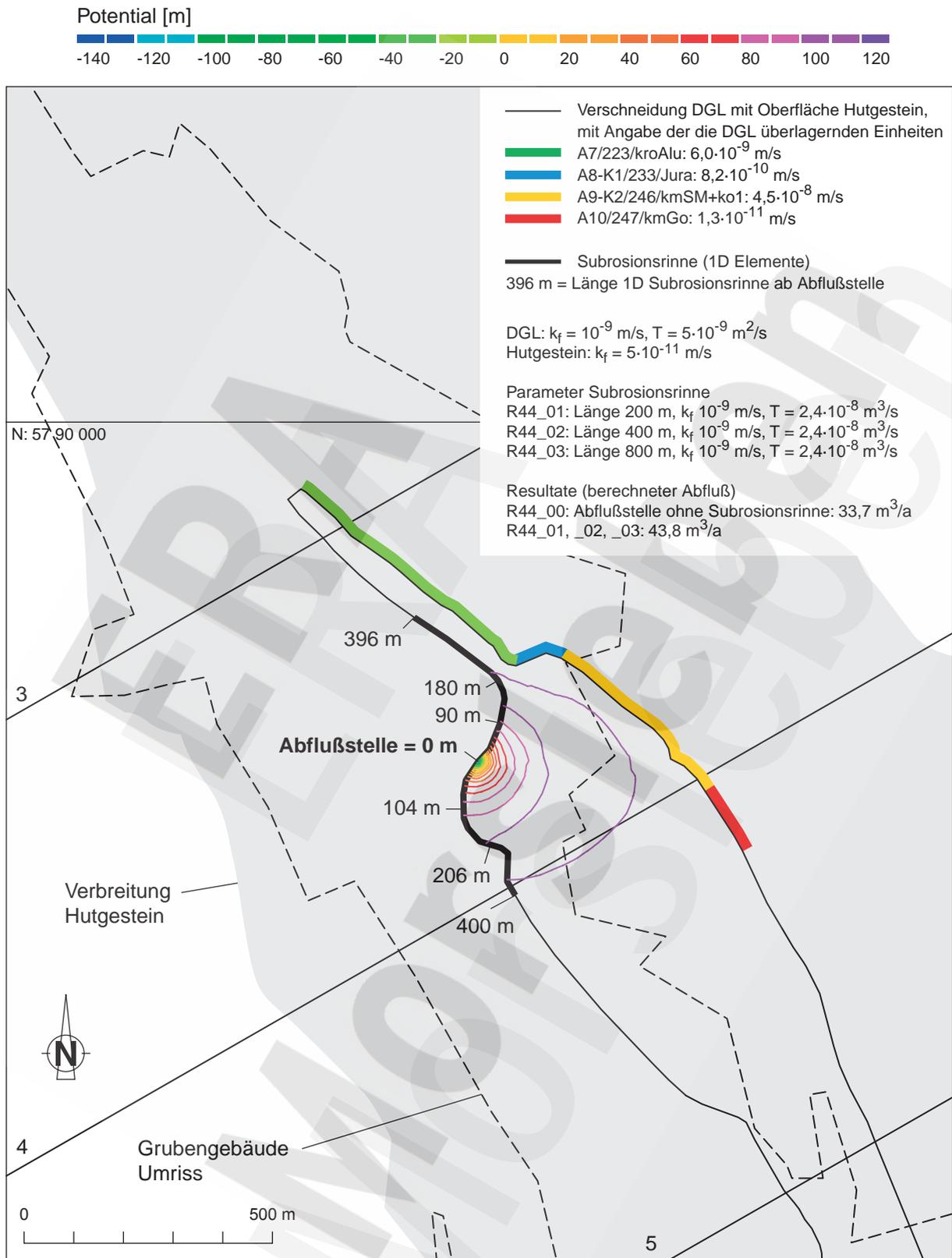


Abbildung 5 Rechenfälle R44\_00 bis R44\_03. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

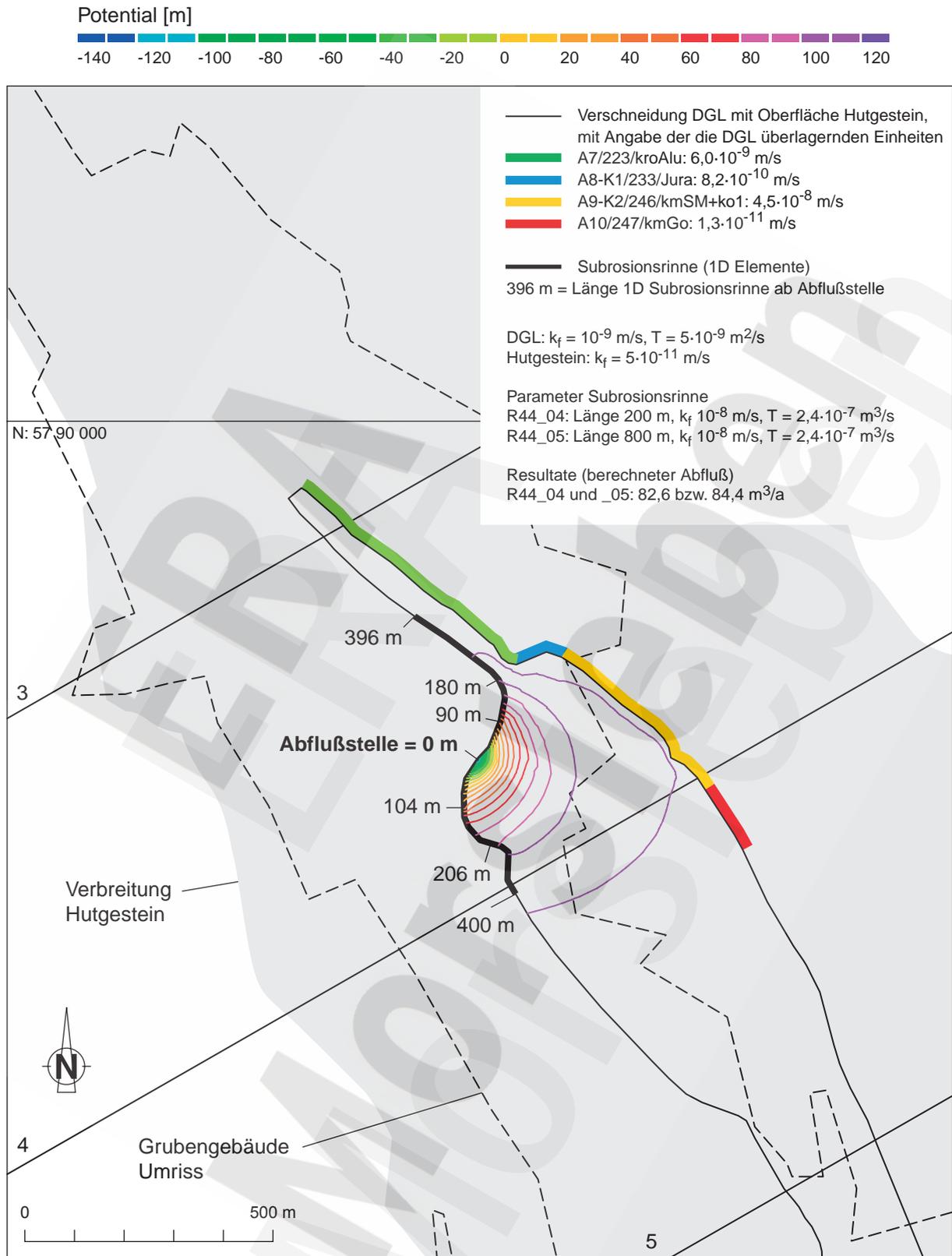


Abbildung 6 Rechenfälle R44\_04 und R44\_05. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

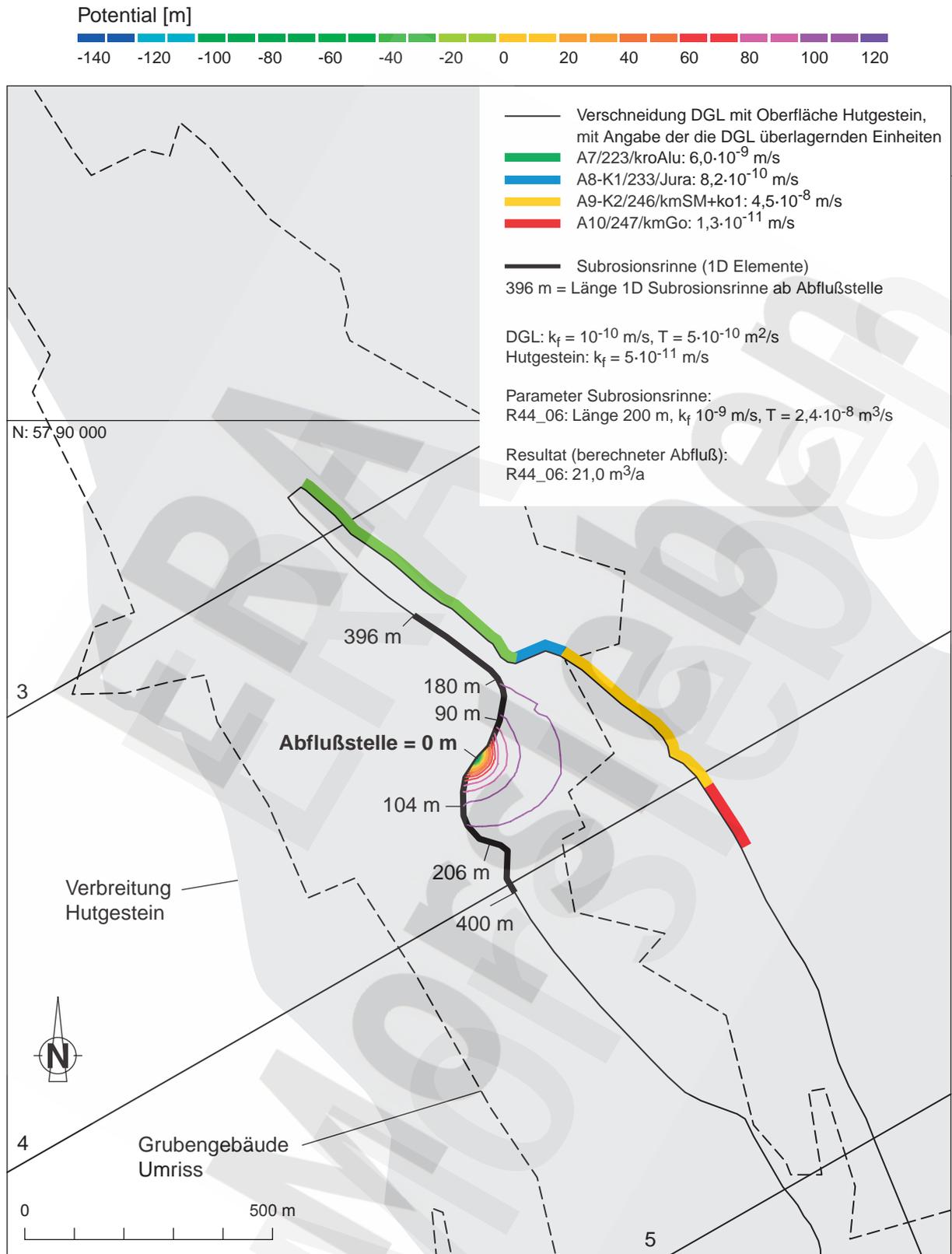


Abbildung 7 Rechenfall R44\_06. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

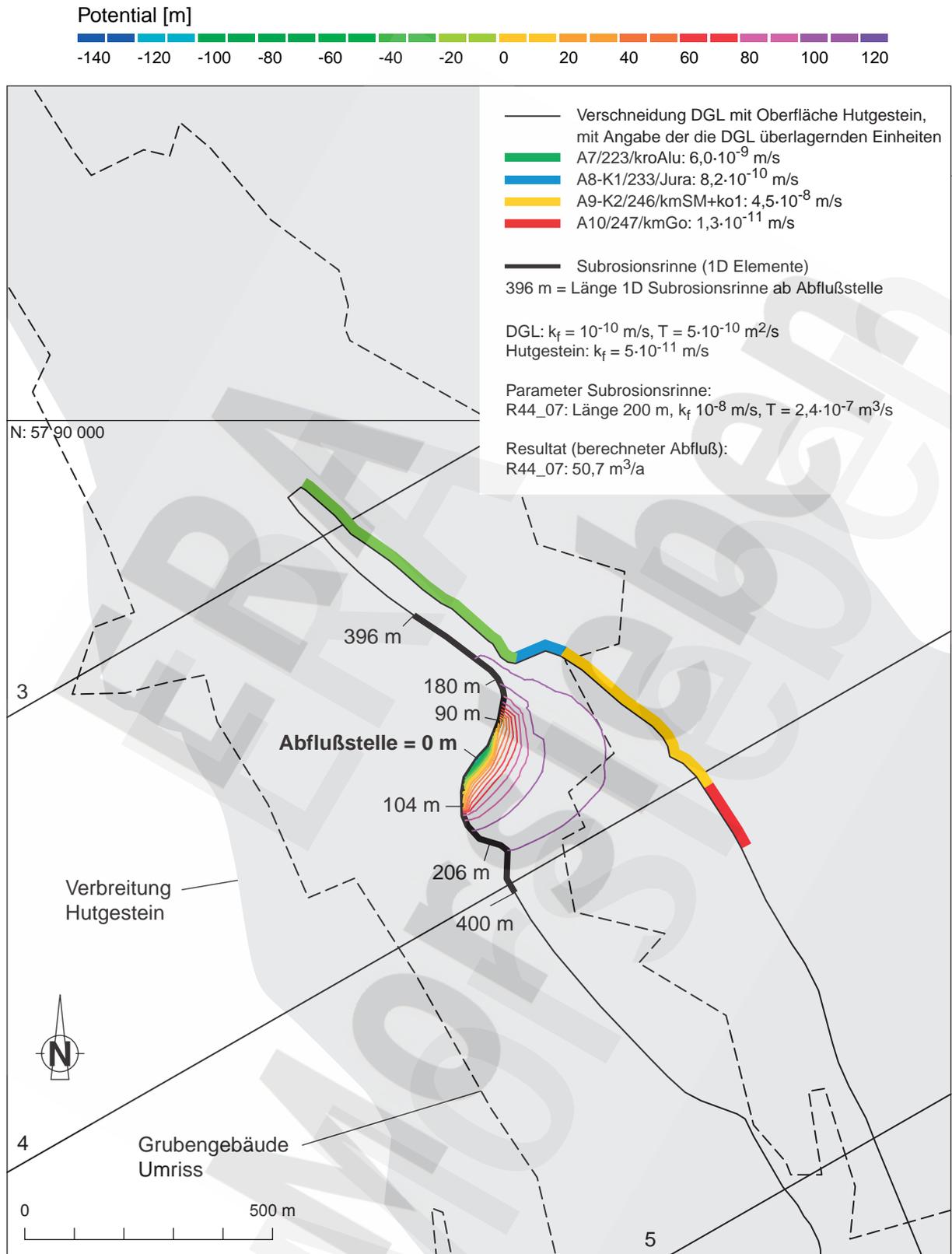


Abbildung 8 Rechenfall R44\_07. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

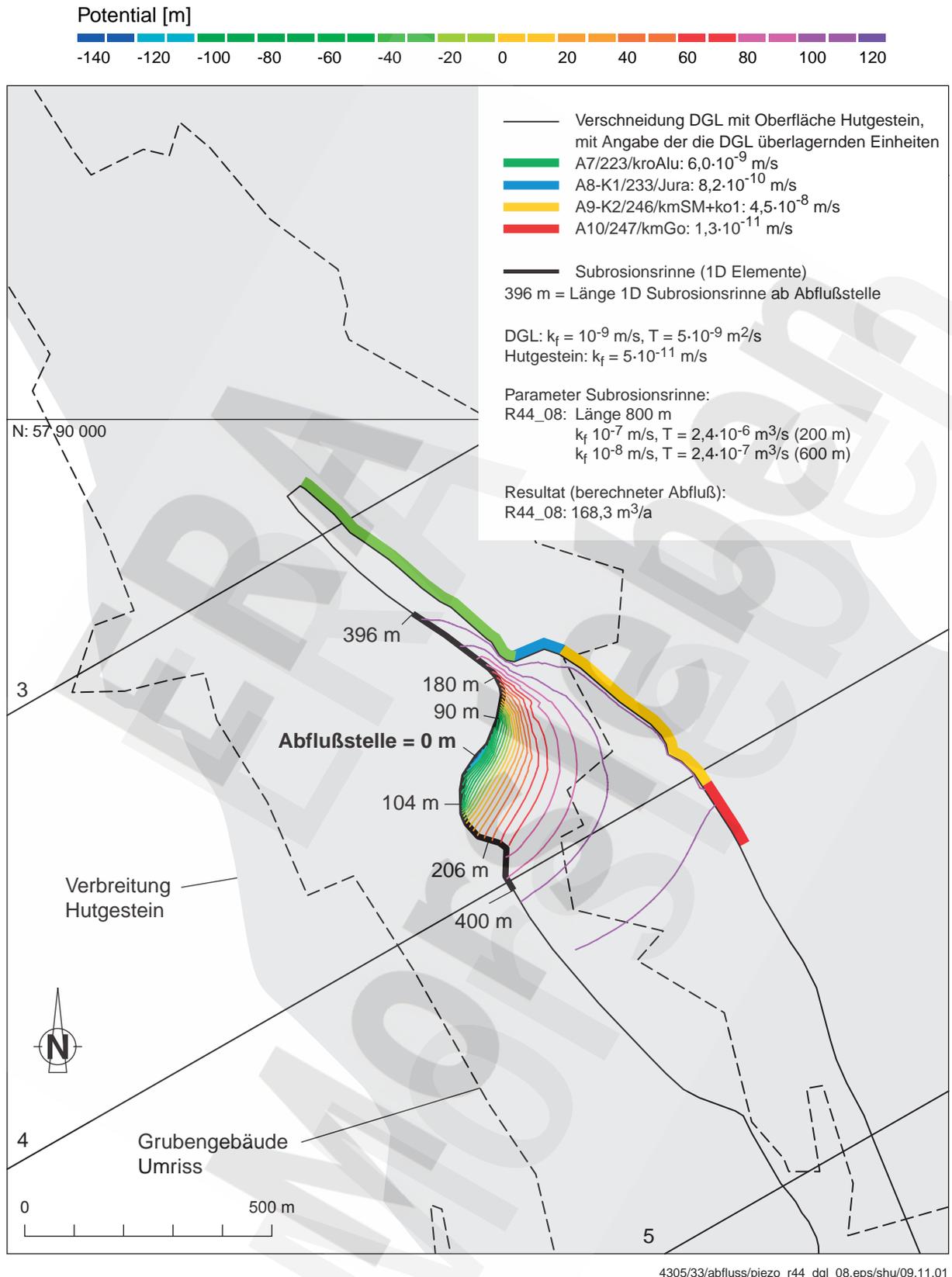


Abbildung 9 Rechenfall R44\_08. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

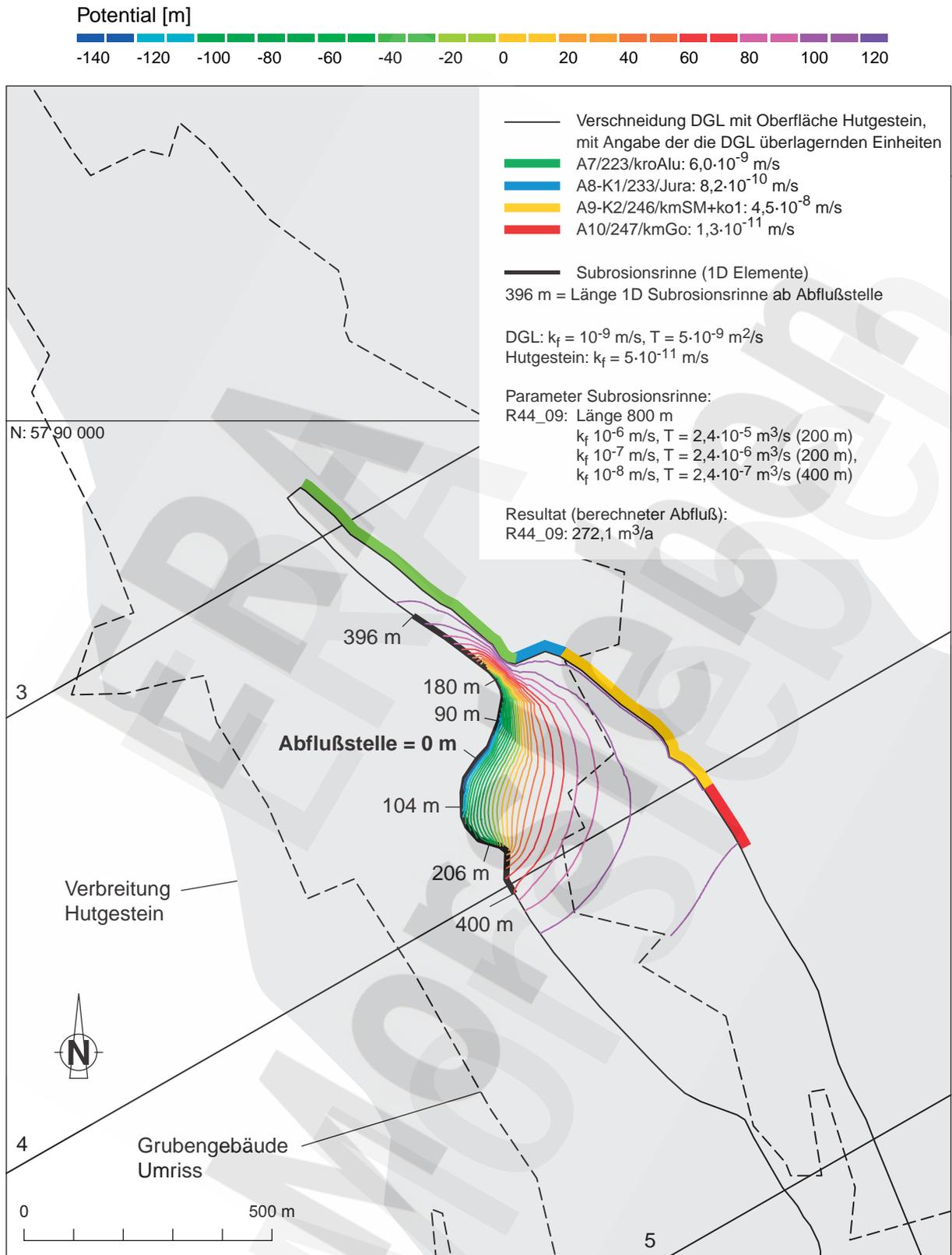


Abbildung 10 Rechenfall R44\_09. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

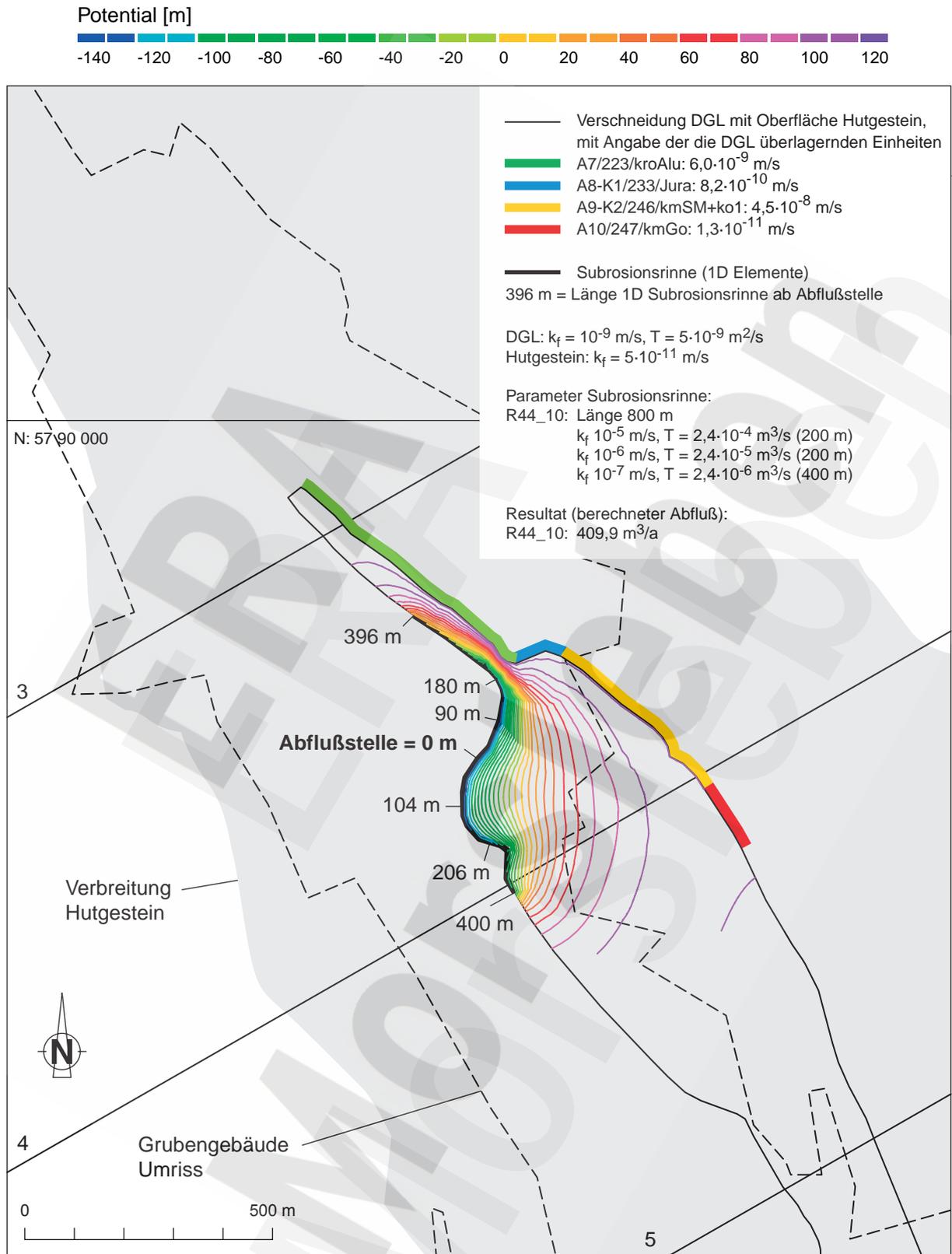


Abbildung 11 Rechenfall R44\_10. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

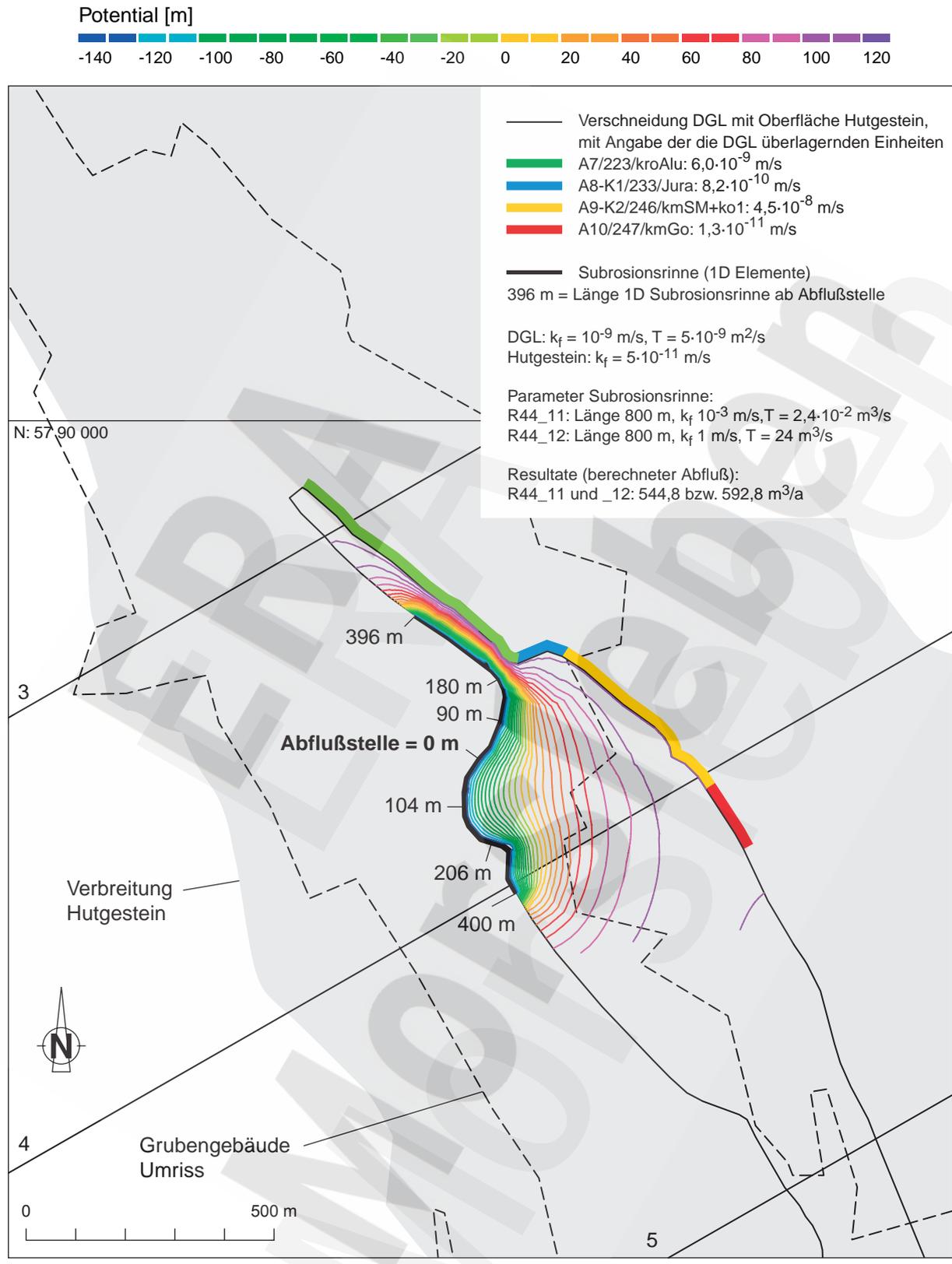


Abbildung 12 Rechenfälle R44\_11 und R44\_12. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)

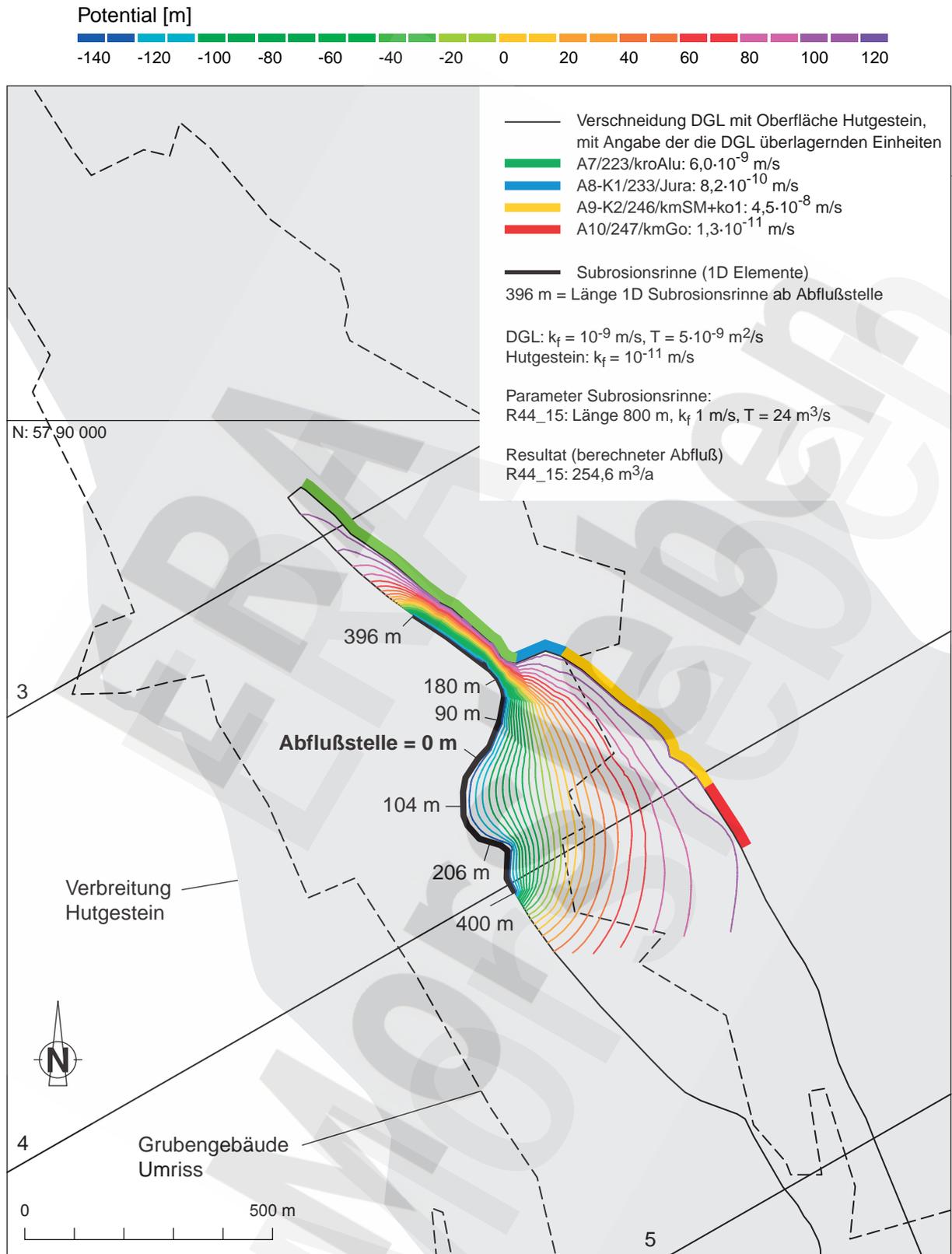


Abbildung 13 Rechenfall R44\_15. Potentialverteilung entlang der Schichtfolge DGL (Vertikalaufsicht)