

# Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

## Verfahrensunterlage

**Titel:** Endlager Morsleben  
3D Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter  
Süßwasserverhältnissen  
Rechnungen zur Ausbreitung der aus dem Grubengebäude ausgedrückten Lösung

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

**Erscheinungsjahr:** 2002

**Unterlagen-Nr.:** P 203

**Revision:** 00

**Unterlagenteil:**



## ZUSAMMENFASSUNG

Dr. P. Siegel , W. Klemenz, Dr. G. Resele

Endlager Morsleben. 3D Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter Süßwasserverhältnissen. Rechnungen zur Ausbreitung der aus dem Grubengebäude ausgepressten Lösung

Für die Sicherheitsanalyse ERAM – und zwar sowohl für die Szenarienanalyse als auch als Grundlage für die Konsequenzenanalyse – ist unter Verwendung des 3D-Süßwassermodells für das Hutgestein/Deckgebirge die folgende Frage zu beantworten:

Falls an einem vorgegebenen Ort am Salzspiegel Lösung mit einer gegebenen Rate aus dem Grubengebäude aus- und in die Schichtenfolge DGL eingepresst wird, fließt welcher Anteil dieser Lösung wo am oberen Rand der DGL in die darüber liegenden Schichten und welcher Anteil wo in das die DGL beidseitig begrenzende „intakte“ Hutgestein?

Diese Frage ist für zwei unterschiedliche Ausbildungen der DGL untersucht worden:

- (a) Die DGL ist eine durchgehende Fläche mit einheitlicher Transmissivität (keine Zerblickung).
- (b) Die Modellschicht „DGL“ ist an ausgewählten Orten zwischen ihrem oberen Ende und der Basis geringdurchlässig, so daß dort ein Wasserfluss in streichender Richtung behindert wird (Zerblickung der DGL).

Zwei Orte der Auspressung aus dem Grubengebäude in die Schichtenfolge DGL am Salzspiegel wurden betrachtet: In einer Einpressstelle an der Basis der Schichtenfolge DGL im Bereich des Zentralteils (Schnitt 5<sup>1</sup>), in dem die Schichtenfolge DGL von Schilfsandstein überlagert wird, bzw. des Nordfeldes (Schnitt 4), in dem die Schichtenfolge DGL an den Steinmergelkeuper angebunden ist. Diese zwei Einpressstellen stehen jeweils mit einer 200 m langen, hoch durchlässigen Subrosionsrinne Kaliflöz entlang der Verschneidung DGL/Salzspiegel in hydraulischem Kontakt.

Im Referenzfall der Rechnungen zum Langzeitsicherheitsnachweis [1] beträgt die Auspressung aus der Grube zwischen den Zeitpunkten 100 und 100'000 Jahre rund 10 m<sup>3</sup>/a. Den hier vorgestellten und diskutierten Modellrechnungen wurde deshalb eine Auspressrate aus dem Grubengebäude von 10 m<sup>3</sup>/a zugrunde gelegt. Dies entspricht einer spezifischen Einpressrate ins Deckgebirge pro Laufmeter Verschneidungslänge Subrosionsrinne bzw. DGL / Salzspiegel von ungefähr 0,05 m<sup>3</sup>/m·a.

Die übrigen Parameter entsprechen denen des Rechenfalls R44 der 3D Süßwasserrechnungen [4].

Für die verschiedenen Rechenfälle ohne oder mit Einpressung wird der Wasserfluss in und aus der Schichtenfolge DGL bilanziert. Dies erfolgt für einen geeignet definierten Bilanzierungskörper, für den die Teilabflüsse aus der Schichtenfolge DGL in das Hutgestein, durch die

<sup>1</sup> Die Bezeichnung der Schnitte bezieht sich auf [4]. Ihr Verlauf geht aus Abbildung 3 hervor.

Ausbissfläche an der Oberfläche des Hutgesteins sowie über den Nord- und Südrand der Schichtenfolge DGL ermittelt wurden.

Die möglichen Fließwege

Weg W1: DGL – Oberkreidetrog

Weg W2: DGL/Hutgestein – Steinmergelkeuper – Quartär

Weg W3: DGL/Hutgestein – Schilfsandstein (unterhalb des Oberen Gipskeuper) – Oberer Gipskeuper – Quartär

Weg W4: Intaktes Hutgestein – Oberkreidetrog

werden mit 3D Süßwasserrechnungen bewertet.

Bei unzerblockter Schichtenfolge DGL ist die Ausbreitung der in das Deckgebirge ausgepressten Lösung über größere Entfernungen in Streichrichtung möglich, so dass grundsätzlich alle vier Fließwege auftreten können. Die Modellrechnungen zeigen jedoch, dass der Weg W1 nur von untergeordneter Bedeutung ist und dass die Bedeutung der anderen drei Wege ähnlich ist wie bei einer zerblockten Schichtenfolge. Von einer Zerblockung der Schichtenfolge DGL ist aufgrund der geologischen Gegebenheiten am Standort auszugehen. Die Ergebnisse für diese Verhältnisse werden deshalb nachfolgend etwas ausführlicher dargelegt.

Die Zerblockung der Schichtenfolge DGL begrenzt die Ausbreitung der in das Deckgebirge eingepressten Lösung in streichender Richtung erheblich. Durch die hochdurchlässige Subrosionsrinne an der Basis der Schichtenfolge DGL wird die Lösung in streichender Richtung über die Rinne auf die gesamte Breite des DGL-Blockes verteilt. Der anschließende Aufstieg erfolgt dann in guter Näherung im Fallen.

Die Rechnungen mit zerblockter Schichtenfolge DGL erlauben folgende Aussagen:

- Der Fließweg **W1** (Abflüsse aus der Schichtenfolge DGL direkt in die Unteren Alleringerslebener Schichten) ist bei einer Einpressung auf der Höhe von Schnitt 4 (oder weiter südlich) ohne Bedeutung und stellt keinen möglichen Austragsweg dar.
- Der Fließweg **W2** ist bei einer Einpressung im Gebiet des Nordfeldes neben W4 ein Hauptaustragsweg.
- Bei einer Einpressung im Gebiet des Zentralteils stellt der Fließweg **W3** neben W4 den Hauptaustragsweg dar.
- An beiden Einpressorten „Nordfeld“ und „Zentralteil“ tritt ein bedeutender Teil des eingepressten Wassers in das intakte Hutgestein über und gelangt durch diese Einheit in den Oberkreidetrog (**W4**). Erst bei einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von  $10^{-12}$  m/s oder weniger kann von einem Anteil des Austragsweges W4 unter 50% ausgegangen werden.
- Die Überdeckung der Schichtenfolge DGL an der Obergrenze des Hutgesteins ist von untergeordnetem Einfluss auf die Aufteilung der Austragswege W4:W3 bzw. W4:W2.

Die Süßwasserrechnungen berücksichtigen nicht die höhere Dichte der aus dem Grubengebäude ins Deckgebirge eingepressten Lösung im Vergleich zur Dichte des Porenwassers des Hutgesteins unter ungestörten Verhältnissen. Der Einfluss dieses Dichteunterschieds dürfte bei einer Einpressung von gesättigter Salzlösung jedoch nicht vernachlässigbar sein.

Die in diesem Bericht dargestellten Süßwasserrechnungen dienen der Bewertung der möglichen Austragswege W2 bis W4. Eine weitergehende Bewertung der Austragswege, speziell die Ermittlung von Verlauf, Transportzeiten und möglichen Austrittsorten ins oberflächennahe Grundwasser soll – basierend auf den Resultaten der 3D Süßwasserrechnungen – mit Hilfe von 2D Salzwasserrechnungen entlang vertikaler Schnitte erfolgen, welche quer zum Allertal verlaufen und die Schichtenfolge DGL im Fallen schneiden.

ERA  
Morsleben

## Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1	Problemstellung, allgemeine Festlegungen.....10
2	Austragswege .....12
3	Modellgrundlagen .....15
3.1	3D Modell.....15
3.2	$k_f$ -Werte, Porositäten, Randbedingungen, Rechenprogramm .....16
4	Definition der Rechenfälle.....17
4.1	Übersicht.....17
4.2	Begründung für die Rechenfälle mit $k_f$ Hutgestein $3 \cdot 10^{-12}$ und $10^{-12}$ m/s .....17
5	Darstellung der Resultate .....19
5.1	Vorgehen bei den Bilanzierungen.....19
5.2	Graphische Darstellungen .....20
6	Resultate.....21
6.1	Einpressung im Gebiet von Schnitt 5.....21
6.1.1	Potentialverteilung und Darcyflüsse .....22
6.1.2	Bilanzierungen zur Einpressstelle Schnitt 5.....24
6.2	Einpressung im Gebiet von Schnitt 4.....28
6.2.1	Potentialverteilung, Darcyflüsse .....29
6.2.2	Bilanzierungen zur Einpressstelle Schnitt 4.....30
7	Austragswege, weiterführende Rechnungen.....34
7.1	Austragswege Schnitt 5 .....34
7.2	Austragswege Schnitt 4 .....35
7.3	Schlussfolgerungen .....37
7.4	Ergänzende Rechnungen .....38
8	Literaturverzeichnis.....39
9	Tabellen .....40
10	Abbildungen.....50
	Gesamtseitenzahl.....87

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1	Auspressraten aus dem Grubengebäude ( $\text{m}^3/\text{a}$ ) und spezifische Einpressraten in die Schichtenfolge DGL ( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{a}$ ).....	41
Tabelle 2	Definition und Parameter der Rechenfälle .....	42
Tabelle 3	Potential an der Einpressstelle in die Schichtenfolge DGL .....	43
Tabelle 4	Bilanzierung der Wasserflüsse in den Bilanzierungskörpern (mit Bilanzierungsfehler) .....	44
Tabelle 5	Bilanzierung der Wasserflüsse in den Bilanzierungskörpern (nach Verteilung der Direkteinpressung und Bilanzierungsfehler) .....	45
Tabelle 6	Bilanzierung der Zu- und Abflüsse (in $\text{m}^3/\text{a}$ und in %) im Bilanzierungskörper Schnitt 5 .....	46
Tabelle 7	Bilanzierung der Zu- und Abflüsse (in $\text{m}^3/\text{a}$ und in %) im Bilanzierungskörper Schnitt 4 .....	47
Tabelle 8	Bilanzierung des Abflusses der eingepressten Lösung .....	49

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1	Auspressung aus der Grube in die DGL, Referenzfall aus [1] .....	51
Abbildung 2	3D Süßwassermodell ERAM. Schnitte 3 bis 6 durch das Allertal mit schematisiertem Verlauf der Austragswege W1 bis W4 .....	52
Abbildung 3	Vertikale Aufsicht auf die Schichtenfolge DGL. Die Begrenzungslinie auf der SW-Seite stellt die Verschneidungslinie mit dem Salzspiegel dar. Auf der NE-Seite Ausbiss der DGL an der Oberfläche des Hutgesteins mit den die Ausbissfläche überlagernden hydrostratigraphischen Einheiten.....	53
Abbildung 4	Lage der Einpressstellen.....	54
Abbildung 5	Modellierung der Abflussstelle mit $h=z$ und der Subrosionsrinne (1D-Elemente) in den Abflussrechnungen [2] und der Einpressstellen und Subrosionsrinnen des vorliegenden Berichtes .....	55
Abbildung 6	3D Schema der Wasserflüsse in den Bilanzierungskörpern .....	56
Abbildung 7	Zerblockung der Schichtenfolge DGL .....	57
Abbildung 8	Einpressorte Schnitt 5 (Knoten 198'278) und Schnitt 4 (Knoten 199'561) mit den Bilanzierungskörpern Schnitt 5 und Schnitt 4 der unzerblockten (blau) sowie der zerblockten (rot) Schichtenfolge DGL. Horizontalansicht der DGL von SW.....	58
Abbildung 9	Einpressung in Schnitt 5 in die unzerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44_31 – R44_30 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches .....	59
Abbildung 10	Einpressung in Schnitt 4 in die unzerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44_32 – R44_30 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches .....	59
Abbildung 11	Einpressung in Schnitt 5 in die zerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44_34 – R44_33 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches .....	60
Abbildung 12	Einpressung in Schnitt 4 in die zerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44_35 – R44_33 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches .....	60
Abbildung 13	Rechenfall R44_30. Potentialverteilung entlang Schnitt 5 .....	61
Abbildung 14	Rechenfall R44_30. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL ohne Einpressung .....	62
Abbildung 15	Rechenfall R44_30. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL.....	63
Abbildung 16	Rechenfall R44_31. Potentialverteilung entlang Schnitt 5 .....	64
Abbildung 17	Rechenfall R44_31, Einpressung im Gebiet von Schnitt 5. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers.....	65
Abbildung 18	Rechenfall R44_31. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	66
Abbildung 19	Rechenfall R44_31. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	67
Abbildung 20	Rechenfall R44_31, Einpressung im Gebiet von Schnitt 5. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers .....	68
Abbildung 21	Rechenfall R44_36. Potentialverteilung entlang Schnitt 5 .....	69
Abbildung 22	Rechenfall R44_36. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 5 .....	70
Abbildung 23	Rechenfall R44_36. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 5 .....	70
Abbildung 24	Rechenfall R44_36. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	71

Abbildung 25	Rechenfall R44_36. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	72
Abbildung 26	Rechenfall R44_37. Potentialverteilung entlang Schnitt 5 .....	73
Abbildung 27	Rechenfall R44_37. Potentialverteilung im Bilanzierungskörper Schnitt 5 .....	74
Abbildung 28	Rechenfall R44_37. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 5 .....	74
Abbildung 29	Rechenfall R44_37. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	75
Abbildung 30	Rechenfall R44_37. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	76
Abbildung 31	Rechenfall R44_30. Potentialverteilung entlang Schnitt 4 .....	77
Abbildung 32	Rechenfall R44_32. Potentialverteilung entlang Schnitt 4 .....	78
Abbildung 33	Rechenfall R44_32, Einpressung im Gebiet von Schnitt 4. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers.....	79
Abbildung 34	Rechenfall R44_32. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	80
Abbildung 35	Rechenfall R44_32. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	81
Abbildung 36	Rechenfall R44_32, Einpressung im Gebiet von Schnitt 4. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers .....	82
Abbildung 37	Rechenfall R44_38. Potentialverteilung entlang Schnitt 4 .....	83
Abbildung 38	Rechenfall R44_38. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 4 .....	84
Abbildung 39	Rechenfall R44_38. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 4 .....	84
Abbildung 40	Rechenfall R44_38. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	85
Abbildung 41	Rechenfall R44_38. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten) .....	86
Abbildung 42	Zuordnung der Abflüsse aus dem Bilanzierungskörper DGL auf die Austragswege .....	87



**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

2D, 3D	zweidimensional, dreidimensional
DGL	Schichtenfolge „Deckanhydrit - Grauer Salzton – Leinekarbonat“ im Hütgestein
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
FSCGM	Finite Elemente Computer-Programm <i>Free Surface Colenco Groundwater Model</i> zur Berechnung der Grundwasserströmung mit freier Oberfläche
$k_f$	Durchlässigkeitsbeiwert, m/s
K-Klasse	Materialindex im Programm FSCGM zur Zonierung der hydraulischen Leitfähigkeit
NN	Normal Null (Pegel Amsterdam)
T	Transmissivität, $m^2/s$ (DGL) bzw. $m^3/s$ (Subrosionsrinne)

## 1 Problemstellung, allgemeine Festlegungen

Für den Nachweis der Langzeitsicherheit ERAM – und zwar sowohl für die Szenarienanalyse als auch als Grundlage für die Konsequenzenanalyse – ist unter Verwendung des 3D-Süßwassermodells für das Hutgestein/Deckgebirge die folgende Frage zu beantworten:

**Falls an einem vorgegebenen Ort am Salzspiegel Lösung mit einer gegebenen Rate aus dem Grubengebäude aus- und in die Schichtenfolge DGL eingepresst wird, fließt welcher Anteil dieser Lösung wo am oberen Rand der DGL in die darüber liegenden Schichten und welcher Anteil wo in das die DGL beidseitig begrenzende „intakte“ Hutgestein?**

Diese Frage ist für zwei unterschiedliche Ausbildungen der Schichtenfolge DGL zu untersuchen:

- (a) Die DGL ist eine durchgehende Fläche mit einheitlicher Transmissivität (keine Zerblockung)
- (b) Die Modellschicht „DGL“ ist an ausgewählten Orten zwischen ihrem oberen Ende und der Basis geringdurchlässig, so daß dort ein Wasserfluss in streichender Richtung behindert wird (Zerblockung der DGL, siehe Abbildung 7).

Die Auspressung von Lösung aus dem Grubengebäude in die Schichtenfolge DGL wird an zwei Orten am Salzspiegel unterstellt:

- In einer Einpressstelle an der Basis der DGL ca. 100 m nördlich des Nordfeldes (Schnitt 4)<sup>2</sup> bzw. im Gebiet Schacht Bartensleben – Zentralteil (Schnitt 5). Diese zwei Einpressstellen stehen jeweils mit einer insgesamt 200 m langen, hoch durchlässigen Subrosionsrinne Kaliflöz entlang der Verschneidung DGL/Salzspiegel in hydraulischem Kontakt.
- Im Referenzfall der Rechnungen zum Langzeitsicherheitsnachweis [1] beträgt die Auspressrate aus der Grube zwischen den Zeitpunkten 100 und 100'000 Jahre rund 10 m<sup>3</sup>/a (Abbildung 1). Den hier vorgestellten und diskutierten Modellrechnungen wird deshalb eine Auspressrate aus dem Grubengebäude von 10 m<sup>3</sup>/a zugrunde gelegt.
- Die Auspressrate aus dem Grubengebäude von 10 m<sup>3</sup>/a entspricht einer spezifischen Einpressrate pro Laufmeter Verschneidungslänge Subrosionsrinne bzw. DGL / Salzspiegel von ungefähr 0,05 m<sup>3</sup>/m·a. Der Vergleich mit der Länge der modellierten Subrosionsrinnen in den Modellrechnungen zum möglichen Lösungszutritt ins Grubengebäude [2] bzw. mit den spezifischen Einpressraten in den 2D Salzwasserrechnungen [3] geht aus Tabelle 1 hervor.

Die übergeordnete Frage kann in die folgenden Teilfragen untergliedert werden:

---

<sup>2</sup> Die Bezeichnung der Schnitte bezieht sich auf [4]. Ihr Verlauf ist in Abbildung 3 dargestellt.

- A Wie ist die Richtung und wie groß sind die Beträge der Wasserflüsse längs der Schichtenfolge DGL?
- B Wie groß ist der Zu- bzw. Abfluss in/aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein gegen SW und gegen NE?
- C Wie groß ist der Zu-/Abfluss entlang des oberen Randes der Schichtenfolge DGL (Hutgesteinsoberfläche).

Die Teilfragen sind jeweils für (i) den Rechenfall mit Lösungsauspressung aus dem Grubengebäude und zum Vergleich für (ii) den Rechenfall ohne Lösungsauspressung aus dem Grubengebäude zu beantworten.

ERA  
Morsleben

## 2 Austragswege

Aus dem hydrogeologischen Aufbau des Deckgebirges im Allertal mit den angrenzenden Zonen des Lappwaldes und der Weferlinger Triasplatte, wie er aus den Schnitten durch das 3D Süßwassermodell hervorgeht (vgl. [4], Abbildungen 23 und 24), lassen sich die Wege W1 bis W4 als mögliche Transportpfade durch das Hutgestein und das Deckgebirge bis zur Biosphäre (Abbildung 2, Abbildung 3):

### Weg W1: DGL – Oberkreidetrog

- Situation vorherrschend rund 500 m nordwestlich von Schnitt 4
- Einpressung in die Schichtenfolge DGL auf der Höhe des Nordfeldes
- Fließweg:
  - entlang der Schichtenfolge DGL oder der Subrosionsrinne nach NW (Gebiet zwischen Schnitt 3 und 4), wahrscheinlich unterbrochen wegen Zerblockung
  - Austritt in die Oberkreide (Untere Alleringerslebener Schichten)
  - Aufstieg durch Oberkreide an die Oberfläche (Vertikaldistanz 200 m)
  - Exfiltration im Quartär SW der Aller
- Verdünnung in Oberkreidetrog/Quartär SW der Aller
- Fließweglänge:
  - Nordfeld: ca. 500 m nach NW
  - Zentralteil: > 1 km nach NW
  - Weglänge im Fallen der DGL ca. 100-150 m

### Weg W2: DGL/Hutgestein – Steinmergelkeuper – Quartär

- Situation vorherrschend in Schnitt 4, ca. 500 m südwestlich von Schnitt 5 sowie weiter im SE zwischen Schnitt 6 und Schnitt 7
- Einpressung in die Schichtenfolge DGL auf der Höhe des Nordfeldes oder im Zentralteil
- Fließweg:
  - entlang der Schichtenfolge DGL oder der Subrosionsrinne und Übertritt auf der NE-Flanke der Hutgesteinsaufwölbung in den Steinmergelkeuper (Kluftwasserleiter) oder
  - Austritt aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein, Fließweg durch das Hutgestein nach NE in den Steinmergelkeuper oder in den Oberen Gipskeuper
  - Fließweg durch den Keuper an die Oberfläche
  - Exfiltration aus aufgeschlossenem Keuper oder in geringmächtige (einige Meter) Quartärbedeckung
- Verdünnung im gering mächtigen Quartär SW (Schnitt 4) bzw. NE der Aller (Schnitte 6 und 7)
- Fließweglänge:
  - Nordfeld: 300-500 m in DGL
  - Zentralteil: nach NW 1000 m in DGL; nach SE 500 m bzw. 800 m in DGL

- Abflüsse durch Hutgestein nach NE in den Keuper: 0-400 m, je nach Ort des Übertritts aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein
- Aufstieg durch Keuper: im Gebiet von Schnitt 4 (Nordfeld) 150 m im Steinmergelkeuper; im Gebiet von Schnitt 6 (Zentralteil) 50 m durch Steinmergelkeuper
- kumulierte Weglängen entlang Weg W2: 450-1150 m

### **Weg W3: DGL/Hutgestein – Schilfsandstein (unterhalb des Oberen Gipskeuper) – Oberer Gipskeuper – Quartär**

- Situation vorherrschend in Schnitt 5 (Zentralteil)
- Einpressung in DGL auf der Höhe des Zentralteils
- Fließweg:
  - entlang der Schichtenfolge DGL und Übertritt auf der NE-Flanke der Hutgesteinsaufwölbung in den Schilfsandstein, oder
  - Austritt aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein, Fließweg durch das Hutgestein nach NE in den Schilfsandstein
  - Fließweg durch Keuper an die Oberfläche. Aufstieg behindert durch gering durchlässigen oberen Gipskeuper
  - Vertikaler Aufstieg durch Steinmergelkeuper (0-50 m)
  - Exfiltration aus aufgeschlossenem Keuper oder in geringmächtige (einige Meter) Quartärbedeckung
  - Austragsweg für Nordfeld auszuschließen
- Verdünnung im gering mächtigen Quartär SW der Aller
- Fließweglänge:
  - Zentralteil: keine Wegkomponente nach NW/SE
  - Abflüsse durch Hutgestein nach NE in den Keuper: 0-250 m, je nach Ort des Übertritts aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein
  - DGL-Streckenanteil gering
  - Weglänge durch den Oberen Gipskeuper: 100 m
  - in den 2D-Salzwasserrechnungen [3] ergeben sich aus den Trajektorienrechnungen infolge der Dichteeffekte markant größere Fließweglängen

### **Weg W4: Intaktes Hutgestein – Oberkreidetrog**

- Situation vorherrschend in Schnitt 5 (Zentralteil) und Schnitt 4 (Nordfeld)
- Einpressung in DGL auf der Höhe des Zentralteils oder des Nordfeldes
- Fließweg:
  - Abfluss entlang der Schichtenfolge DGL gegen die NE-Flanke und Übertritt in das intakte Hutgestein gegen SW
  - Aufstieg durch das Hutgestein in den Oberkreidetrog
  - Aufstieg durch die Oberkreide
  - Exfiltration im Quartär SW der Aller
- Verdünnung in Oberkreidetrog und im Quartär SW der Aller
- Fließweglänge:
  - typische Länge des Fließweges durch Hutgestein in den Oberkreidetrog (obere Alleringerslebener Schichten): 200 bis 300 m
  - Zentralteil und Nordfeld ohne Wegkomponente nach NW/SE
  - DGL-Streckenanteil gering

Da das Quartär im 3D-Süßwassermodell [4] vereinfacht dargestellt ist und im Modell die oberflächennahen Grundwasserflüsse lediglich mit Vorgabe einer mittleren, jedoch flächenspezifisch ermittelten Grundwasserneubildungsrate berechnet werden, kann die zwischen dem Austritt der Radionuklide in die Deckschichten der Oberkreide und der Exfiltration stattfindende Verdünnung nicht direkt dem 3D-Süßwassermodell [4] entnommen werden.

Für das Modellgebiet ERAM sind umfangreiche Untersuchungen zur Grundwasserneubildung durchgeführt worden ([7] (Kap. 4.1.3)). Die dabei angewendeten Verfahren zählen ausnahmslos zu den Wasserhaushaltsberechnungen.

Nach [7] ist bei allen Verfahren zu berücksichtigen, daß nicht alles in die ungesättigte Zone infiltrierende Niederschlagswasser den Grundwasserleiter erreicht, sondern ein Teil, bei Vorhandensein von wasserstauenden Horizonten über dem obersten Grundwasserleiter, nach mehr oder weniger kurzer Aufenthaltsdauer wieder zum Oberflächenabfluss wird. Dieser sogenannte Zwischenabfluss ( $A_z$ ) lässt sich nur schwer quantifizieren.

Bei den indirekten Verfahren ist daneben zu berücksichtigen, daß je nach Gesteinsbeschaffenheit und Topographie der Anteil der indirekten Grundwasserneubildung, also der nicht direkt am Ort des Auftreffens des Niederschlags sondern im Verlauf des oberirdischen Abflusses an Systemen bevorzugter hydraulischer Wasserwegsamkeit oder in natürlichen Depressionen erfolgenden Neubildung, stark unterschiedlich ist ([7], Kap. 4.1.3.1).

Da für den Zwischenabfluss im Wesentlichen dieselben Exfiltrationszonen wie für die Grundwasserabflüsse aus größerer Tiefe wirksam sind, darf bei der Festlegung der Verdünnung der Zwischenabfluss mitberücksichtigt werden.

Der Grundwasserabfluss inkl. dem Zwischenabfluss weist generell eine Größenordnung von 30% der Niederschläge auf; diese betragen bei Morsleben im Mittel 800 mm/a. Dieser Abfluss aus dem Lappwald und dem Allertal zu den Exfiltrationsgebieten entlang der Aller beträgt für eine 200 m breite Zone rund 100'000 m<sup>3</sup>/a. Die angenommene Erstreckung des potentiell kontaminierten Bereiches des oberflächennahen Grundwassers entlang des Allertals, d.h. quer zur allgemeinen Fließrichtung des Grundwassers, entspricht der typischen Ausdehnung der zusammenhängenden Blöcke der Schichtenfolge DGL. Für das wenig NE der Aller liegende Exfiltrationsgebiet von Fließweg W2 gelten ähnliche Bedingungen.

Um den örtlich variablen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, kann als Verdünnung für alle Wege ein Wert von 25'000 m<sup>3</sup>/a mit einer Bandbreite von 10'000 m<sup>3</sup>/a bis 100'000 m<sup>3</sup>/a unterstellt werden.

### 3 Modellgrundlagen

#### 3.1 3D Modell

Die Modellrechnungen werden mit dem in [4] beschriebenen 3D Modell durchgeführt. Ergänzend werden in den hier beschriebenen Modellrechnungen folgende Gegebenheiten berücksichtigt:

Die Schichtenfolge DGL, gebunden an den Hauptanhydrit im Hutgestein, ist zerblockt und weist typischerweise eine Ausdehnung im Streichen und Fallen von je ca. 200 m auf [8]. Die Subrosionsrinne erstreckt sich kontinuierlich mit dem Ausbiss des Kaliflözes entlang des Salzspiegels, unabhängig von der Zerblockung des Hauptanhydrits im Salinar.

Die Transmissivität der Subrosionsrinne dürfte während der Phase der Lösungsauspressung aus dem Grubengebäude lokal jedoch erhebliche Unterschiede aufweisen. Während des vorangegangenen Lösungszutritts aus dem Hutgestein in die Grube finden Lösungsprozesse auch in der Subrosionsrinne statt. Diese werden in der Nähe der Zutritts- und späteren Auspressstelle am stärksten sein und mit wachsendem Abstand von der Zutrittsstelle abnehmen. Da die Zerblockung der relativ hoch durchlässigen DGL den durchströmten Bereich in Salzspiegelhöhe begrenzt, kann von einer analog begrenzten hochdurchlässigen Zone der Subrosionsrinne ausgegangen werden.

Für die Ermittlung des Lösungsübertritts aus dem Grubengebäude in das Hutgestein wird deshalb die Existenz einer 200 m langen gut durchlässigen Subrosionsrinne an der Basis der Schichtenfolge DGL unterstellt.

Im Bereich der Schnitte 5 und 4 (vgl. Abbildung 2 bis Abbildung 4) wird je eine Einpressstelle (Knoten) definiert, die jeweils an eine rund 200 m lange Subrosionsrinne angeschlossen ist. Dies ergibt die folgenden drei Modelle:

- 3D Modell A Ohne Einpressung, entspricht dem Modell des Rechenfalls R44 in [4]
- 3D Modell B Modell mit Einpressstelle (Knoten 198'278) auf Schnitt 5 und mit einer 200 m langen hochdurchlässigen Subrosionsrinne (1D Strang mit K-Klasse 810)
- 3D Modell C Modell mit Einpressstelle (Knoten 199'561) auf Schnitt 4 und mit einer 200 m langen hochdurchlässigen Subrosionsrinne (1D Strang mit K-Klasse 811)

Die Positionen der beiden Einpressstellen und jene der Abflussstelle der Modellrechnungen zum möglichen Lösungszutritt ins Grubengebäude [2] sind in Abbildung 5 dargestellt.

Die Schichtenfolge DGL ist in diesen Modellen als 2D Struktur, d.h. ohne geometrische Mächtigkeit abgebildet.

### 3.2 **$k_f$ -Werte, Porositäten, Randbedingungen, Rechenprogramm**

Die Rechnungen werden für Süßwasserverhältnisse (Vernachlässigung von Dichte-effekten), stationär, mit freier Oberfläche und mit den  $k_f$ -Werten und Porositäten des Süßwasserrechenfalls R44 ([4], Tabellen 4 bis 6) durchgeführt.

An der Modelloberfläche erfolgt die Vorgabe einer Grundwasserneubildung ([4], Abbildung 31). Die seitlichen Modellränder und die Modellbasis sind - mit Ausnahme der Einpressstellen in den Modellen B und C - geschlossen.

Die Berechnungen erfolgen mit dem Programm FSCGM [5].

ERA  
Morsleben



## 4 Definition der Rechenfälle

### 4.1 Übersicht

Es werden insgesamt 11 Modellrechnungen durchgeführt, unterteilt in vier Serien mit in der Regel je drei Rechenfällen: Ein Rechenfall ohne Einpressung sowie je ein Rechenfall mit einer Einpressung bei Schnitt 5 und bei Schnitt 4:

Rechenfall	$k_f$ Hutgestein	Zerblockung DGL	Einpressung, Ort	Bilanzierungskörper (vgl. Kap. 5.1)
R44_30	$10^{-11}$ m/s	ohne	--	„Schnitt 5 unzerblockt“ „Schnitt 4 unzerblockt“
R44_31			10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 5	„Schnitt 5 unzerblockt“
R44_32			10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4	„Schnitt 4 unzerblockt“
R44_33	$10^{-11}$ m/s	mit	--	„Schnitt 5 zerblockt“ „Schnitt 4 zerblockt“
R44_34			10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 5	„Schnitt 5 zerblockt“
R44_35			10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4	„Schnitt 4 zerblockt“
R44_36	$3 \cdot 10^{-12}$ m/s	mit	--	„Schnitt 5 zerblockt“ „Schnitt 4 zerblockt“
R44_37			10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 5	„Schnitt 5 zerblockt“
R44_38			10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4	„Schnitt 4 zerblockt“
R44_39	$10^{-12}$ m/s	mit	--	„Schnitt 5 zerblockt“ „Schnitt 4 zerblockt“
R44_40			10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4	„Schnitt 4 zerblockt“

In allen Rechenfällen weist die Schichtenfolge DGL eine Transmissivität von  $5 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s auf. In den Rechenfällen R44\_30 bis R44\_32 ist die Schichtenfolge DGL unzerblockt, während in den übrigen Rechnungen („DGL zerblockt“) die Schichtenfolge DGL aus etwa 200 m breiten Blöcken besteht (blau angelegte Zonen in Abbildung 7), die durch in der Fallrichtung verlaufende Bereiche von Hutgestein (rote Zonen in Abbildung 7 mit  $k_f$  Hutgestein) voneinander abgetrennt sind.

Der  $k_f$ -Wert des Hutgesteins wird variiert und beträgt in den Rechnungen R44\_30 bis R44\_35  $10^{-11}$  m/s, in R44\_36 bis R44\_38  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s sowie in R44\_39 und R44\_40  $10^{-12}$  m/s.

Die Parameter sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

### 4.2 Begründung für die Rechenfälle mit $k_f$ Hutgestein $3 \cdot 10^{-12}$ und $10^{-12}$ m/s

Die Rechenfälle R44\_30 bis \_35 werden mit einem auf [6] basierenden  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $10^{-11}$  m/s durchgeführt.

Die Auswirkungen einer geringeren Durchlässigkeit des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s bzw.  $10^{-12}$  m/s werden mit den Rechenfällen R44\_36 bis R44\_40 untersucht.

Die Wahl eines niedrigeren  $k_f$ -Wertes als  $10^{-11}$  m/s begründet sich damit, daß die Resultate der Packertests im Hutgestein ([7], Anlage 10) und die Diskussion der  $k_f$ -Verteilung im Hutgestein ([7], Kap. 5.2.3) zeigen, daß höhere Durchlässigkeiten fast ausschließlich auf den Grenzbereich Hutgestein/Salzspiegel (z.B. Subrosionsrinne

Kaliflöz), die Schichtenfolge DGL sowie auf einzelne Karstbildungen in der näheren Umgebung des Oberkreidetroges beschränkt sind. Das übrige, „intakte“ Hutgestein weist fast durchgehend Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze der verwendeten Testapparatur von  $10^{-11}$  m/s auf.

Die Schichtenfolge DGL und die Subrosionsrinne sind in den durchgeführten Rechenfällen im Modell als gesonderte Strukturen enthalten. Die verkarstete Zone in der Umgebung der Oberkreidetröge ist von geringem Einfluss auf die Fließwege. Es kann damit für das Hutgestein SW und NE der Schichtenfolge DGL von einem geringeren  $k_f$ -Wert als  $10^{-11}$  m/s ausgegangen werden.

## 5 Darstellung der Resultate

### 5.1 Vorgehen bei den Bilanzierungen

In den verschiedenen Rechenfällen ohne oder mit Einpressung soll der Wasserfluss in die und aus der Schichtenfolge DGL bilanziert werden. Dafür werden Bilanzierungskörper definiert, deren Definitionen schematisch in Abbildung 6 dargestellt sind. Die Bilanzierungskörper sind auf die Schichtenfolge DGL begrenzt und enthalten kein intaktes Hutgestein.

Um den Anteil der Flüsse, die nicht mit der Einpressung in Zusammenhang stehen, möglichst gering zu halten, soll die Ausdehnung der Bilanzierungskörper auf jenen Bereich beschränkt werden, in dem zwischen den Verhältnissen ohne und mit Einpressung nennenswerte Unterschiede in der Potentialverteilung und damit im Wasserfluss bestehen.

In den Rechenfällen R44\_30 bis R44\_32 mit durchgehender Schichtenfolge DGL (ohne Zerblockung) wird jener Bereich der Schichtenfolge DGL in die Bilanzierungskörper (Abbildung 8) eingeschlossen, in denen der Potentialunterschied zwischen den Rechenfällen ohne und mit Einpressung mehr als 0,05 m beträgt (Abbildung 9, Abbildung 10).

In den Rechenfällen mit Zerblockung der Schichtenfolge DGL werden die Bilanzierungskörper auf den Zerblockungsabschnitt, in dem die Einpressung erfolgt, beschränkt (Abbildung 7, Abbildung 8).

In den Rechenfällen R44\_34 und R44\_35 (mit zerblockter DGL) ist die Potentialdifferenz zum Rechenfall R44\_33 ohne Einpressung am Außenrande der beiden Bilanzierungskörper größer als 1 m (Abbildung 11, Abbildung 12). Die damit zusammenhängenden Wasserflüsse sind infolge der Zerblockung gering (Tabelle 6, Tabelle 7).

Es werden folgende Bilanzierungskörper verwendet (Abbildung 8):

Einpressstelle	Zerblockung	Längsausdehnung des Bilanzierungskörpers	Bilanzierungskörper
Schnitt 5	nicht zerblockt	ca. 2000 m	„Schnitt 5 unzerblockt“
Schnitt 4	nicht zerblockt	ca. 1500 m	„Schnitt 4 unzerblockt“
Schnitt 5	mit Zerblockung	ca. 270 m	„Schnitt 5 zerblockt“
Schnitt 4	mit Zerblockung	ca. 350 m	„Schnitt 4 zerblockt“

Die Wasserflüsse ohne und mit Einpressung über die Begrenzungsänder des Bilanzierungskörpers werden ausgewiesen. Die Bilanzierung der Wasserflüsse soll es erlauben, die Austragswege des eingepressten Wassers zu identifizieren und, soweit möglich, zu quantifizieren.

Die Bilanzierung erfolgt mit einer Berechnung aller über die Teilflächen des Bilanzierungskörpers erfolgenden Zu- und Abflüsse (Abbildung 6). Die Bilanzierungen werden für die dem jeweiligen Rechenfall entsprechenden Bilanzierungskörper durchgeführt. Für Vergleichszwecke wird ebenfalls der Wasserfluss in den

Bilanzierungskörpern Schnitt 5 und Schnitt 4 für die Rechenfälle ohne Einpressung ausgeführt.

## 5.2 Graphische Darstellungen

Die graphischen Darstellungen der Rechenresultate sollen insbesondere die Abflussverhältnisse der in die Schichtenfolge DGL eingepressten Lösung in der DGL sowie den Wasseraustausch zwischen der Schichtenfolge DGL und dem intakten Hutgestein im SW (K-Klasse 271) und im NE (K-Klasse 272) dokumentieren. Folgende Abbildungen werden i.a. gezeigt:

- Potentialverteilung entlang der Schnitte 5 bzw. 4 (je nach Einpressort)
- Potentialverteilung in der Schichtenfolge DGL im jeweiligen Bilanzierungskörper
- Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL im jeweiligen Bilanzierungskörper
- Grundwasserflüsse zwischen der Schichtenfolge DGL und dem angrenzenden Hutgestein im SW (K-Klasse 271) und im NE (K-Klasse 272)

## 6 Resultate

Die durchgeführten 11 Rechenfälle werden getrennt nach den beiden Einpressorten

- bei Schnitt 5 und
- bei Schnitt 4

in Kapitel 6.1 und Kapitel 6.2 dargestellt.

Für beide Einpressorte Schnitt 5 und Schnitt 4 werden die Potentialverteilung und die Darcyflüsse am Beispiel folgender Rechenfälle dargestellt:

- Rechenfälle R44\_30, \_31 und \_32 ohne und mit Einpressung in die unzerblockte Schichtenfolge DGL mit einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $10^{-11}$  m/s
- Rechenfälle R44\_36, \_37, \_38, für die zerblockte DGL bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s

Anschließend erfolgt für alle 11 Rechenfälle die Bilanzierung und Diskussion der Wasserflüsse durch die jeweiligen Bilanzierungskörper (Tabelle 4 bis Tabelle 7).

Weiter wird die ungefähre Verteilung des eingepressten Wassers auf verschiedene Abflusswege diskutiert (Tabelle 8).

Die berechnete Druckhöhe an den Einpressknoten 198'278 (Schnitt 5) und 199'561 (Schnitt 4) ist für alle Rechenfälle in Tabelle 3 zusammengestellt.

### 6.1 Einpressung im Gebiet von Schnitt 5

Der Aufbau der Allertalzone im Gebiet von Schnitt 5 (Abbildung 2, Abbildung 3) zeichnet sich dadurch aus, daß die Schichtenfolge DGL an der Oberfläche des NE-Abfalls der Hutgesteinsaufwölbung an den Schilfsandstein (A11/248) grenzt. Dieser wird in der gesamten östlichen Talhälfte des Allertals von geringdurchlässigem Oberem Gipskeuper (A10/247) überlagert. Der Aufstieg des aus der NE-Flanke der Hutgesteinsaufwölbung austretenden Wassers an die Oberfläche wird dadurch erschwert.

Der Ausbiss der Schichtenfolge DGL an der Hutgesteinsoberfläche wird im 3D Süßwassermodell von folgenden Einheiten überlagert (Abbildung 8):

- Bilanzierungskörper der unzerblockten DGL (Länge 2.2 km): Steinmergelkeuper A9-K2/246 im SE und NW (3 Abschnitte), Schilfsandstein A11/248 beidseitig von Schnitt 5, Oberer Gipskeuper A10/247 im SE von Schnitt 4 sowie Jura A8-K1/233 im SE und kurzer Abschnitt im NW von Schnitt 5
- Bilanzierungskörper der zerblockten DGL (Länge 0,27 km): Schilfsandstein A11/248 (der seinerseits von Oberem Gipskeuper überlagert wird)

Die detaillierten Bilanzierungen der Wasserflüsse durch den Bilanzierungskörper Schnitt 5 sind für die Rechenfälle R44\_30, \_31, \_33, \_34, \_36, \_37 in Tabelle 5 enthalten. Die wichtigsten Werte der Bilanzierungen sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

## 6.1.1 Potentialverteilung und Darcyflüsse

### 6.1.1.1 DGL ohne Zerblockung, $k_f$ Hutgestein $10^{-11}$ m/s: R44\_30, R44\_31 (ohne und mit Einpressung)

Die Potentialverteilung im Rechenfall **R44\_30** (ohne Einpressung) entlang des NE-SW verlaufenden Schnittes 5 ist in Abbildung 13 gezeigt; jene entlang der unzerblockten DGL geht aus Abbildung 14 hervor.

Die Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL ist sehr flach. Der Wertebereich der berechneten Potentiale beträgt innerhalb der Bilanzierungskörper nur wenige Meter.

Im Rechenfall **R44\_31** mit einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  bildet sich um die Einpressstelle eine Zone erhöhten Potentials (Abbildung 16, Abbildung 17). Der Wertebereich der berechneten Potentiale innerhalb des Bilanzierungskörpers Schnitt 5 nimmt von wenigen Metern in R44\_30 auf 30 m in R44\_31 zu.

Die Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL sind im Rechenfall **R44\_30** (Abbildung 15) infolge der flachen Potentialverteilung gering und variieren zwischen  $10^{-12}$  m/s und  $4 \cdot 10^{-10}$  m/s. Im SE-Teil des Bilanzierungskörpers erfolgt ein Fluss von SE nach NW, im NW-Teil von NW nach SE. In den zentralen Zonen herrscht ein geringer Aufwärtsfluss mit In- und Exfiltration entlang der Ausbissfläche DGL an der Oberfläche des Hutgesteins.

Die Darcyflüsse nehmen in **R44\_31** auf  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s bis  $2 \cdot 10^{-9}$  m/s zu (Abbildung 20).

Der Wasserfluss in der DGL erfolgt radial ab der Einpressstelle und der Subrosionsrinne. Der Abfluss am Top DGL erfolgt in den Steinmergelkeuper im NW und SE (mit  $3 \cdot 10^{-12}$  bis  $5 \cdot 10^{-11}$  m/s), in den Oberen Gipskeuper (mit  $3 \cdot 10^{-12}$  bis  $3 \cdot 10^{-11}$  m/s), in den Schilfsandstein (mit  $5 \cdot 10^{-11}$  bis  $10^{-10}$  m/s) sowie in den Jura (mit  $3 \cdot 10^{-10}$  im NW,  $5 \cdot 10^{-11}$  m/s im SW).

Die mit 1,5% sehr geringen Abflüsse über den NW-Rand des Bilanzierungskörpers treten nach der Darstellung der Darcyflüsse in das ungestörte Hutgestein aus und gelangen nicht entlang des Weges W1 direkt aus der DGL in die Oberkreide.

Der Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem angrenzenden Hutgestein ist im Rechenfall **R44\_30** ohne Einpressung äußerst gering und wird hier nicht dokumentiert. Im Rechenfall **R44\_31** mit Einpressung weisen die Zuflüsse zur und die Abflüsse aus der Schichtenfolge DGL aus dem und in das Hutgestein folgende Werte auf (Abbildung 18, Abbildung 19):

R44-31, mit Einpressung	Darcyflüsse	
	Zuflüsse <sup>(1)</sup>	Abflüsse <sup>(1)</sup>
Hutgestein im SW (271)	0 – 0,012 mm/a	0 – 0,25 mm/a
Hutgestein im NE (272)	0 – 0,02 mm/a	0 – 0,04 mm/a

(1) Die Werte der Tabelle sind teilweise kleiner als jene, die den angeführten Abbildungen entnommen werden können. Die tabellierten Werte sind detaillierteren, dem Bericht nicht beigelegten Abbildungen entnommen worden.

Wie Abbildung 18 zeigt, treten erhöhte Exfiltrationen (0-0,25 mm/a) aus der DGL in das Hutgestein im SW (K-Klasse 271) entlang der Einpresslinie an der Basis auf, die durch die Subrosionsrinne gebildet wird. Im restlichen Teil des zentralen Gebietes sind die Abflüsse nach dem Hutgestein im SW geringer (0-0,04 mm/a). Entlang des Süd- und des Nordrandes kommen geringe Zuflüsse (0-0,01 mm/a) aus dem Hutgestein in die DGL vor.

In das im NE an die DGL angrenzende Hutgestein (K-Klasse 272) erfolgen aus der Subrosionsrinne mit 0-0,04 mm/a deutlich geringere Abflüsse als nach SW. Geringe Zuflüsse zur DGL (0-0,01 mm/a) aus dem Hutgestein (K-Klasse 272) im NE kommen vor allem im SE vor (Abbildung 19).

#### 6.1.1.2 DGL mit Zerblockung, $k_f$ Hutgestein $3 \cdot 10^{-12}$ m/s: R44\_36, R44\_37 (ohne und mit Einpressung)

Die Potentialverteilung im Rechenfall **R44\_36** (ohne Einpressung, jedoch mit Zerblockung der Schichtenfolge DGL) entlang des NE-SW verlaufenden Schnittes 5 wird in Abbildung 21 gezeigt. Die Potentialverteilung entlang des Bilanzierungskörpers (des DGL-Abschnittes mit der Einpressstelle Schnitt 5, vgl. Abbildung 8) geht aus Abbildung 22 hervor.

Die Potentialverteilung im Bilanzierungskörper ist ohne Einpressung erneut sehr flach; der Wertebereich der berechneten Potentiale beträgt innerhalb des DGL-Bereiches des Bilanzierungskörpers etwa 2 m (Abbildung 22).

Im Rechenfall **R44\_37** mit einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  bildet sich an der Einpressstelle und entlang der Subrosionsrinne ein mit 169 mNN gegenüber R44\_36 um gut 50 m höheres Potential aus (Abbildung 26, Abbildung 27). Der Potentialbereich liegt innerhalb der Schichtenfolge DGL des Bilanzierungskörpers Schnitt 5 zwischen 169 und 118 mNN; die Potentialdifferenz zwischen Basis und Top DGL ist mit rund 50 m doppelt so groß wie im Rechenfall R44\_31 mit unzerblockter Schichtenfolge DGL (Abbildung 17).

Die Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL sind im Rechenfall **R44\_36** infolge der flachen Potentialverteilung gering und variieren zwischen  $6 \cdot 10^{-13}$  m/s und  $10^{-10}$  m/s (Abbildung 23). Die Flüsse erfolgen von SE nach NW und treten im NW durch die Zerblockung aus dem Bilanzierungskörper aus.

Die Darcyflüsse nehmen in **R44\_37** auf  $2,5 \cdot 10^{-12}$  m/s bis  $2 \cdot 10^{-9}$  m/s zu (Abbildung 28). Der Abfluss erfolgt von der Einpresslinie (Subrosionsrinne) im Wesentlichen zum Top der Schichtenfolge DGL.

Der Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem angrenzenden Hutgestein ist im Rechenfall R40\_36 ohne Einpressung äußerst gering (Abbildung 24, Abbildung 25).

Bei einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  nehmen im Rechenfall **R40\_37** (Abbildung 29, Abbildung 30) die Abflüsse aus der Schichtenfolge DGL in das Hutgestein stark zu.

<b>R44_36</b> , ohne Einpressung	Zuflüsse	Abflüsse
Hutgestein im SW (271)	0 – 0,001 mm/a	0 – 0,005 mm/a
Hutgestein im NE (272)	0 – 0,0012 mm/a	0 – 0,0024 mm/a
<b>R44_37</b> , mit Einpressung	Zuflüsse	Abflüsse
Hutgestein im SW (271)	0 – 0,01 mm/a	0 – 0,20 mm/a
Hutgestein im NE (272)	0 – 0,02 mm/a	0 – 0,06 mm/a

Entlang der Einpresslinie (Subrosionsrinne) nehmen die Abflüsse nach SW (K-Klasse 271) auf bis  $0,20 \text{ mm/a}$ , nach NE (K-Klasse 272) auf  $0,06 \text{ mm/a}$  zu. Die Zonen hoher Exfiltrationsraten aus der Schichtenfolge DGL konzentrieren sich auf die Umgebung der Einpressstelle und der Subrosionsrinne.

## 6.1.2 Bilanzierungen zur Einpressstelle Schnitt 5

### 6.1.2.1 Bilanzierungsfehler und Direkteinpressung

Die detaillierten Bilanzierungen der Wasserflüsse durch den Bilanzierungskörper Schnitt 5 für die Rechenfälle R44\_30, \_31, \_33, \_34, \_36, \_37 gehen aus Tabelle 4 hervor.

Tabelle 4 enthält die Fließraten aller im Bilanzierungskörper unterschiedenen Zu- und Abflüsse (Abbildung 6) sowie die Differenz zwischen der Summe aller Zuflüsse und der Summe aller Abflüsse (sogenannte „Bilanzierungsdifferenz“).

Die einzelnen Flüsse sind

- 1 Einpressung in Einpressstelle
- 2 Fluss über den Südostrand
- 3 Fluss über den Nordwestrand
- 4 Fluss über den Top DGL in/aus Deckgebirge
- 5 Fluss in das/aus dem intakten Hutgestein im SW
- 6 Fluss in das/aus dem intakten Hutgestein im NE

7c Direkte Einpressung aus der Einpressstelle und der Subrosionsrinne in das intakte Hutgestein (interpretiert in „Bilanzierungsdifferenz“, s.u.)

Werden die Teilbilanzen (In- und Exfiltrationen) 1 bis 6 der Tabelle 4 summiert, so ergeben sich folgende Fälle:

- Summe = 0: keine rechnerische Bilanzierungsdifferenz



- Positiver Wert: Ein positiver Wert der Bilanzierungsdifferenz heißt, daß mehr zu- als abfließendes Wasser ermittelt wurde.
- Negativer Wert: Ein negativer Wert der Bilanzierungsdifferenz heißt, daß mehr ab- als zufließendes Wasser ermittelt wurde.

Die Bilanzierungsdifferenz beträgt in den Rechenfällen ohne Einpressung R44\_30, R44\_33 und R44\_36 zwischen  $+0,03 \text{ m}^3/\text{a}$  und  $+0,07 \text{ m}^3/\text{a}$  und ist damit betragsmäßig gering. Sie entspricht einem numerischen Fehler in der Bilanzberechnung.

In den Rechenfällen mit Einpressung (R44\_31, R44\_34 und R44\_37) ist die Bilanzierungsdifferenz, d.h. die Summe der Teilbilanzen 1 bis 6, mit  $-1,11 \text{ m}^3/\text{a}$  bis  $-2,08 \text{ m}^3/\text{a}$  um ein vielfaches größer. Eine negative Bilanzierungsdifferenz stellt einen nicht identifizierten Abfluss dar. Die Bilanzierungsdifferenz in den Rechnungen mit Einpressung weist systematisch hohe negative Werte auf, die nicht mehr auf Rechenungenauigkeiten zurückgeführt werden können.

Die Erhöhung der Bilanzierungsdifferenz steht mit der Modelltopologie in Zusammenhang: An der Einpressstelle und entlang der Subrosionsrinne weisen (wie überall entlang der DGL) die aus 2D Elementen aufgebaute Schichtenfolge DGL und das angrenzende Hutgestein aus 3D Elementen gemeinsame Knoten auf. Dadurch erfolgt im Einpressknoten eine Einpressung sowohl in die Schichtenfolge DGL (2D Elemente) als auch in die angrenzenden 3D Hutgesteinselemente. In der Bilanz ist diese Einpressung in der „Bilanzierungsdifferenz“ enthalten. Die über den in den Rechnungen ohne Einpressung berechneten Bilanzierungsfehler von  $0,03$  bis  $0,07 \text{ m}^3/\text{a}$  hinausgehende Differenz ist als Direkteinpressungsrate aus dem Einpressknoten bzw. der Subrosionsrinne in das Hutgestein im Hangenden und Liegenden der DGL aufzufassen.

Bei Vernachlässigung des verhältnismäßig geringen Bilanzierungsfehlers macht die Direkteinpressung in den Rechenfällen R44\_31 und R44\_34 rund 11% der Einpressung aus ( $k_f$  Hutgestein =  $10^{-11} \text{ m/s}$ ) und steigt in R44\_37 bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  auf 20% an, was dem physikalischen Verständnis widerspricht.

In den Einpressungsrechnungen mit einer Hutgesteinsdurchlässigkeit von  $10^{-11} \text{ m/s}$  beträgt die Bilanzierungsdifferenz, die zum großen Teil auf die „Direkteinpressung“ zurückzuführen ist,  $1,1$  bis  $1,4 \text{ m}^3/\text{a}$ . Nach analytischen Rechnungen ist eine Direkteinpressung von  $1,5$  bis  $2 \text{ m}^3/\text{a}$  entlang der  $200 \text{ m}$  langen Subrosionsrinne zu erwarten. Die numerischen Simulationen mit  $k_f 10^{-11} \text{ m/s}$  bilden diese Werte ungefähr ab.

Bei geringeren  $k_f$ -Werten des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  und  $10^{-12} \text{ m/s}$  nimmt die Bilanzierungsdifferenz wider Erwarten auf Werte von  $1,7$  bis  $2,1 \text{ m}^3/\text{a}$  zu, während gemäß den analytischen Rechnungen eine Abnahme der Direkteinpressung auf Werte kleiner als  $1 \text{ m}^3/\text{a}$  zu erwarten wäre.

Diese Unterschiede zwischen den analytischen und den numerischen Rechnungen sind auf bei Verstärkung des  $k_f$ -Kontrastes zunehmende numerische Ungenauigkeiten entlang des Einpressungsstranges zurückzuführen, an dem, wie oben erwähnt, 1D-, 2D- und 3D-Elemente mit hohen  $k_f$ -Kontrasten zusammentreffen.

Die berechnete Bilanzierungsdifferenz stellt daher einen „Mischwert“ dar, der aus einem Anteil „numerischer Bilanzierungsfehler“ und einem Anteil „Direkteinpressung“ besteht.

Da die Bilanzierungsdifferenz in den Rechnungen mit Einpressung zu einem großen Teil ( $k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$ ,  $10^{-12} \text{ m/s}$ ) oder größtenteils ( $10^{-11} \text{ m/s}$ ) auf die Direktein-

pression am Einpresspunkt und aus der Subrosionsrinne in das Hutgestein zurückgeht, wird in den nachfolgend diskutierten Bilanzierungen die Bilanzierungsdifferenz als Direkteinpressung zum Wasseraustausch DGL-Hutgestein hinzuge-rechnet (somit wird der Gesamtabfluss aus der Einpressung in das Hutgestein bei  $k_f$ -Werten von  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s und  $10^{-12}$  m/s überschätzt), die daraus resultierende Verteilung der Zu- und Abflüsse auf die Teilgebiete der Bilanzierungskörper ist in Tabelle 5 zusammengestellt.

Bei der Diskussion der Resultate wird an geeigneter Stelle auf die Überschätzung des Gesamtabflusses in das Hutgestein bei  $k_f$ -Werten von  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s und  $10^{-12}$  m/s hingewiesen werden.

Die wichtigsten Bilanzierungswerte für die Rechnungen mit Einpressstelle bzw. Bilanzierungskörper Schnitt 5 sind in Tabelle 6 zu finden.

#### 6.1.2.2 $k_{f \text{ Hutgestein}} 10^{-11}$ m/s, ohne Zerblockung: R44\_30, R44\_31 (ohne und mit Einpressung)

Bei einer Einpressrate von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  nimmt im Rechenfall **R44\_31** mit unzerblockter Schichtenfolge DGL der Gesamtzu- bzw. -abfluss im Bilanzierungskörper von  $3,87 \text{ m}^3/\text{a}$  ohne Einpressung (R44\_30) auf  $12,39 \text{ m}^3/\text{a}$  zu (Tabelle 6). Die Umsatz-zunahme ist damit etwas geringer als die zusätzliche Einpressung. Der Anteil der Einpressung an der Gesamtin- bzw. -exfiltration beträgt rund 80%.

Bei ungefähr gleichbleibendem Zufluss aus dem Hutgestein in die DGL von rund  $1,5 \text{ m}^3/\text{a}$  nimmt der Abfluss aus der DGL in das Hutgestein bei einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  markant von  $1,79 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $7,76 \text{ m}^3/\text{a}$  zu. Von den Abflüssen aus der DGL in das Hutgestein erfolgen 84% in das Hutgestein im SW (K-Klasse 271) und damit nur rund 16% in das Hutgestein im NE. Der Anteil des Wasserabflusses aus der DGL in das Hutgestein am Gesamtabfluss beträgt 63%.

Entlang der Oberkante der DGL erfolgt eine Abnahme des Zuflusses von  $1,73 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $0,64 \text{ m}^3/\text{a}$ ; der Abfluss erfährt eine deutliche Zunahme von  $1,83 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $4,38 \text{ m}^3/\text{a}$ . Der Anteil des Wasserabflusses aus der DGL an der Oberkante der Schichtenfolge DGL am Gesamtabfluss beträgt 35%.

Die Zu- und Abflüsse am Südost- und Nordwestrand der Schichtenfolge DGL sind in beiden Rechenfällen gering ( $\leq 10\%$  ohne Einpressung,  $\leq 3\%$  mit Einpressung).

#### 6.1.2.3 $k_{f \text{ Hutgestein}} 10^{-11}$ m/s, mit Zerblockung: R44\_33, R44\_34 (ohne und mit Einpressung)

Ohne Einpressung betragen die Gesamtzu- und -abflüsse im Bilanzierungskörper Schnitt 5 bei zerblockter Schichtenfolge DGL (R44\_33) lediglich  $0,33 \text{ m}^3/\text{a}$ , mehr als zehnmal weniger als ohne Zerblockung. Die Ursache für den geringen Wert liegt in der Zerblockung der Schichtenfolge DGL und der geringeren Ausdehnung des Bilanzierungskörpers.

Bei einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  nimmt bei zerblockter Schichtenfolge DGL in **R44\_34** der Gesamtzu- bzw. -abfluss von  $0,33 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $10,23 \text{ m}^3/\text{a}$  zu. Die Umsatzzunahme entspricht damit praktisch der zusätzlichen Einpressung.

Bei den Einzelflüssen ergeben sich in **R44\_34** mit einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  gegenüber R44\_33 folgende Änderungen:

- Die Abflüsse aus der Schichtenfolge DGL in das Hutgestein erfahren eine starke Zunahme von  $0,31 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $7,22 \text{ m}^3/\text{a}$ . Die Zuflüsse aus dem Hutgestein bleiben wie in R44\_33 gering ( $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$ ). Der Anteil der Abflüsse nach SW (K-Klasse 271) am Gesamtabfluss aus der DGL in das Hutgestein beträgt mit Einpressung 73,5%; der Anteil des gesamten Abflusses aus der DGL in das Hutgestein am Gesamtabfluss beläuft sich auf rund 71%.
- Der Zufluss am **Top** der Schichtenfolge DGL geht von  $0,21 \text{ m}^3/\text{a}$  in R44\_33 auf  $0 \text{ m}^3/\text{a}$  zurück, während der Abfluss von  $0 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $2,62 \text{ m}^3/\text{a}$  zunimmt (rund 25% des Gesamtabflusses).
- Am NW- und SE-Rand bleiben die Zu- und Abflüsse gering (wenige %).

#### 6.1.2.4 $k_f$ Hutgestein $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$ , mit Zerblockung: R44\_36 und R44\_37 (ohne und mit Einpressung)

Bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  und zerblockter Schichtenfolge DGL zeigen die Rechenfälle gegenüber den vergleichbaren Fällen mit  $k_f = 10^{-11} \text{ m/s}$  folgende Änderungen der Wasserflüsse im Bilanzierungskörper:

Geringe Abnahme des Gesamtzu- bzw. -abflusses, d.h. des Gesamtumsatzes

Gesamtumsatz ohne Einpressung		
$k_f = 10^{-11} \text{ m/s}$	R44_33	$0,333 \text{ m}^3/\text{a}$
$k_f = 3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$	R44_36	$0,160 \text{ m}^3/\text{a}$
Gesamtumsatz mit Einpressung		
$k_f = 10^{-11} \text{ m/s}$	R44_34	$10,229 \text{ m}^3/\text{a}$
$k_f = 3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$	R44_37	$10,179 \text{ m}^3/\text{a}$

Mit Einpressung geht der Anteil des Abflusses aus der DGL in das Hutgestein von 71% bei  $k_f = 10^{-11} \text{ m/s}$  auf etwa 40%<sup>3</sup> bei  $k_f = 3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  zurück. Gleichzeitig erhöht sich der Abfluss an der Oberkante der Schichtenfolge DGL von 26% auf 47%. Die Flüsse über den zerblockten Süd- und Nordrand sind durchweg sehr gering (rund 4%).

		DGL nach HG	Top DGL	NW- u. SE-Rand
Abflüsse mit Einpressung				
$k_f = 10^{-11} \text{ m/s}$	R44_34	71%	26%	4%
$k_f = 3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$	R44_37	49% (bzw. ~40% <sup>(3)</sup> )	47% (bzw. ~55% <sup>(3)</sup> )	4%

Die Verringerung der Hutgesteinsdurchlässigkeit auf  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  bewirkt damit eine Kanalisierung des Wasserflusses in der DGL: Der Abfluss aus der DGL in das angrenzende Hutgestein nimmt ab, der Abfluss am Top der Schichtenfolge DGL nimmt um denselben %-Satz zu.

#### 6.1.2.5 Schlussfolgerungen zum Einpressstelle Schnitt 5

(a) Gesamtumsatz (Zu- bzw. Abflüsse)

In der unzerblockten DGL mit einem Bilanzierungskörper von 2.2 km Länge beträgt bei einer Hutgesteinsdurchlässigkeit von  $10^{-11} \text{ m/s}$  der Gesamtumsatz ohne Einpres-

<sup>3</sup> in Klammern: wahrscheinlicher Wert, vgl. Kap. 6.1.2.1

sung rund  $4 \text{ m}^3/\text{a}$ . Bei Zerblockung der DGL (Länge Bilanzierungskörper  $0,3 \text{ km}$ ) nimmt er ungefähr proportional auf rund  $0,3 \text{ m}^3/\text{a}$  ab und verringert sich bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  um weitere 50%.

Mit Einpressung ist der Gesamtumsatz bei unzerblockter DGL und einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $10^{-11} \text{ m/s}$  mit rund  $12,5 \text{ m}^3/\text{a}$  um 25% höher als die Einpressung. Bei zerblockter DGL ist der gesamte Zu- bzw. Abfluss nur wenig größer als die Einpressung.

#### (b) Abflüsse

Bei einer Einpressung an der Basis des Hutgesteins erfolgen Abflüsse aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein, direkt in das Deckgebirge sowie über den oberen Rand, den NW- und SE-Rand des Bilanzierungskörpers.

Der Abfluss aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein ist in allen Rechenfällen mit Einpressung, trotz einer Abnahme beim Übergang der Hutgesteinsdurchlässigkeit von  $10^{-11} \text{ m/s}$  auf  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$ , mit 40-70% relativ hoch. Ein Großteil (rund 75%) des in das intakte Hutgestein austretenden Wassers fließt nach SW zum Oberkreidetrog.

Infolge der beträchtlichen Abflüsse in das intakte Hutgestein sind die direkten Abflüsse aus der DGL in das Deckgebirge mit 35-60% entsprechend begrenzt und erreichen auch bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  nur rund 55%.

Die Abflüsse über den NW- und SE-Rand des Bilanzierungskörpers sind in allen Rechenfällen mit 2-4% sehr gering.

Die Abflüsse des eingepressten Wassers aus der Schichtenfolge DGL erfolgen im wesentlichen in das angrenzende intakte Hutgestein und in das überliegende Deckgebirge (Keuper) und ermöglichen damit eine detailliertere Modellierung mit vertikalen 2D-Schnitten quer zum Allertal (Einfallrichtung der Schichtenfolge DGL).

## 6.2 **Einpressung im Gebiet von Schnitt 4**

Im Gebiet von Schnitt 4 (Abbildung 2, Abbildung 3) mündet die Schichtenfolge DGL an der Oberfläche des NE-Abfalls der Hutgesteinsaufwölbung oberhalb des Gipskeuper in den Steinmergelkeuper (A9-K2/246) und nicht wie in Schnitt 5 in den Schilfsandstein, der durch gering durchlässige Steinmergelkeuper (A9-K2/246) überdeckt ist. Der Aufstieg des aus der NE-Flanke der Hutgesteinsaufwölbung austretenden Wassers an die Oberfläche wird dadurch gegenüber der Situation in Schnitt 5 erleichtert.

Der Ausbiss der Schichtenfolge DGL an der Hutgesteinsoberfläche wird im 3D Süßwassermodell von folgenden Einheiten überlagert (Abbildung 8):

- Bilanzierungskörper der unzerblockten DGL (Länge  $1,6 \text{ km}$ ): Über der Einpressstelle Steinmergelkeuper A9-K2/246, im NW Jura A8-K1 und Untere Alleringerslebener Schichten A7/223, im SE Oberer Gipskeuper A10/247, Jura A8-K1/233 und Schilfsandstein A11/248

- Bilanzierungskörper der zerblockten DGL (Länge 0,35 km): Steinmergelkeuper A9-K2/246

Die detaillierten Bilanzierungen der Wasserflüsse durch den Bilanzierungskörper Schnitt 4 sind für die Rechenfälle R44\_30, \_32, \_33, \_35, \_36, \_38, \_39 und \_40 in Tabelle 5 enthalten. Die wichtigsten Werte der Bilanzierungen der Rechenfälle mit Einpressort Schnitt 4 sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Die resultierenden Druckhöhen am Einpressknoten bei Schnitt 4 (199'561) gehen aus Tabelle 3 hervor.

## 6.2.1 Potentialverteilung, Darcyflüsse

### 6.2.1.1 DGL ohne Zerblockung, $k_f$ Hutgestein $10^{-11}$ m/s: R44\_30, R44\_32 (ohne und mit Einpressung)

Die Potentialverteilung im Rechenfall **R44\_30** (ohne Einpressung) entlang des NE-SW verlaufenden Schnitt 4 ist in Abbildung 31 gezeigt, die Potentialverteilung entlang der unzerblockten DGL geht aus Abbildung 14 hervor. Die Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge ist sehr flach, der Wertebereich der berechneten Potentiale beträgt innerhalb des Bilanzierungskörpers nur wenige Meter.

Im Rechenfall **R44\_32** mit einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  bei Schnitt 4 bildet sich um die Einpressstelle eine Zone erhöhten Potentials aus (Abbildung 32, Abbildung 33), der Wertebereich der berechneten Potentiale innerhalb des Bilanzierungskörpers Schnitt 4 nimmt von wenigen Metern in R44\_30 auf etwa 30 m zu.

Die Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL sind im Rechenfall R44\_30 infolge der flachen Potentialverteilung gering und variieren zwischen  $10^{-12}$  m/s und  $4 \cdot 10^{-10}$  m/s (Abbildung 15). Sie nehmen in R44\_32 bis auf  $4 \cdot 10^{-9}$  m/s zu (Abbildung 36).

Der Abfluss am Top DGL erfolgt in den Jura ( $2 \cdot 10^{-11}$  bis  $5 \cdot 10^{-12}$  m/s), den Steinmergelkeuper und die Unteren Alleringerslebener Schichten (mit  $5 \cdot 10^{-11}$  bis  $10^{-10}$  m/s), in den Oberen Gipskeuper (mit  $5 \cdot 10^{-11}$  bis  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s) sowie in den an den Gipskeuper anschließenden Jura ( $5 \cdot 10^{-10}$  m/s).

Der Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem angrenzenden Hutgestein ist im Rechenfall **R44\_30** ohne Einpressung äußerst gering und wird hier nicht dokumentiert. Im Rechenfall **R44\_32** liegen die Zuflüsse zur Schichtenfolge DGL zwischen 0 mm/a und 0,01 mm/a, die Abflüsse zwischen 0 und 0,20 mm/a (vgl. Abbildung 34, Abbildung 35).

<b>R44_32</b>	Zuflüsse	Abflüsse
Hutgestein im SW (271)	0 – 0,01 mm/a	0 – 0,20 mm/a
Hutgestein im NE (272)	0 – 0,012 mm/a	0 – 0,06 mm/a

Die hohen Abflusswerte nach SW (K-Klasse 271) konzentrieren sich auf die Umgebung des Einpressortes und der Subrosionsrinne; geringe Zuflüsse erfolgen im NW über 1/5 des Bilanzierungskörpers. Nach NE (K-Klasse 272) ist der Abfluss deutlich geringer und auf den NW Teil begrenzt (2/3 des Bilanzierungskörpers).

### 6.2.1.2 $k_f$ Hutgestein $3 \cdot 10^{-12}$ m/s, mit Zerblockung: R44\_36, R44\_38 (ohne und mit Einpressung)

Die Potentialverteilung im Bilanzierungskörper ist im Rechenfall R44\_36 ohne Einpressung, jedoch mit Zerblockung der Schichtenfolge ebenfalls sehr flach; der Wertebereich der berechneten Potentiale beträgt innerhalb des DGL-Bereiches des Bilanzierungskörpers etwa 2 m.

Im Rechenfall R44\_38 mit einer Einpressung von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  bei Schnitt 4 bildet sich um die Einpressstelle eine Zone erhöhten Potentials aus (Abbildung 37, Abbildung 38), der Wertebereich der berechneten Potentiale innerhalb des DGL-Anteils des Bilanzierungskörpers nimmt von 2 m in R44\_36 auf 65 m zu (Abbildung 38) und ist damit doppelt so groß wie im Rechenfall R44\_32 mit unzerblockter Schichtenfolge DGL.

Die Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL sind im Rechenfall R44\_36 infolge der flachen Potentialverteilung gering und variieren zwischen  $5 \cdot 10^{-13}$  m/s und  $10^{-10}$  m/s. Sie nehmen in R44\_38 bis auf  $2,5 \cdot 10^{-9}$  m/s zu (Abbildung 39). Der Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem angrenzenden Hutgestein ist im Rechenfall R44\_36 ohne Einpressung äußerst gering.

Im Rechenfall R44\_38 liegen die Zuflüsse zur Schichtenfolge DGL zwischen 0 und 0,03 mm/a, die Abflüsse aus der DGL in das Hutgestein zwischen 0 und 0,12 mm/a (Abbildung 40, Abbildung 41); die Abflüsse nach SW sind erneut deutlich größer als jene nach NE.

R44_38 , mit Einpressung	Zuflüsse	Abflüsse
Hutgestein im SW (271)	0 – 0,015 mm/a	0 – 0,12 mm/a
Hutgestein im NE (272)	0 – 0,03 mm/a	0 – 0,03 mm/a

Die Abflüsse in das Hutgestein nach SW erfolgen über die gesamte Höhenstreckung, gegen NE über die unteren 3/4 der Schichtenfolge DGL. Zuflüsse aus dem Hutgestein erfolgen von NE im oberen Viertel der Schichtenfolge DGL. Infolge der irrtümlich unvollständigen Zerblockung entlang des SE Randes stellt sich ein merklicher Abfluss im Streichen der Schichtenfolge DGL gegen SE ein, und die Wasserabflüsse aus dem Hutgestein nach SW und NE erreichen nicht die Werte der Rechnungen mit Schnitt 5. Auch gehen die Abflüsse aus der DGL in das Hutgestein bei einer  $k_f$ -Verringerung stärker zurück als in den Rechnungen mit Schnitt 5. Dies illustriert die deutliche Sensitivität der Resultate auf die mehr oder weniger vollständige Zerblockung.

## 6.2.2 Bilanzierungen zur Einpressstelle Schnitt 4

Die Bilanzierungen für die Einpressstelle Schnitt 4 sind in Tabelle 4 (mit ausgewiesenen Bilanzierungsdifferenzen), Tabelle 5 (nach Aufteilung der Bilanzierungsdifferenzen) und Tabelle 7 zusammengestellt.

### 6.2.2.1 Bilanzierungsdifferenzen

Die Bilanzierungsdifferenzen für die angeführten Rechenfälle gehen aus Tabelle 4 hervor. Auf die Bilanzierungsdifferenzen und ihre Bedeutung ist bereits in Kapitel 6.1.2.1 eingegangen worden.

#### 6.2.2.2 $k_f$ Hutgestein $10^{-11}$ m/s, ohne und mit Zerblockung: R44\_30 und R44\_33 (ohne Einpressung)

Im Rechenfall **R44\_30** betragen die Zuflüsse in und die Abflüsse aus dem Bilanzierungskörper Schnitt 4 der unzerblockten DGL  $2,61 \text{ m}^3/\text{a}$ .

Bei einer Zerblockung des Hutgesteins nimmt im Rechenfall **R44\_33** der Wasserumsatz im Bilanzierungskörper Schnitt 4 – der allerdings eine geringere Ausdehnung aufweist als jener im Rechenfall **R44\_30** – um rund den Faktor 4 auf  $0,64 \text{ m}^3/\text{a}$  ab.

#### 6.2.2.3 $k_f$ Hutgestein $10^{-11}$ m/s, ohne Zerblockung: R44\_32 mit Einpressung

Bei einer Einpressrate von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  beträgt im Rechenfall mit unzerblockter Schichtenfolge **R44\_32** der Gesamtzu- bzw. -abfluss im Bilanzierungskörper Schnitt 4  $11,22 \text{ m}^3/\text{a}$ . Die Umsatzzunahme gegenüber **R44\_30** (ohne Einpressung) ist damit etwas geringer als die Einpressrate.

Die Abflüsse erfolgen zu 76% in das Hutgestein (davon 87% nach SW) und zu 23% am Top der Schichtenfolge DGL in den Steinmergelkeuper. Die Abflüsse über den N- und S-Rand sind gering (1%). Die Zuflüsse zusätzlich zur Einpressung von  $1,22 \text{ m}^3/\text{a}$  erfolgen zu zwei Dritteln über den Top der Schichtenfolge DGL, zu einem Drittel aus dem Hutgestein.

#### 6.2.2.4 $k_f$ Hutgestein $10^{-11}$ m/s, mit Zerblockung: R44\_35 mit Einpressung

Bei einer Einpressrate von  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  beträgt im Rechenfall mit zerblockter Schichtenfolge **R44\_35** der Gesamtzu- bzw. -abfluss des Bilanzierungskörpers  $10,46 \text{ m}^3/\text{a}$ . Der Gesamtzu- bzw. -Abfluss ist nur geringfügig größer als die Einpressung.

Die Zuflüsse zusätzlich zur Einpressung sind mit  $0,46 \text{ m}^3/\text{a}$  sehr gering und erfolgen hauptsächlich aus dem Hutgestein. Die Abflüsse erfolgen zu 78% in das Hutgestein, zu 12% am Top DGL in den Steinmergelkeuper und zu 10% am SE-Rand.

Bei (unvollständig) zerblockter Schichtenfolge DGL ist bei einer Einpressung in Schnitt 4 (**R44\_35**) der Abfluss am Top der Schichtenfolge DGL kleiner und der Abfluss aus der Schichtenfolge DGL in das Hutgestein größer als im Rechenfall **R44\_34** mit einer Einpressung in Schnitt 5.

#### 6.2.2.5 Kleinere Hutgesteinsdurchlässigkeit, mit Zerblockung, ohne und mit Einpressung

Die Rechnungen mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten von  $10^{-11}$  m/s (**R44\_33**, **R44\_35**) über  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s (**R44\_36**, **R44\_38**) nach  $10^{-12}$  m/s (**R44\_39**, **R44\_40**) zeigen folgende Gesetzmäßigkeiten:

- Ohne Einpressung: geringer Gesamtzu- und -Abfluss, Abnahme von  $0,64 \text{ m}^3/\text{a}$  um den Faktor 3 auf  $0,20 \text{ m}^3/\text{a}$

- Mit Einpressung geringe Abnahme des Gesamtzu- bzw. -abflusses von  $10,46 \text{ m}^3/\text{a}$  auf  $10,28 \text{ m}^3/\text{a}$ . Der Gesamtabfluss ist immer etwas größer als die Einpressrate.
- Die prozentuale Aufteilung der Teilabflüsse verschiebt sich bei verringerter Hutgesteinsdurchlässigkeit wie folgt:

		DGL→HG	Top DGL	SE-Rand
Mit Einpressung				
$k_f 10^{-11} \text{ m/s}$	R44_35	77,9%	12,4%	9,6% (1)
$k_f 3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$	R44_38	57,2% bzw. ~50% (2)	27,2% bzw. ~35% (2)	15,6% (1)
$k_f 10^{-12} \text{ m/s}$	R44_40	39,5% bzw. ~40% (2)	41,0% bzw. ~50% (2)	19,5% (1)

(1) Auswirkung der unvollständigen Zerblockung entlang des SE Randes des Bilanzierungskörper Schnitt 4  
 (2) in Klammern: wahrscheinlicher Wert, vgl. Kap. 6.1.2.1

- Mit Einpressung ist der Abfluss aus der Schichtenfolge DGL in das Hutgestein anteilmäßig hoch (78% bei  $10^{-11} \text{ m/s}$ ) und geht bei geringerer Durchlässigkeit des Hutgesteins ( $10^{-12} \text{ m/s}$ ) auf rund 30% zurück. Der Abfluss am Top DGL ist prozentual geringer als in den Rechnungen zum Schnitt 5 und nimmt bei geringerer Durchlässigkeit des Hutgesteins deutlich zu; bei  $10^{-12} \text{ m/s}$  erreicht er denselben Anteil wie die Abflüsse aus der DGL in das Hutgestein. Die Abflüsse am SE-Rand nehmen von 10% bei  $10^{-11} \text{ m/s}$  auf 20% bei  $10^{-12} \text{ m/s}$  zu.
- Bei zerblockter Schichtenfolge DGL und bei einer Einpressung bei Schnitt 4 ist der Abfluss am Top der Schichtenfolge DGL kleiner und der Abfluss aus der DGL in das Hutgestein größer als im entsprechenden Rechenfall mit einer Einpressung bei Schnitt 5.

#### 6.2.2.6 Schlussfolgerungen zur Einpressstelle Schnitt 4

Die Schnitte unterscheiden sich bezüglich der Überlagerung der Schichtenfolge DGL an der Hutgesteinsoberfläche: Bei zerblockter Schichtenfolge DGL wird sie im Bereich von Schnitt 5 von Schilfsandstein überlagert (der seinerseits unter dem Oberen Gipskeuper liegt). In Schnitt 4 ist die Überdeckung (Steinmergelkeuper) deutlich höher durchlässig. Die irrtümlich unvollständige Zerblockung entlang des SE Randes gibt die Gelegenheit, die Folgen einer nur teilweisen Zerblockung zu untersuchen.

Insgesamt ist die Verteilung der Abflüsse bei einer Einpressung in die Basis der Schichtenfolge DGL in der Nähe von Schnitt 5 bzw. Schnitt 4 in den beiden Serien von Rechnungen sehr ähnlich.

##### (a) Gesamtumsatz (Zu- bzw. Abflüsse)

In der unzerblockten DGL mit einem ausgedehnten Bilanzierungskörper von 1,6 km Länge beträgt bei einer Hutgesteinsdurchlässigkeit von  $10^{-11} \text{ m/s}$  der Gesamtumsatz ohne Einpressung rund  $2,5 \text{ m}^3/\text{a}$ . Bei Zerblockung der DGL (Länge Bilanzierungskörper 0,3 km) nimmt er auf rund  $0,6 \text{ m}^3/\text{a}$  ab und verringert sich bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $3 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$  auf die Hälfte, bei  $10^{-12} \text{ m/s}$  auf ein Drittel.

Mit Einpressung ist der Gesamtumsatz bei unzerblockter DGL und einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $10^{-11} \text{ m/s}$  mit rund  $11 \text{ m}^3/\text{a}$  um 10% höher als die Einpressung. Bei zerblockter DGL ist der gesamte Zu- bzw. Abfluss wie in den Rechenfällen mit einer Einpressung bei Schnitt 5 nur wenig größer als die Einpressung.



(b) Abflüsse

Bei einer Einpressung an der Basis des Hutgesteins erfolgen Abflüsse aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein, direkt in das Deckgebirge sowie über den oberen Rand, den NW- und SE-Rand des Bilanzierungskörpers.

Der Abfluss aus der Schichtenfolge DGL in das intakte Hutgestein ist wie in den Rechnungen mit Schnitt 5 in allen Rechenfällen mit Einpressung, trotz einer Abnahme der Hutgesteinsdurchlässigkeit auf  $10^{-12}$  m/s, mit 40-75% recht hoch. Erneut fließt ein Großteil (rund 80%) des in das intakte Hutgestein austretenden Wassers nach SW gegen den Oberkreidetrog.

Infolge der beträchtlichen Abflüsse in das intakte Hutgestein sind die direkten Abflüsse aus der DGL in das Deckgebirge mit 15-40% entsprechend begrenzt und erreichen selbst bei einem  $k_f$ -Wert Hutgestein von  $10^{-12}$  m/s nur rund 40%. Diese geringere Zunahme der Direktabflüsse aus der Schichtenfolge DGL in den Keuper im Vergleich zu den Verhältnissen bei Schnitt 5 ist eine Folge der unvollständigen Zerblockung der Schichtenfolge durch intaktes Hutgestein entlang des Südostrandes des DGL-Blockes (Abbildung 7).

Die Abflüsse über den SE-Rand des Bilanzierungskörpers - der Abfluss über dessen NW Rand ist gering - sind aus demselben Grunde mit 10% bei  $k_f$  (Hutgestein) von  $10^{-11}$  m/s bis 20% bei  $10^{-12}$  m/s deutlich größer als in den Rechnungen mit Einpressung in Schnitt 5 (2-4%). Bei einer durchgehenden Zerblockung wäre auch im Gebiet von Schnitt 4 mit sehr geringen Abflüssen über den SE-Rand zu rechnen.

Die Abflüsse des eingepressten Wasser aus der Schichtenfolge DGL erfolgen im Wesentlichen in das angrenzende intakte Hutgestein und in das überliegende Deckgebirge (Keuper) und ermöglichen damit eine detailliertere Modellierung mit vertikalen 2D-Schnitten quer zum Allertal (Einfallrichtung der Schichtenfolge DGL).

## 7 Austragswege, weiterführende Rechnungen

Aus dem hydrogeologischen Aufbau des Deckgebirges im Allertal mit den angrenzenden Zonen des Lappwaldes und der Weferlinger Triasplatte sind die Wege W1 bis W4 als mögliche Transportpfade durch das Hutgestein und das Deckgebirge bis zur Biosphäre und die entsprechende Verdünnung in den oberflächennahen Grundwasserleitern abgeleitet worden (Kap. 2).

Das 3D Modell des Hutgestein/Deckgebirge beschreibt ein sehr großes Gebiet; die Schichtenfolge DGL wurde deshalb als 2D Struktur abgebildet. Diese erlaubte keine Berechnung von Trajektorien mit erprobten Programmen.

Näherungsweise wird statt dessen die Aufteilung der Austragswege unter Süßwasserverhältnissen auf die vier Wege W1 bis W4 aus den Wasserabflüssen aus der Schichtenfolge DGL abgeleitet:

- Fluss in das intakte Hutgestein, getrennt nach der Abflussrichtung SW bzw. NE
- Fluss über den oberen Rand der Schichtenfolge DGL in das darüberliegende Deckgebirge
- Fluss über den NW- und SE-Rand des hydraulisch mit der Einpressstelle verbundenen Abschnitts der Schichtenfolge DGL (Bilanzierungskörper)

Dies beinhaltet naturgemäß eine Näherung bzw. Vereinfachungen.

Als ergänzende Untersuchungen werden deshalb 2D Modellrechnungen unter Berücksichtigung von Dichteeffekten durchgeführt (Kap. 7.4).

### 7.1 Austragswege Schnitt 5

Bei einer Einpressung bei Schnitt 5 (Gebiet des Zentralteils) können die Abflüsse aus der Schichtenfolge DGL den Austragswegen W2, W3 und W4 zugeordnet werden (Abbildung 42, Tabelle 8):

(a) unzerblockte Schichtenfolge DGL

- Die Abflüsse in das Hutgestein im SW (K-Klasse 271) gehören zum Austragsweg **W4**, jene nach NE (K-Klasse 272) zum Austragsweg **W3** oder **W2**.
- Der Abfluss am Top DGL erfolgt in den Steinmergelkeuper im NW und SE (**W2**), in den Oberen Gipskeuper (**W3**), in den Schilfsandstein (**W3**) sowie in den Jura (**W2**).
- Die mit rund 2% (Tabelle 8, C1) sehr geringen Abflüsse über den NW-Rand der DGL treten nach der Darstellung der Darcyflüsse in das ungestörte Hutgestein aus (**W4**) und gelangen nicht entlang des Weges W1 direkt aus der DGL in die Oberkreide.

## (b) zerblockte Schichtenfolge DGL

- Die Abflüsse in das Hutgestein im SW (K-Klasse 271) gehören zum Austragsweg **W4**, jene nach NE (K-Klasse 272) zum Austragsweg **W3**.
- Der Abfluss am Top DGL erfolgt im Bereich von Schnitt 5 in den von Oberem Gipskeuper überlagerten Schilfsandstein und gehört damit zum Austragsweg **W3** (Tabelle 8, B).
- Der Abfluss am NW- bzw. SE-Rand, ist ohne wesentliche Bedeutung (rund 4%, Tabelle 8, C). Die Potentialverteilung und Darcyflüsse in R44\_37 zeigen, daß die geringen Abflüsse über den NW- und SE-Rand durch die Zerblockung in den tieferen Lagen der DGL erfolgen (d.h. in der Zone mit dem höchsten Druck). Die Abflüsse dürften außerhalb des NW- und SE-Randes des Bilanzierungskörpers durch das Hutgestein stattfinden; sie werden daher zu den Austragswegen **W4** und **W3** hinzugefügt. Ein Abfluss entlang der Wege W2 oder sogar W1 kann ausgeschlossen werden.

Werden die Teilbeträge der Abflüsse nach W1, W2, W3 und W4 zusammengefasst, so ergibt sich die in der nachstehenden Tabelle enthaltene Verteilung des auf der Höhe des Zentralteils (Schnitt 5) eingepressten Wasser auf die Austragswege W1 bis W4.

<b>Schnitt 5 (Zentralteil)</b>					
Prozentuale Verteilung der Abflüsse auf die Austragswege W1-W4					
$k_f$ Hutgestein	Zerblockung DGL	W1	W2	W3	W4
$10^{-11}$ m/s	--	0	16	30	54
$10^{-11}$ m/s	Zerblockung	0		45	55
$3 \cdot 10^{-12}$ m/s	Zerblockung	0		62	38

Bei einer Einpressung in Schnitt 5 verteilen sich bei einer durchgehenden Schichtenfolge DGL die Wasserabflüsse zu über 50% auf den Austragsweg **W4**, etwa 30% sind Direktabflüsse aus DGL/Hutgestein in den Schilfsandstein und Oberen Gipskeuper des Austragsweges **W3**, die restlichen ca. 15% stellen den Abfluss in den Steinmergelkeuper in den randlichen Bereichen der rund 1,7 km breiten Abflusszone in das Deckgebirge dar (Austragsweg **W2**), während entlang des Austragsweges **W1** keine Abflüsse erfolgen.

Bei zerblockter DGL wird der Abfluss des eingepressten Wasser durch die seitliche Abschottung der DGL-Blöcke durch intaktes Hutgestein kanalisiert. Auch bei einer Zerblockung der DGL fließt ein großer Teil des eingepressten Wassers nach SW in das intakte Hutgestein und in den Oberkreidetrog ab (Austragsweg W4), der Rest gelangt über den 0,3 km breiten Abflussbereich am Top der DGL direkt oder nach einem kürzeren oder längeren Verlauf im intakten Hutgestein in den Schilfsandstein (Austragsweg W3).

## 7.2 Austragswege Schnitt 4

Bei einer Einpressung bei Schnitt 4 nördlich des Nordfeldes können die Abflüsse den Austragswegen W2 und W4 und untergeordnet W1 und W3 zugeordnet werden (Abbildung 42, Tabelle 8):

## (a) unzerblockte DGL

- Die Abflüsse in das Hutgestein im SW (K-Klasse 271) gehören zum Austragsweg **W4**, jene nach NE (K-Klasse 272) zum Austragsweg **W2** oder **W3**.
- Der Abfluss am Top DGL erfolgt von NW nach SE in den Jura und die Unteren Alleringerslebener Schichten (**W1**), in den Steinmergelkeuper (**W2**), in den Oberen Gipskeuper, Jura und Schilfsandstein (**W3**).
- Die Abflüsse über den NW- und SE-Rand der DGL sind vernachlässigbar gering (**W4**).

## (b) zerblockte DGL

- Die Abflüsse in das Hutgestein im SW (K-Klasse 271) gehören zum Austragsweg **W4**, jene nach NE (K-Klasse 272) zum Austragsweg **W2**.
- Der Abfluss am Top DGL erfolgt auf der Höhe von Schnitt 4 in den Steinmergelkeuper und gehört damit zum Austragsweg **W2**.
- Der Abfluss am NW Rand ist wie in Schnitt 5 mit 2-4% (Tabelle 8, C2) ohne wesentliche Bedeutung. Der Abfluss über den SE-Rand ist dagegen infolge der irrtümlich unvollständigen Zerblockung deutlich größer (8 - 16%, bei  $k_f$ -Abnahme des Hutgesteins zunehmend; Tabelle 8, C1). Die Abflüsse dürften außerhalb des SE-Randes des Bilanzierungskörpers teilweise in das Hutgestein übertreten (**W4**) oder entlang des angrenzenden DGL-Blocks abfließen. Die sich daraus ergebenden möglichen Fließwege sind vom Typ W3 und wiederum W4, nicht jedoch W2.

Bei einer Zusammenfassung der Teilbeträge der Abflüsse nach W1, W2, W3 und W4 ergibt sich die in nachstehender Tabelle zusammengestellte Verteilung des auf der Höhe des Nordfeldes (Schnitt 4) eingepressten Wassers auf die Austragswege W1 bis W4.

<b>Schnitt 4</b> Prozentuale Verteilung der Abflüsse auf die Austragswege W1-W4					
$k_f$ Hutgestein	Zerblockung DGL	W1	W2	W3	W4
$10^{-11}$ m/s	--	1	26	5	67
$10^{-11}$ m/s	Zerblockung	0	28	0	72
$3 \cdot 10^{-12}$ m/s	Zerblockung	0	40	0	60
$10^{-12}$ m/s	Zerblockung	0	52	0	48

Ohne Zerblockung ist die Abflusszone in das Deckgebirge am Top der Schichtenfolge DGL rund 1,0 km breit. Beinahe 70% des eingepressten Wassers treten jedoch in das intakte Hutgestein aus (Austragsweg **W4**); nur rund 25% gelangen in den Steinmergelkeuper (Austragsweg **W2**), während aus den weiter randlich gelegenen Abflusszonen noch 1% resp. 5% den Austragswegen **W1** und **W3** folgen.

Durch die Zerblockung der Schichtenfolge DGL verschmälert sich die Abflusszone DGL/Deckgebirge auf etwa 0,3 km Breite. Die Abflüsse in das Hutgestein (Austragsweg W4) gehen mit abnehmender Durchlässigkeit des intakten Hutgesteins von rund 70% bei  $10^{-11}$  m/s auf rund 50% bei  $10^{-12}$  m/s zurück, der Abfluss entlang W2 nimmt entsprechend zu. Der gegenüber Schnitt 5 generell

höhere Abfluss in das Hutgestein dürfte mit dem längeren Transportweg entlang der DGL im Gebiet um Schnitt 5 zusammenhängen (Abbildung 2).

Ein Teil des eingepressten Wassers tritt über die unvollständige Zerblockung am SE Rand in den angrenzenden Block der Schichtenfolge DGL über und gelangt von dort in das intakte Hutgestein (**W4**) oder in den Steinmergelkeuper (**W2**). Bei einer vollständigen Abschottung durch intaktes Hutgestein entlang des SE-Randes dürfte sich die Verteilung auf W2/W4 nicht wesentlich ändern.

### 7.3 Schlussfolgerungen

Aufgrund des geologischen Aufbaus des Allertals sind in Kap. 2 die Austragswege W1 bis W4 definiert worden, wobei der Austragsweg W3 auf das Gebiet des Zentralteils (Überdeckung der Schichtenfolge DGL durch Schilfsandstein) beschränkt ist.

Die durchgeführten 3D Süßwasserrechnungen erlauben es, die sich bei einer Auspressung von Salzlösung von ungefähr  $10 \text{ m}^3/\text{a}$  aus dem Grubengebäude in die Basis der Schichtenfolge DGL mit Einpressorten im Gebiet von Schnitt 5 (Zentralteil) bzw. Schnitt 4 (Nordfeld) ergebenden Austragswege W1 bis W4 genauer zu charakterisieren.

In den 3D Süßwasserrechnungen führt selbst bei einem  $k_f$ -Wert des Hutgesteins von  $10^{-12} \text{ m/s}$  die Schichtenfolge DGL (ohne und mit Zerblockung) nicht die Mehrheit des aus der Grube ausgepressten Wassers direkt in die Deckschichten über dem Hutgestein. Ein großer Teil der an der Basis der Schichtenfolge DGL eingepressten Lösung tritt aus der DGL in das angrenzende intakte Hutgestein über, wobei der Abfluss nach SW deutlich überwiegt.

Infolge der großen Ausdehnung der Bilanzierungskörper ohne Zerblockung der DGL erlauben die entsprechenden Rechnungen die Beurteilung der Breite der Abflusszone aus der Schichtenfolge DGL in das überliegende Deckgebirge. Diese beträgt bei einer Einpressung im Gebiet des Zentralteils (Schnitt 5) rund 1,7 km, bei einer Einpressung im Gebiet des Nordfeldes (Schnitt 4) rund 1,0 km.

Dementsprechend verteilen sich bei einer Einpressung in die durchgehende, unzerblockte Schichtenfolge DGL die Abflüsse auf mehrere Austragswege (W4, W3 und W2 in Schnitt 5/Zentralteil, W4, W2 und stark untergeordnet W3 und W1 in Schnitt 4/Nordfeld).

Die Zerblockung der Schichtenfolge DGL durch in der Fallrichtung verlaufende Bereiche intakten Hutgesteins hat eine ausgeprägte Kanalisierung der Abflüsse zur Folge. Die Abflüsse verteilen sich ortsspezifisch auf die Austragswege W4 und W2 bei einer Einpressung im Gebiet des Nordfeldes (Schnitt 4), bzw. auf die Austragswege W4 und W3, wenn die Einpressung im Zentralteil (Schnitt 5) erfolgt. Bei geringeren  $k_f$ -Werten des Hutgesteins ( $10^{-12} \text{ m/s}$ ) ist ein Rückgang der Dominanz des Austragesweges W4 zu beobachten.

Die durchgeführten Rechnungen mit zerblockter Schichtenfolge DGL erlauben folgende Beurteilung der 4 Austragswege:

- Der Austragsweg **W1** (Abflüsse aus der DGL direkt in den Jura und in die Unteren Alleringerslebener Schichten) ist bei einer Einpressung auf der Höhe

von Schnitt 4 (oder weiter südlich) ohne Bedeutung und stellt keinen möglichen Austragsweg dar.

- Der Austragsweg **W2** ist bei einer Einpressung im Gebiet des Nordfeldes neben W4 ein Hauptaustragsweg.
- Bei einer Einpressung im Gebiet des Zentralteils stellt der Austragsweg **W3** neben dem Weg W4 den Hauptaustragsweg dar.
- An beiden Einpressorten „Nordfeld“ und „Zentralteil“ tritt ein bedeutender Teil des eingepressten Wassers in das intakte Hutgestein über und gelangt in den Oberkreidetrog (**W4**). Erst bei einer Durchlässigkeit des Hutgesteins von  $10^{-12}$  m/s kann generell von einem Anteil des Austragsweges W4 unter 50% ausgegangen werden.
- Die Überdeckung der DGL an der Obergrenze des Hutgesteins ist von untergeordnetem Einfluss auf die Aufteilung der Ausbreitungswege W4:W3 bzw. W4:W2

#### 7.4 Ergänzende Rechnungen

Die Süßwasserrechnungen berücksichtigen nicht die höhere Grundwasserdichte des salzwasserführenden Grundwassers. Dessen Einfluss dürfte bei einer Einpressung von gesättigter Salzlösung jedoch nicht vernachlässigbar sein.

In den dargestellten 3D Süßwasserrechnungen mit Einpressungen bilden sich in der zerblockten Schichtenfolge DGL Fließpfade im Fallen der Schichtenfolge DGL aus, d.h. die Änderung der Geologie im Streichen der Schichtenfolge DGL (z.B. überdeckende Einheit) wird nicht wirksam. Dies erlaubt eine detaillierte Untersuchung der Ausbreitungspfade im Hutgestein und Deckgebirge mit 2D Modellrechnungen entlang von Vertikalschnitten, die quer zum Allertal (in der Fallrichtung der Schichtenfolge DGL) verlaufen. Mit abnehmender Vollständigkeit der Zerblockung nehmen die seitlichen Abflüsse in der DGL zu und die Annahme eines 2D Fließfeldes ist weniger berechtigt.

Die Charakterisierung der Auspresswege bei Einpressung von gesättigter Salzlösung in die Basis der Schichtenfolge DGL ist damit mit 2D Salzwasserrechnungen möglich.

Die in diesem Bericht dargestellten Süßwasserrechnungen dienen zur Charakterisierung der möglichen Austragswege W1 bis W4. Es zeigte sich, dass der Fließweg W1 ohne Bedeutung ist und keinen möglichen Austragsweg darstellt. Eine belastbarere Ermittlung des Verlaufes der Fließwege und der Lokalisation der Austrittstellen der Austragswege W2 bis W4 soll – basierend auf den Resultaten der 3D Einpressrechnungen – mit Hilfe von Salzwasserrechnungen mit 2D Schnitten erfolgen [3].

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Niemeyer, M., Resele, G., Skrzyppek, J., Wilhelm, St., Jaquet, O., Klubertanz, G., Poppei, J. und Schwarz, R. (2002). – Endlager Morsleben. Langzeitsicherheitsnachweis für das verfüllte und verschlossene Endlager mit dem Programm PROSA. – CPE Bericht 4651/50, Colenco Power Engineering AG; Baden/Schweiz
- [2] Klemenz, W. und Siegel, P. (2001): Endlager Morsleben. 3D Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter Süßwasserverhältnissen. Abschätzung der möglichen Lösungszutritte aus dem Deckgebirge in das Grubengebäude. – CPE Bericht 4305/38, Colenco Power Engineering AG, Baden/CH
- [3] W. Klemenz, W., Klubertanz, G. Siegel, P. und Resele, G: (2002). 2D-Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge unter Salzwasserverhältnissen – Salzwasserrechnungen mit den 2D Modellen Schnitte 5 und 6, Rechnungen mit den Programmen SoTraCoF und NAMMU (Entwurf). - CPE Bericht 4305/40, Colenco Power Engineering AG; Baden/Schweiz
- [4] 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
- [5] Genter, M. & Siegel, P. (2001): Programm FSCGM zur Berechnung der transienten Grundwasserströmung mit freier Oberfläche. – CPE Bericht 1971/5, Colenco Power Engineering, Baden/Schweiz
- [6] Käbel, H. (2002): ERA Morsleben. Geowissenschaftliche Bewertung der Langzeitentwicklung sowie Zufluss- und Austrittsszenarien nach Verfüllung des Endlagers. Abschlussbericht. – 30.4.2002, Bundesamt für Geowissenschaft und Rohstoffe (BGR), Hannover
- [7] Langkutsch, U., Käbel, H., Margane, A. & Schwamm, G. (1998): Projekt ERA Morsleben. Hydrogeologische Standortbeschreibung und Modellgrundlagen. – Archiv-Nr. 116 906, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin/Hannover
- [8] Ranft, M. (2001): Zusammenstellung von modellierungsrelevanten Parametern der Schichtenfolge Deckanhydrit – Grauer Salzton – Leinekarbonat (DGL) im Hutgestein des ERA Morsleben. – Bericht ET-1B-129, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter

**9 Tabellen**

ERA  
Morsleben



Länge der Wegsamkeit entlang DGL/Salzspiegel (Subrosionsrinne)	Auspressrate aus dem Grubengebäude, m <sup>3</sup> /a		
	1	10	30
	spezifische Einpressraten in die Schichtenfolge DGL, m <sup>3</sup> /m·a		
5 m	0,2	2	6
10 m	0,1	1	3
50 m	0,02	0,2	0,6
100 m	0,01	0,1	0,3
§200 m	0,005	<b>0,05</b>	0,15
400 m	0,0025	0,025	0,075
800 m	0,00125	0,0125	0,0375

Legende:

	≤ 0,02 m <sup>3</sup> /m·a
	> 0,02 bis 0,2 m <sup>3</sup> /m·a
	> 0,2 bis 1 m <sup>3</sup> /m·a
	> 1 bis 5 m <sup>3</sup> /m·a
	> 5 m <sup>3</sup> /m·a
<b>0,05</b>	3D Süßwasserrechnungen des vorliegenden Berichts

Tabelle 1 Auspressraten aus dem Grubengebäude (m<sup>3</sup>/a) und spezifische Einpressraten in die Schichtenfolge DGL (m<sup>3</sup>/m·a)

Rechenfall	Zerblockung	Einpressung in DGL		$k_f$ Hutgestein m/s	DGL	Einpressort Schnitt 5		Einpressort Schnitt 4	
		m <sup>3</sup> /a	Ort			Kn. 198'278 Einpressrate	1D-Elemente K-Klasse 810	Kn. 199'561 Einpressrate	1D-Elemente K-Klasse 811
						m <sup>3</sup> /a	T-Wert m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /a	T-Wert m <sup>3</sup> /s
<b>Chronologische Reihenfolge der Rechenfälle</b>									
Rechenfälle ohne Zerblockung DGL									
$k_f$ Hutgestein $10^{-11}$ m/s									
R44_30	nein	0	--	$10^{-11}$	(1)				
R44_31	nein	10	Schnitt 5			10	24		
R44_32	nein	10	Schnitt 4					10	24
Rechenfälle mit Zerblockung DGL									
$k_f$ Hutgestein $10^{-11}$ m/s									
R44_33	ja	0	--	$10^{-11}$	(1)				
R44_34	ja	10	Schnitt 5			10	24		
R44_35	ja	10	Schnitt 4					10	24
$k_f$ Hutgestein $3 \cdot 10^{-12}$ m/s									
R44_36	ja	0	--	$3 \cdot 10^{-12}$	(1)				
R44_37	ja	10	Schnitt 5			10	24		
R44_38	ja	10	Schnitt 4					10	24
$k_f$ Hutgestein $10^{-12}$ m/s									
R44_39	ja	0	--	$10^{-12}$	(1)				
R44_40	ja	10	Schnitt 4					10	24
<b>Reihenfolge der Rechenfälle nach Bilanzierungskörpern Schnitt 5 und Schnitt 4</b>									
a) Ohne Einpressung									
R44_30	nein	0	--	$10^{-11}$	(1)				
R44_33	ja	0	--	$10^{-11}$	(1)				
R44_36	ja	0	--	$3 \cdot 10^{-12}$	(1)				
R44_39	ja	0	--	$10^{-12}$					
b) Einpressung im Gebiet von Schnitt 5									
R44_31	nein	10	Schnitt 5	$10^{-11}$	(1)	10	24		
R44_34	ja	10	Schnitt 5	$10^{-11}$	(1)	10	24		
R44_37	ja	10	Schnitt 5	$3 \cdot 10^{-12}$	(1)	10	24		
c) Einpressung im Gebiet von Schnitt 4									
R44_32	nein	10	Schnitt 4	$10^{-11}$	(1)			10	24
R44_35	ja	10	Schnitt 4	$10^{-11}$	(1)			10	24
R44_38	ja	10	Schnitt 4	$3 \cdot 10^{-12}$	(1)			10	24
R44_40	ja	10	Schnitt 4	$10^{-12}$	(1)			10	24

(1)  $k_f$  DGL =  $10^{-9}$  m/s bzw. T =  $5 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s

Tabelle 2 Definition und Parameter der Rechenfälle

Rechenfall	Einpressrate, Einpressort	Zerblockung	$k_r$ Hutgestein	Einpressorte in die Schichtenfolge DGL			
				Schnitt 5 (Knoten 198'278)		Schnitt 4 (Knoten 199'561)	
				Potential am Einpressort	Potentialerhöhung durch Einpressung	Potential am Einpressort	Potentialerhöhung durch Einpressung
				[mNN]	[m WS]	[mNN]	[m WS]
R44_30	--	nein	$10^{-11}$ m/s	114,72		113,59	
R44_31	10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 5			140,68	25,96	113,74	
R44_32	10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4			114,89		143,87	30,28
R44_33	--			114,95		113,60	
R44_34	10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 5			154,02	39,07	113,64	
R44_35	10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4			114,99		152,20	36,60
R44_36	--			115,45		112,49	
R44_37	10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 5	ja	$3 \cdot 10^{-12}$ m/s	169,07	53,62	112,59	
R44_38	10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4			115,55		173,46	60,97
R44_39	--			115,72		111,64	
R44_40	10 m <sup>3</sup> /a, Schnitt 4			115,85		189,02	77,38

Legende:

114,72	Rechenfälle ohne Einpressung
140,68	Rechenfälle mit Einpressung: am Ort der Einpressung

Tabelle 3 Potential an der Einpressstelle in die Schichtenfolge DGL

Rechen-fall	Zerblockung DGL	Einmessung in DGL		Bilanzierung der Flüsse über die Ränder der Schichtenfolge DGL						Bilanzierung Wasseraustausch DGL - Hutgestein				Gesamtbilanz		Bilanzierungsdifferenz:						
		Schnitt	Rate	SE-Rand		NW-Rand		Top		mit 271 (Hutgestein SW)		mit 272 (Hutgestein NE)		Zufluss und Einmessung 7a Summe 1a + 2a + 3a + 4a + 5a + 6a	Abfluss 7b Summe 2b+3b+4b+5b+6b + 5a + 6a	Bilanzierungsfehler (BF) und direkte Einmessung (DE) in Hutgestein						
				Zufluss	Abfluss	Bilanz	2c	Zufluss	Abfluss	Bilanz	3c	Zufluss	Abfluss			Bilanz	4c	Zufluss	Abfluss	Bilanz	6c	7c
<b>Einmessung SCHNITT 5, m<sup>3</sup>/a</b>																						
k <sub>r</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s																						
R44_30	--	Schnitt 5	0	0,214	-0,082	0,132	0,178	-0,171	0,007	1,730	-1,825	-0,095	0,988	-1,602	-0,614	0,716	-0,192	0,524	3,827	-3,873	0,046	BF = Zufluss
R44_31	--	Schnitt 5	10	0,204	-0,080	0,124	0,171	-0,175	-0,004	0,636	-4,380	-3,744	0,692	-5,594	-4,903	0,689	-1,057	-0,368	12,393	-11,288	-1,105	DE+BF = Abfluss
R44_33	Zerblockung	Schnitt 5	0	0,003	-0,006	-0,003	0,002	-0,020	-0,018	0,210	0,000	0,210	0,001	-0,288	-0,287	0,047	-0,019	0,027	0,263	-0,333	0,070	BF = Zufluss
R44_34	Zerblockung	Schnitt 5	10	0,118	-0,157	-0,039	0,000	-0,228	-0,228	0,0	-2,623	-2,623	0,006	-4,462	-4,457	0,105	-1,611	-1,505	10,229	-9,080	-1,149	DE+BF = Abfluss
k <sub>r</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s																						
R44_36	Zerblockung	Schnitt 5	0	0,003	-0,006	-0,003	0,002	-0,019	-0,017	0,112	-9,6E-05	0,112	3,6E-04	-0,122	-0,121	0,009	-0,013	-0,004	0,127	-0,160	0,033	BF = Zufluss
R44_37	Zerblockung	Schnitt 5	10	0,111	-0,156	-0,045	0,006	-0,240	-0,234	0,000	-4,749	-4,749	0,011	-2,109	-2,098	0,051	-0,843	-0,792	10,179	-8,097	-2,081	DE+BF = Abfluss
<b>Einmessung SCHNITT 4, m<sup>3</sup>/a</b>																						
k <sub>r</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s																						
R44_30	--	Schnitt 4	0	0,011	-0,125	-0,114	0,029	-0,005	0,024	1,152	-1,362	-0,210	0,922	-0,751	0,171	0,295	-0,369	-0,074	2,409	-2,612	0,203	BF = Zufluss
R44_32	--	Schnitt 4	10	0,010	-0,129	-0,119	0,026	-0,007	0,019	0,809	-2,534	-1,725	0,064	-6,414	-6,350	0,308	-0,956	-0,648	11,217	-10,040	-1,177	DE+BF = Abfluss
R44_33	Zerblockung	Schnitt 4	0	0,046	-0,015	0,032	0,018	-0,003	0,015	3,8E-05	-0,389	-0,388	0,551	-0,010	0,542	0,028	-0,155	-0,127	0,643	-0,570	-0,073	BF = Abfluss
R44_35	Zerblockung	Schnitt 4	10	0,086	-0,919	-0,833	0,013	-0,089	-0,077	0,000	-1,301	-1,301	0,054	-5,553	-5,499	0,309	-1,192	-0,883	10,462	-9,055	-1,407	DE+BF = Abfluss
k <sub>r</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s																						
R44_36	Zerblockung	Schnitt 4	0	0,037	-0,001	0,036	0,016	0,000	0,016	0,005	-0,262	-0,257	0,272	-0,003	0,270	0,018	-0,039	-0,021	0,348	-0,304	-0,044	BF = Abfluss
R44_38	Zerblockung	Schnitt 4	10	0,122	-1,441	-1,319	0,013	-0,178	-0,165	0,000	-2,821	-2,821	0,030	-3,466	-3,436	0,201	-0,753	-0,552	10,366	-8,658	-1,708	DE+BF = Abfluss
k <sub>r</sub> Hutgestein 10 <sup>-12</sup> m/s																						
R44_39	Zerblockung	Schnitt 4	0	0,042	0,0	0,042	0,021	0,000	0,021	0,011	-0,171	-0,160	0,120	-0,001	0,119	0,010	-0,012	-0,002	0,204	-0,184	-0,020	BF = Abfluss
R44_40	Zerblockung	Schnitt 4	10	0,157	-1,760	-1,603	0,013	-0,249	-0,237	0,000	-4,213	-4,213	0,013	-1,646	-1,633	0,095	-0,358	-0,263	10,278	-8,226	-2,052	DE+BF = Abfluss

Bemerkung: + Zufluss, - Abfluss

Tabelle 4 Bilanzierung der Wasserflüsse in den Bilanzierungskörpern (mit Bilanzierungsfehler)

Rechenfall	Zerblockung DGL	Einpressung in DGL		Bilanzierung der Flüsse über die Ränder der Schichtenfolge DGL						Bilanzierung Wasseraustausch DGL - Hutgestein						Gesamtbilanz				
		Schnitt	Rate	SE Rand			NW Rand			Top			mit 271 (Hutgestein SW)			mit 272 (Hutgestein NE)			Zufluss und Einpressung	Abfluss
				Zufluss	Abfluss	Bilanz	Zufluss	Abfluss	Bilanz	Zufluss	Abfluss	Bilanz	Zufluss	Abfluss	Bilanz	Zufluss	Abfluss	Bilanz		
1a	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c	6a	6b	6c	Summe 1a-6a	Summe 2b-6b			
<b>Einpressung SCHNITT 5 in m<sup>3</sup>/a</b>																				
k <sub>r</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s																				
R44_30	--	Schnitt 5	0	0,214	-0,082	0,132	0,178	-0,171	0,007	1,730	-1,825	-0,095	1,029	-1,602	-0,573	0,721	-0,192	0,529	3,873	-3,873
R44_31	--	Schnitt 5	10	0,204	-0,080	0,124	0,171	-0,175	-0,004	0,636	-4,380	-3,744	0,692	-6,523	-5,832	0,689	-1,233	-0,544	12,393	-12,393
R44_33	Zerblockung	Schnitt 5	0	0,003	-0,006	-0,003	0,002	-0,020	-0,018	0,210	0,0E+00	0,210	0,067	-0,288	-0,221	0,051	-0,019	0,031	0,333	-0,333
R44_34	Zerblockung	Schnitt 5	10	0,118	-0,157	-0,039	0,000	-0,228	-0,228	0,0E+00	-2,623	-2,623	0,006	-5,306	-5,301	0,105	-1,916	-1,810	10,229	-10,229
k <sub>r</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s																				
R44_36	Zerblockung	Schnitt 5	0	0,003	-0,006	-0,003	0,002	-0,019	-0,017	0,112	-9,6E-05	0,112	0,030	-0,122	-0,091	0,012	-0,013	-0,001	0,160	-0,160
R44_37	Zerblockung	Schnitt 5	10	0,111	-0,156	-0,045	0,006	-0,240	-0,234	0E+00	-4,749	-4,749	0,011	-3,595	-3,584	0,051	-1,438	-1,387	10,179	-10,179
<b>Einpressung SCHNITT 4 in m<sup>3</sup>/a</b>																				
k <sub>r</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s																				
R44_30	--	Schnitt 4	0	0,011	-0,125	-0,114	0,029	-0,005	0,024	1,152	-1,362	-0,210	1,058	-0,751	0,307	0,362	-0,369	-0,007	2,612	-2,612
R44_32	--	Schnitt 4	10	0,010	-0,129	-0,119	0,026	-0,007	0,019	0,809	-2,534	-1,725	0,064	-7,438	-7,374	0,308	-1,109	-0,801	11,217	-11,217
R44_33	Zerblockung	Schnitt 4	0	0,046	-0,015	0,032	0,018	-0,003	0,015	3,8E-05	-0,389	-0,388	0,551	-0,014	0,538	0,028	-0,224	-0,196	0,643	-0,643
R44_35	Zerblockung	Schnitt 4	10	0,086	-0,919	-0,833	0,013	-0,089	-0,077	0,0E+00	-1,301	-1,301	0,054	-6,711	-6,657	0,309	-1,441	-1,132	10,462	-10,462
k <sub>r</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s																				
R44_36	Zerblockung	Schnitt 4	0	0,037	-0,001	0,036	0,016	0E+00	0,016	0,005	-0,262	-0,257	0,272	-0,006	0,267	0,018	-0,080	-0,062	0,348	-0,348
R44_38	Zerblockung	Schnitt 4	10	0,122	-1,441	-1,319	0,013	-0,178	-0,165	0E+00	-2,821	-2,821	0,030	-4,869	-4,839	0,201	-1,058	-0,857	10,366	-10,366
k <sub>r</sub> Hutgestein 10 <sup>-12</sup> m/s																				
R44_39	Zerblockung	Schnitt 4	0	0,042	0E+00	0,042	0,021	0E+00	0,021	0,011	-0,171	-0,160	0,120	-0,002	0,118	0,010	-0,031	-0,021	0,204	-0,204
R44_40	Zerblockung	Schnitt 4	10	0,157	-1,760	-1,603	0,013	-0,249	-0,237	0,0E+00	-4,213	-4,213	0,013	-3,332	-3,319	0,095	-0,724	-0,629	10,278	-10,278

Bemerkung: + Zufluss, - Abfluss

Tabelle 5 Bilanzierung der Wasserflüsse in den Bilanzierungskörpern (nach Verteilung der Direkteinpressung und Bilanzierungsfehler)

<b>Schnitt 5</b>								
<b>Zu- und Abflüsse in m<sup>3</sup>/a</b>								
Rechenfall, Einpressort, Bilanzierungskörper		Zerblockung DGL	Einpressung in DGL	DGL-Hutgestein		SE- und NW-Rand	Top DGL	Insgesamt
<b>Zuflüsse</b>			Einpressung in DGL	Zufluss aus Hutgestein	Anteil Zufluss aus Hutgestein im SW (271)	Zufluss	Zufluss	Zufluss
			m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	%	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 5	--	0	1,750	58,8	0,392	1,730	3,873
R44_31	Schnitt 5	--	10	1,381	50,1	0,375	0,636	12,393
R44_33	Schnitt 5	Zerblockung	0	0,118	56,8	0,005	0,210	0,333
R44_34	Schnitt 5	Zerblockung	10	0,111	5,4	0,118	0,000	10,229
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 5	Zerblockung	0	0,043	71,4	0,005	0,112	0,160
R44_37	Schnitt 5	Zerblockung	10	0,062	17,0	0,117	0,000	10,179
<b>Abflüsse</b>			Einpressung in DGL	Abfluss nach Hutgestein	Anteil Abfluss nach Hutgestein im SW (271)	Abfluss	Abfluss	Abfluss
			m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	%	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 5	--	0	-1,794	89,3	-0,253	-1,825	-3,873
R44_31	Schnitt 5	--	10	-7,757	84,1	-0,255	-4,380	-12,393
R44_33	Schnitt 5	Zerblockung	0	-0,307	93,8	-0,026	0,000	-0,333
R44_34	Schnitt 5	Zerblockung	10	-7,222	73,5	-0,385	-2,623	-10,229
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 5	Zerblockung	0	-0,135	90,4	-0,025	0,000	-0,160
R44_37	Schnitt 5	Zerblockung	10	-5,033	71,4	-0,396	-4,749	-10,178
<b>Zu- und Abflüsse in %</b>								
<b>Zuflüsse</b>			Einpressung in DGL		Zufluss aus Hutgestein	Zufluss	Zufluss	Zufluss
			m <sup>3</sup> /a	%	%	%	%	%
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 5	--	0	0	45,2	10,1	44,7	100,0
R44_31	Schnitt 5	--	10	80,8	11,1	3,0	5,1	100,0
R44_33	Schnitt 5	Zerblockung	0	0	35,3	1,5	63,2	100,0
R44_34	Schnitt 5	Zerblockung	10	97,8	1,1	1,1	0,0	100,0
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 5	Zerblockung	0	0	26,7	3,0	70,3	100,0
R44_37	Schnitt 5	Zerblockung	10	98,2	0,6	1,2	0,0	100,0
<b>Abflüsse</b>			Einpressung in DGL		Abfluss nach Hutgestein	Abfluss	Abfluss	Abfluss
			m <sup>3</sup> /a		%	%	%	%
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 5	--	0		46,3	6,5	47,2	100,0
R44_31	Schnitt 5	--	10		62,6	2,1	35,3	100,0
R44_33	Schnitt 5	Zerblockung	0		92,2	7,9	0,0	100,0
R44_34	Schnitt 5	Zerblockung	10		70,6	3,8	25,6	100,0
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 5	Zerblockung	0		84,4	15,6	0,1	100,0
R44_37	Schnitt 5	Zerblockung	10		49,4	3,9	46,7	100,0

Tabelle 6 Bilanzierung der Zu- und Abflüsse (in m<sup>3</sup>/a und in %) im Bilanzierungskörper Schnitt 5

<b>Schnitt 4</b>								
<b>Zu- und Abflüsse in m<sup>3</sup>/a</b>								
Rechenfall, Einpressort, Bilanzierungskörper		Zerblockung DGL	Einpressung in DGL	DGL-Hutgestein		SE- und NW-Rand	Top DGL	Insgesamt
<b>Zuflüsse</b>			Einpressung in DGL	Zufluss aus Hutgestein	Anteil Zufluss aus Hutgestein im SW (271)	Zufluss	Zufluss	Zufluss
			m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	%	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 4	--	0	1,420	75,7	0,040	1,152	2,612
R44_32	Schnitt 4	--	10	0,372	17,3	0,036	0,809	11,217
R44_33	Schnitt 4	Zerblockung	0	0,579	95,2	0,064	0,000	0,643
R44_35	Schnitt 4	Zerblockung	10	0,364	15,0	0,099	0,000	10,462
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 4	Zerblockung	0	0,290	93,9	0,053	0,005	0,348
R44_38	Schnitt 4	Zerblockung	10	0,231	13,0	0,134	0,000	10,366
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_39	Schnitt 4	Zerblockung	0	0,130	92,5	0,063	0,011	0,204
R44_40	Schnitt 4	Zerblockung	10	0,108	12,1	0,170	0,000	10,278
<b>Abflüsse</b>			Einpressung in DGL	Abfluss nach Hutgestein	Anteil Abfluss nach Hutgestein im SW (271)	Abfluss	Abfluss	Abfluss
			m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	%	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 4	--	0	-1,120	67,1	-0,129	-1,362	-2,612
R44_32	Schnitt 4	--	10	-8,547	87,0	-0,136	-2,534	-11,217
R44_33	Schnitt 4	Zerblockung	0	-0,237	5,8	-0,017	-0,389	-0,643
R44_35	Schnitt 4	Zerblockung	10	-8,153	82,3	-1,009	-1,301	-10,462
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 4	Zerblockung	0	-0,085	6,1	-0,001	-0,262	-0,348
R44_38	Schnitt 4	Zerblockung	10	-5,927	82,2	-1,619	-2,821	-10,366
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_39	Schnitt 4	Zerblockung	0	-0,033	5,4	0,000	-0,171	-0,204
R44_40	Schnitt 4	Zerblockung	10	-4,056	82,2	-2,009	-4,213	-10,278
<b>Zu- und Abflüsse in %</b>								
<b>Zuflüsse</b>			Einpressung in DGL		Zufluss aus Hutgestein	Zufluss	Zufluss	Zufluss
			m <sup>3</sup> /a	%	%	%	%	%
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 4	--	0	0	54,4	1,5	44,1	100,0
R44_32	Schnitt 4	--	10	89,2	3,3	0,3	7,2	100,0
R44_33	Schnitt 4	Zerblockung	0	0	90,1	9,9	0,0	100,0
R44_35	Schnitt 4	Zerblockung	10	95,5	3,5	1,0	0,0	100,0
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 4	Zerblockung	0	0	83,3	15,3	1,4	100,0
R44_38	Schnitt 4	Zerblockung	10	96,5	2,2	1,3	0,0	100,0
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_39	Schnitt 4	Zerblockung	0	0	63,8	30,9	5,3	100,0
R44_40	Schnitt 4	Zerblockung	10	77,3	1,1	1,7	0,0	100,0

Tabelle 7 Bilanzierung der Zu- und Abflüsse (in m<sup>3</sup>/a und in %) im Bilanzierungskörper Schnitt 4

<b>Schnitt 4</b>								
<b>Zu- und Abflüsse in m<sup>3</sup>/a</b>								
Rechenfall, Einpressort, Bilanzierungskörper		Zerblockung DGL	Einpressung in DGL	DGL-Hutgestein		SE- und NW-Rand	Top DGL	Insgesamt
<b>Abflüsse</b>			Einpressung in DGL m <sup>3</sup> /a		Abfluss nach Hutgestein %	Abfluss %	Abfluss %	Abfluss %
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-11</sup> m/s								
R44_30	Schnitt 4	--	0		42,9	5,0	52,1	100,0
R44_32	Schnitt 4	--	10		76,2	1,2	22,6	100,0
R44_33	Schnitt 4	Zerblockung	0		36,9	2,7	60,4	100,0
R44_35	Schnitt 4	Zerblockung	10		77,9	9,7	12,4	100,0
k <sub>f</sub> Hutgestein 3·10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_36	Schnitt 4	Zerblockung	0		24,5	0,2	75,3	100,0
R44_38	Schnitt 4	Zerblockung	10		57,2	15,6	27,2	100,0
k <sub>f</sub> Hutgestein 10 <sup>-12</sup> m/s								
R44_39	Schnitt 4	Zerblockung	0		16,2	0,0	83,8	100,0
R44_40	Schnitt 4	Zerblockung	10		39,5	19,5	41,0	100,0

Tabelle 7 Bilanzierung der Zu- und Abflüsse (in m<sup>3</sup>/a und in %) im Bilanzierungskörper (Fortsetzung) Schnitt 4



k <sub>r</sub> Hut- gestein	Zerblockung DGL	Ein- pressung	A	A1	A2	A3	B	C	C1	C2	D	Verteilung der Abflüsse auf die Austragswege W1 bis W4				
												W1	W2	W3	W4	
m/s		m <sup>3</sup> /a	Abfluss von DGL nach Hutgestein insgesamt	Anteil Abfluss nach Hutgestein im SW (271)	Verteilung auf 271/ HG im SW	272 HG im NE	Abfluss Top DGL	Abfluss NW- und SE-Rand	Verteilung Abfluss NW- und SE- Rand auf Austragswege wie Abfluss nach Hutgestein	m <sup>3</sup> /a bzw. %	m <sup>3</sup> /a bzw. %	m <sup>3</sup> /a bzw. %	m <sup>3</sup> /a bzw. %	m <sup>3</sup> /a bzw. %		
<b>SCHNITT 5</b>																
<b>Abflüsse m<sup>3</sup>/a</b>																
R44_31			-7,757	+	-6,524	W4	-4,380	-0,255	W4			-12,393	0	-1,933	-3,680	-6,779
R44_34	10 <sup>11</sup>		-7,222	73,5	-5,307	W4	-2,623	-0,385	W4	-0,102	W3	-10,229	0	0	-4,640	-5,590
R44_37	3·10 <sup>12</sup>	Zerblockung	-5,033	71,4	-3,595	W4	-4,749	-0,396	W4	-0,113	W3	-10,178	0	0	-6,300	-3,878
<b>Abflüsse %</b>																
R44_31			62,6		52,6	W4	35,4	W3=61,5% W2=38,5%	2,1	W4		100,0	0	15,6	29,7	54,7
R44_34	10 <sup>11</sup>		70,6		51,9	W4	25,6	W3	2,8	W4	1,0	100,0	0	0	45,4	54,6 (2)
R44_37	3·10 <sup>12</sup>	Zerblockung	49,4		35,3	W4	46,7	W3	2,8	W4	1,1	100,0	0	0	61,9	38,1 (2)
<b>SCHNITT 4</b>																
<b>Abflüsse m<sup>3</sup>/a</b>																
R44_32			-8,547	87,0	-7,438	W4	-2,534	W1=5% W2=89% W3=6%	-0,136	W4		-11,217	-0,137	-2,908	-0,598	-7,557
R44_35	10 <sup>11</sup>		-8,163	82,3	-6,712	W4	-1,301	W2	-0,831	W4	-0,178	-10,462	0	-2,921	0	-7,542
R44_38	3·10 <sup>12</sup>	Zerblockung	-5,927	82,2	-4,869	W4	-2,821	W2	-1,330	W4	-0,289	-10,366	0	-4,168	0	-6,199
R44_40	10 <sup>12</sup>		-4,056	82,2	-3,332	W4	-4,213	W2	-1,650	W4	-0,359	-10,278	0	-5,296	0	-4,982
<b>Abflüsse %</b>																
R44_32			76,2		66,3	W4	22,6	W1=5% W2=89% W3=6%	1,2	W4		100,0	1,2	25,9	5,3	67,6
R44_35	10 <sup>11</sup>		77,9		64,2	W4	12,4	W2	7,9	W4	1,7	100,0	0	27,9	0	72,1
R44_38	3·10 <sup>12</sup>	Zerblockung	57,2		47,0	W4	27,2	W2	12,8	W4	2,8	100,0	0	40,2	0	59,8 (2)
R44_40	10 <sup>12</sup>		39,5		32,4	W4	41,0	W2	16,1	W4	3,5	100,0	0	51,5	0	48,5 (2)

Bemerkung

(1) Schätzung aus Darcyflüssen über Top DGL

(2) Die in W4 enthaltene, mit der „Bilanzierungsdivergenz“ (Kap. 6.1.2.1) gleichgesetzte Direkteinpressung ist in den Rechnungen mit k<sub>r</sub>Hutgestein 3·10<sup>-12</sup> m/s und 10<sup>-12</sup> m/s überschätzt. W4 wird deshalb in R44\_37, R44\_38 und R44\_40 um etwa 10% zu groß.

Tabelle 8 Bilanzierung des Abflusses der eingepressten Lösung

## 10 Abbildungen

ERA  
Morsleben

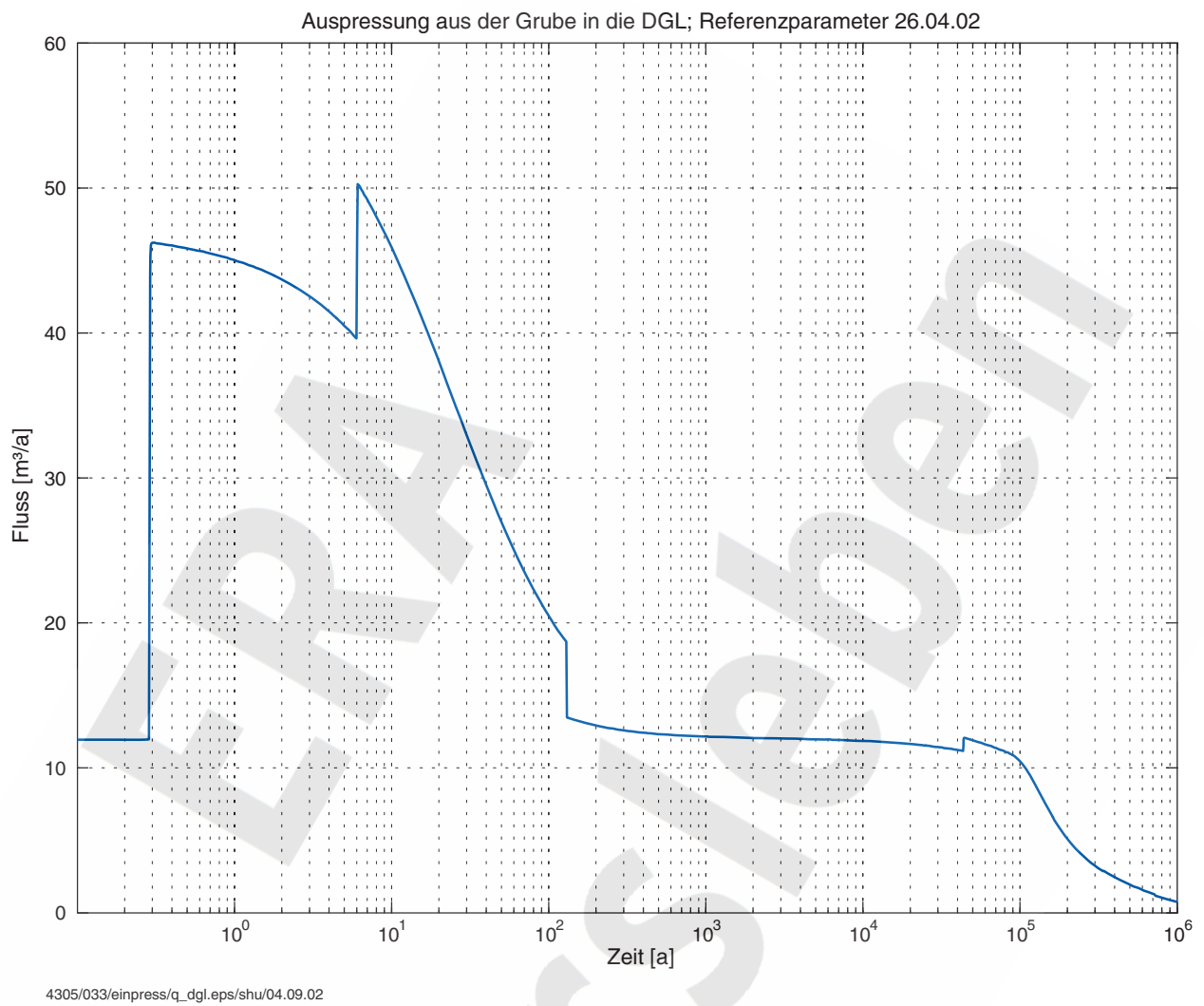


Abbildung 1 Auspressung aus der Grube in die DGL, Referenzfall aus [1]

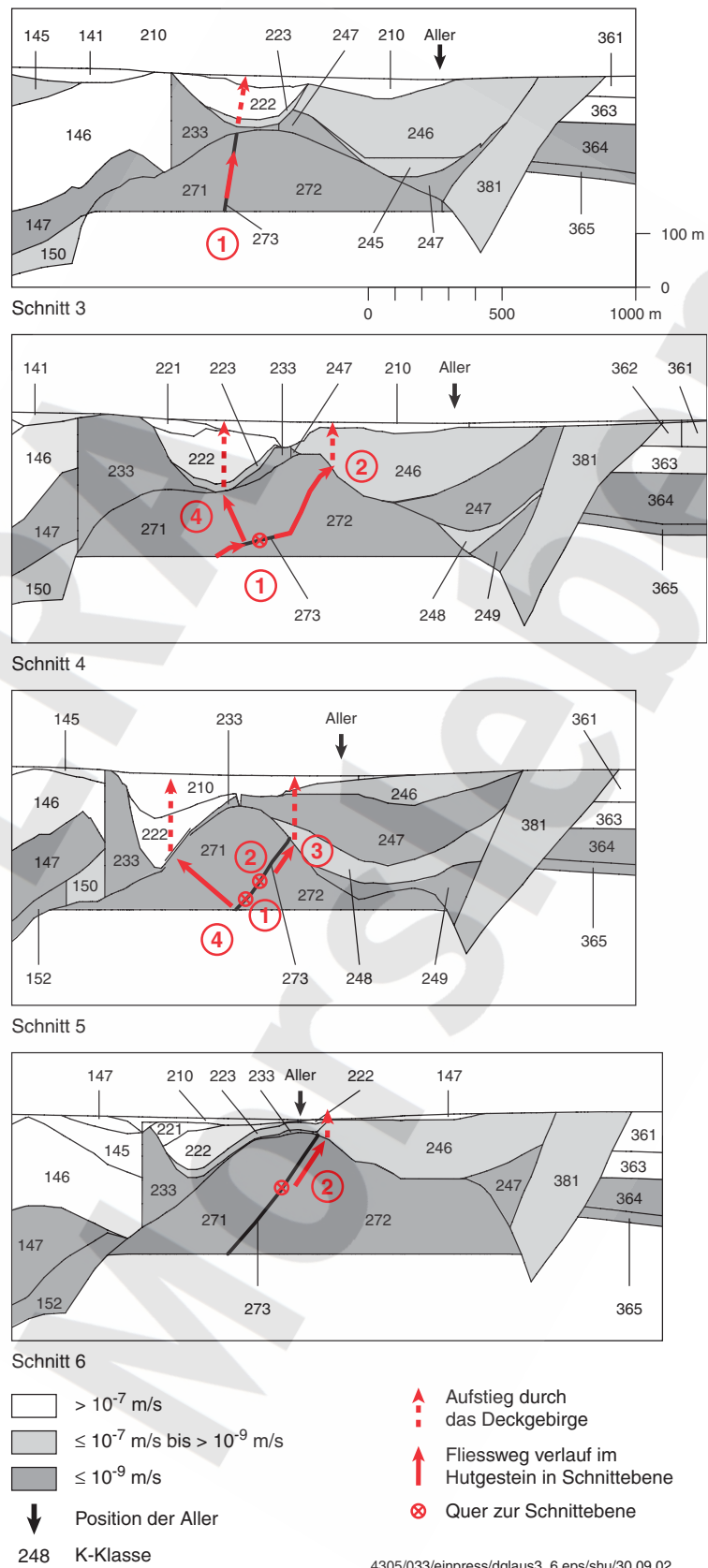
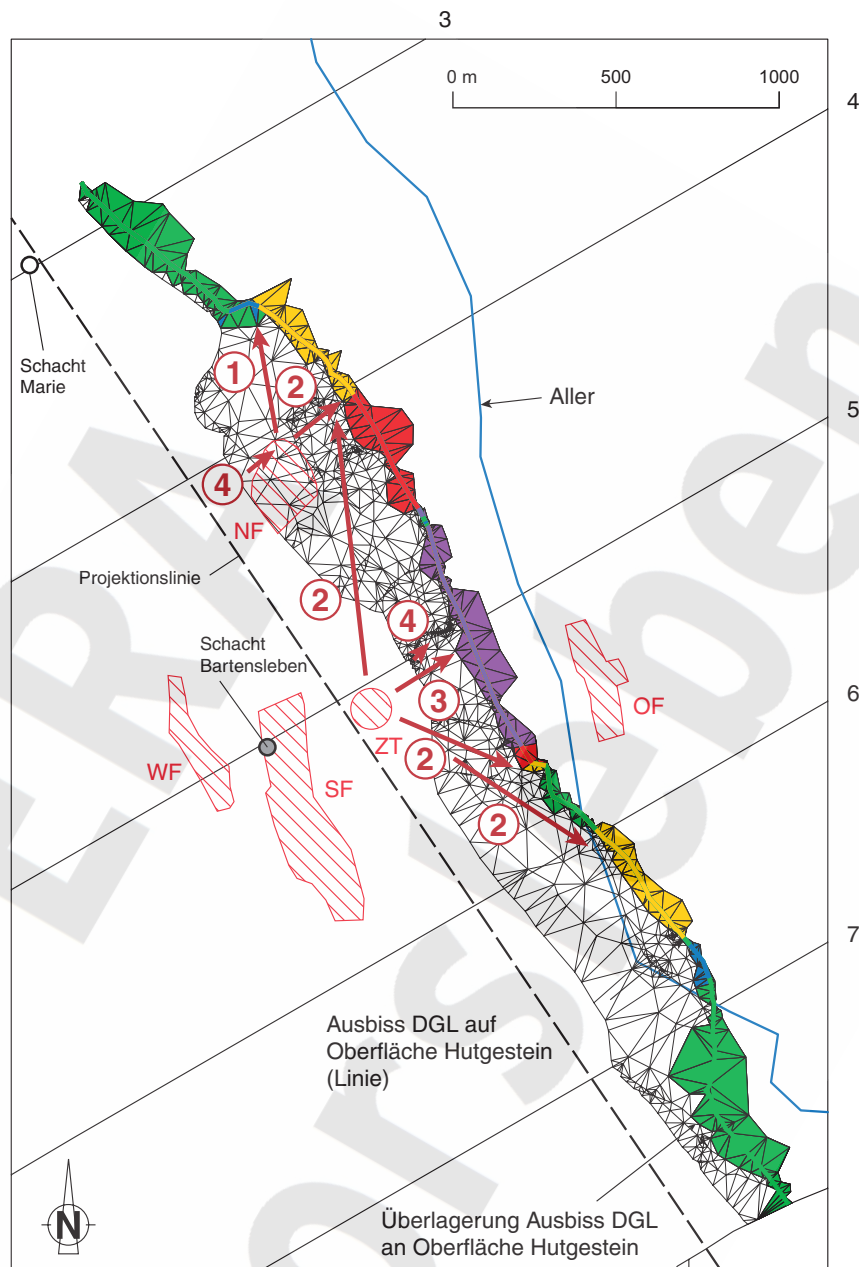


Abbildung 2

3D Süßwassermodell ERAM. Schnitte 3 bis 6 durch das Allertal mit schematisiertem Verlauf der Austragswege W1 bis W4



## K-Klassen

<span style="color: blue;">■</span>	A7/223/kroAlu. $6,0 \cdot 10^{-9}$ m/s
<span style="color: green;">■</span>	A8-K1/233/Jura: $8,2 \cdot 10^{-10}$ m/s
<span style="color: yellow;">■</span>	A9-K2/246/kmSM+ko1: $4,5 \cdot 10^{-8}$ m/s
<span style="color: red;">■</span>	A10/247/kmGo: $1,3 \cdot 10^{-11}$ m/s
<span style="color: purple;">■</span>	A11/248/kmS: $6,9 \cdot 10^{-9}$ m/s

Einlagerungsbereiche  
 NF Nordfeld, WF Westfeld  
 SF Südfeld, OF Ostfeld  
 ZT Zentralteil

① Austragsweg

— — — Projektionslinie für Horizontalansicht DGL von SW (AZ 144°)

4305/033/ausbiss\_2.eps/shu/08.01.03

Abbildung 3

Vertikale Aufsicht auf die Schichtenfolge DGL. Die Begrenzungslinie auf der SW-Seite stellt die Verschneidungslinie mit dem Salzspiegel dar. Auf der NE-Seite Ausbiss der DGL an der Oberfläche des Hutgesteins mit den die Ausbissfläche überlagernden hydrostratigraphischen Einheiten

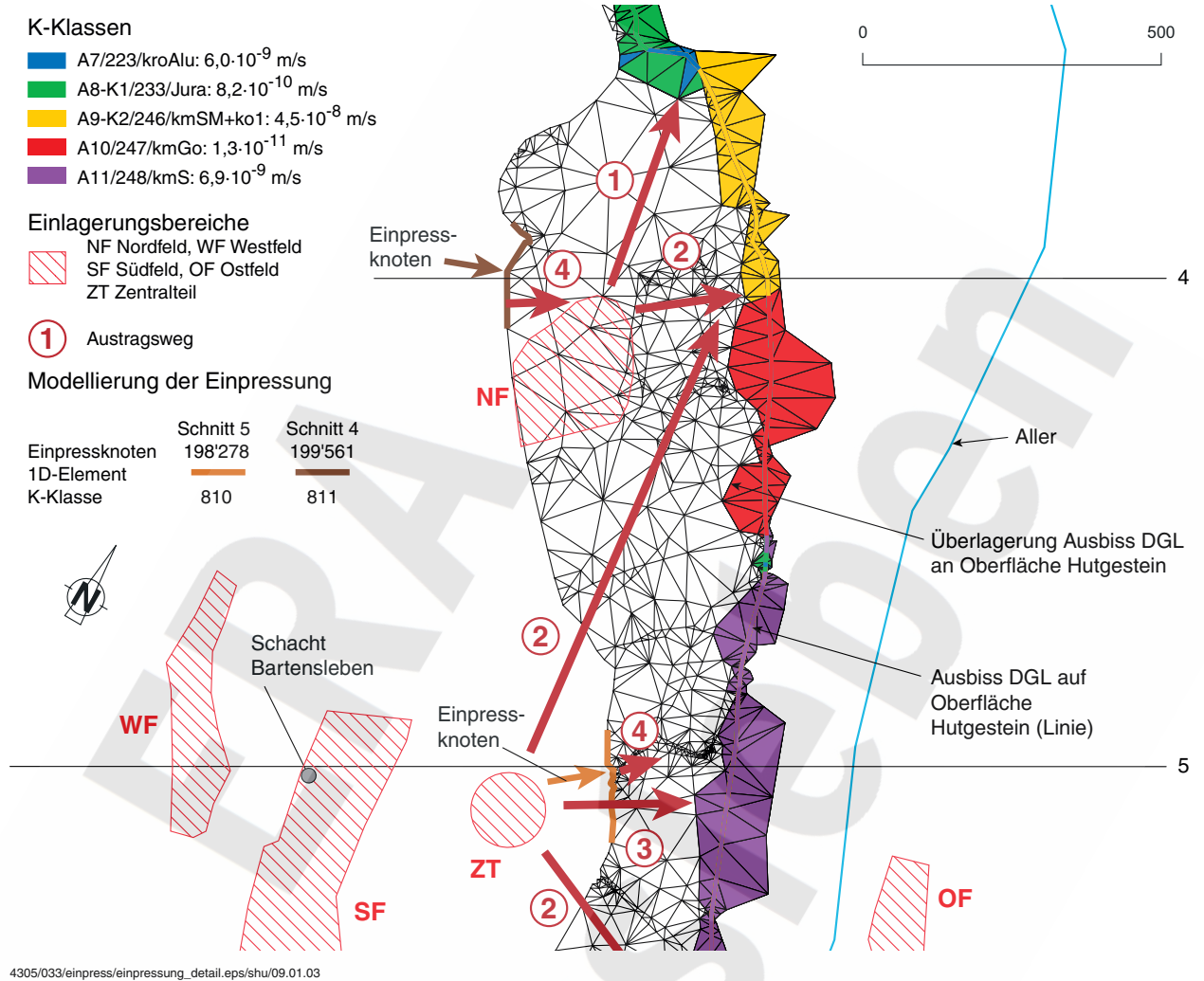


Abbildung 4 Lage der Einpressstellen

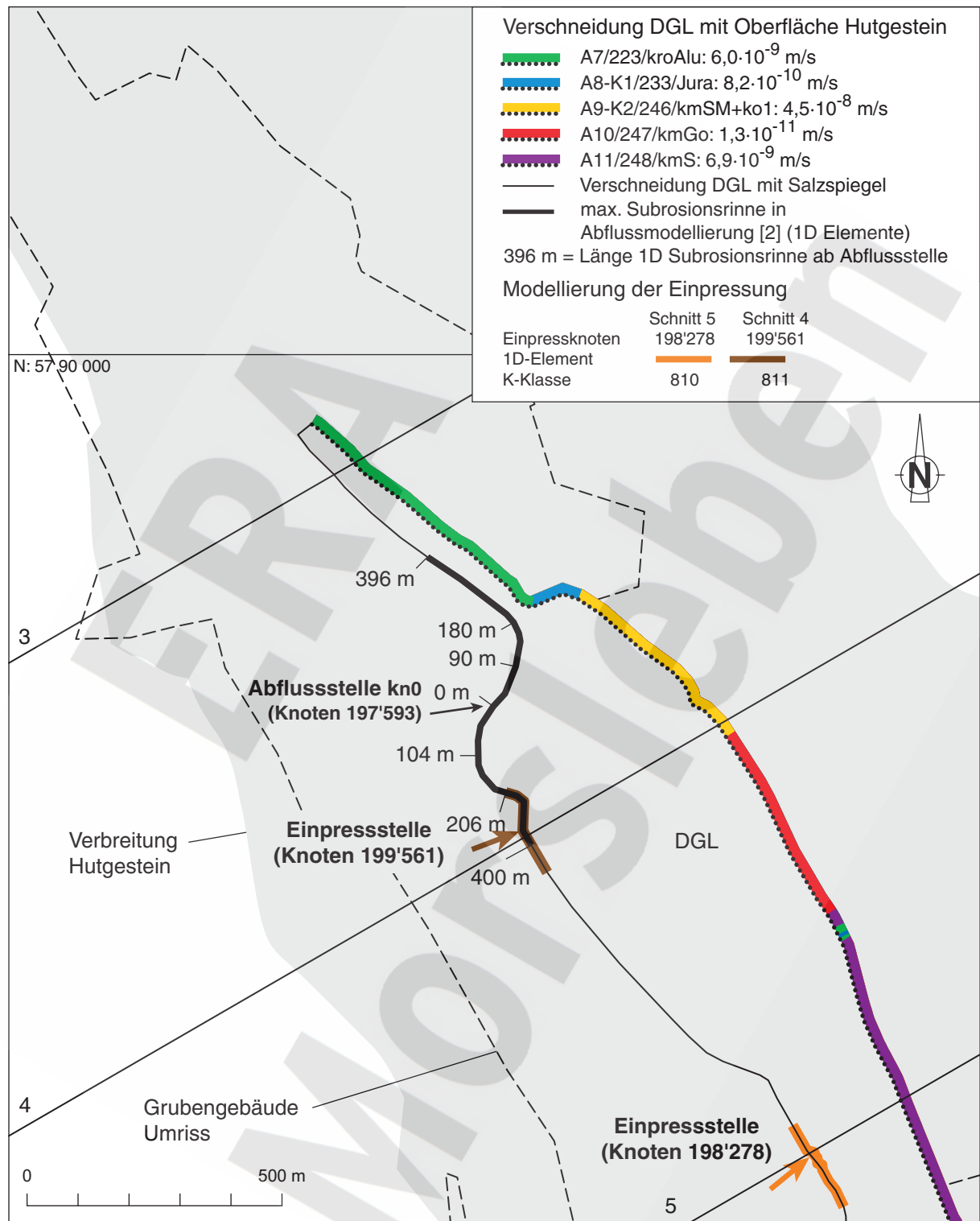


Abbildung 5 Modellierung der Abflussstelle mit  $h=z$  und der Subrosionsrinne (1D-Elemente) in den Abflussrechnungen [2] und der Einpressstellen und Subrosionsrinnen des vorliegenden Berichtes

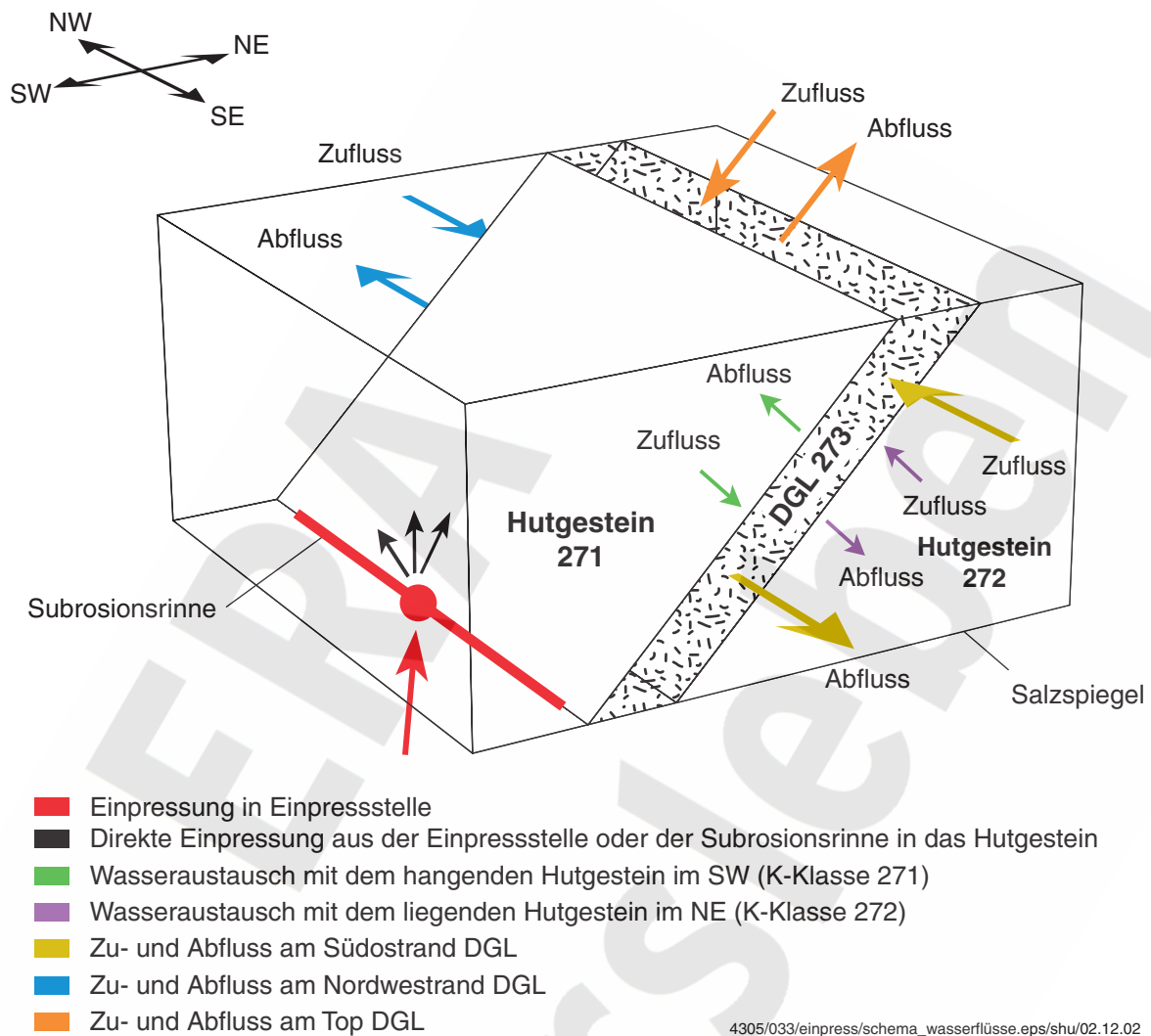
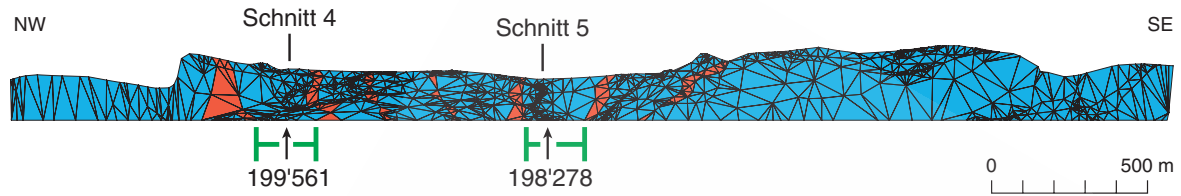


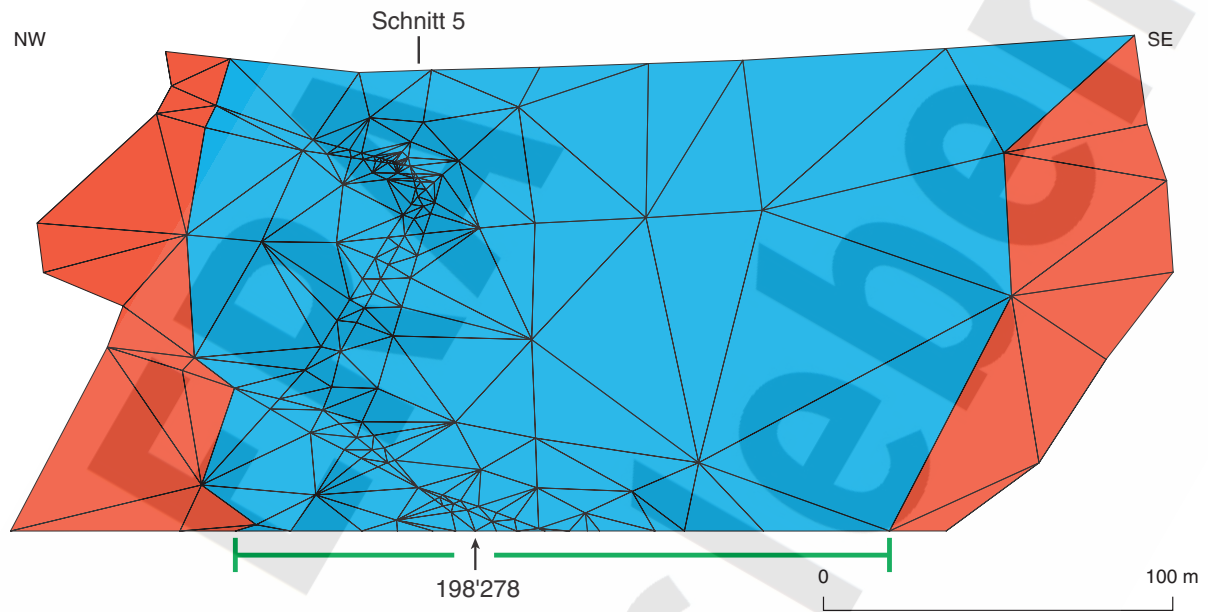
Abbildung 6 3D Schema der Wasserflüsse in den Bilanzierungskörpern



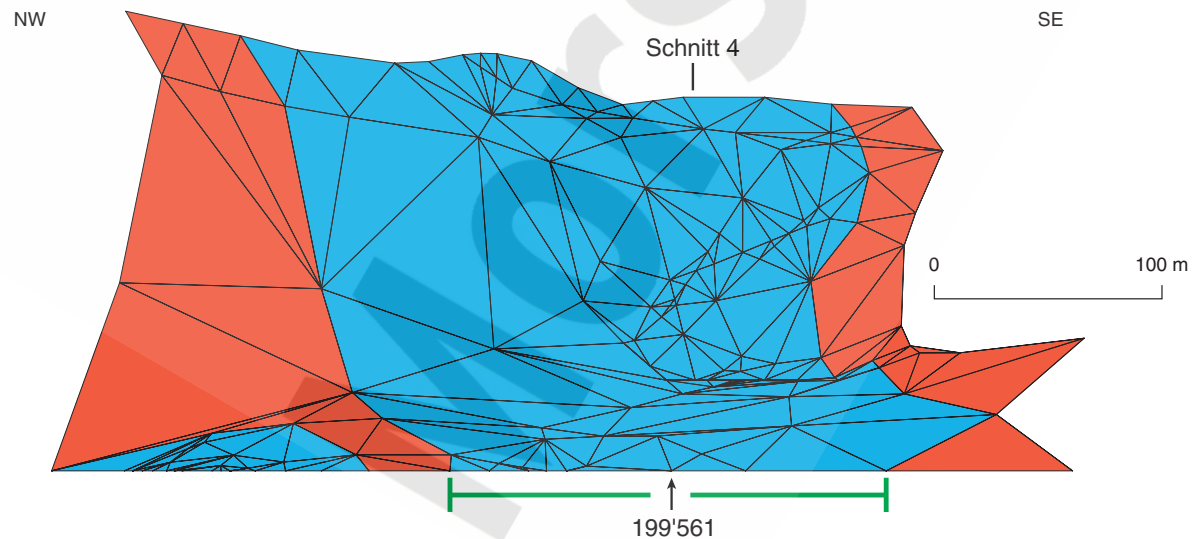
a) Überblick über die Zerblockung der Schichtenfolge DGL.  
 Einpressstellen und Subrosionsrinnen Schnitt 5 und Schnitt 4






b) Schnitt 5. Bilanzierungskörper, Einpressstelle, Subrosionsrinne



c) Schnitt 4. Bilanzierungskörper, Einpressstelle, Subrosionsrinne



 Subrosionsrinne (1D Elemente)  
 198'278 Einpressstelle (Knotennummer) im Schnitt 5  
 199'561 Einpressstelle (Knotennummer) im Schnitt 4

**K-Klassen**  
 273  
 271/272

4305/033/einpress/blocking.eps/shu/02.12.02

Abbildung 7 Zerblockung der Schichtenfolge DGL

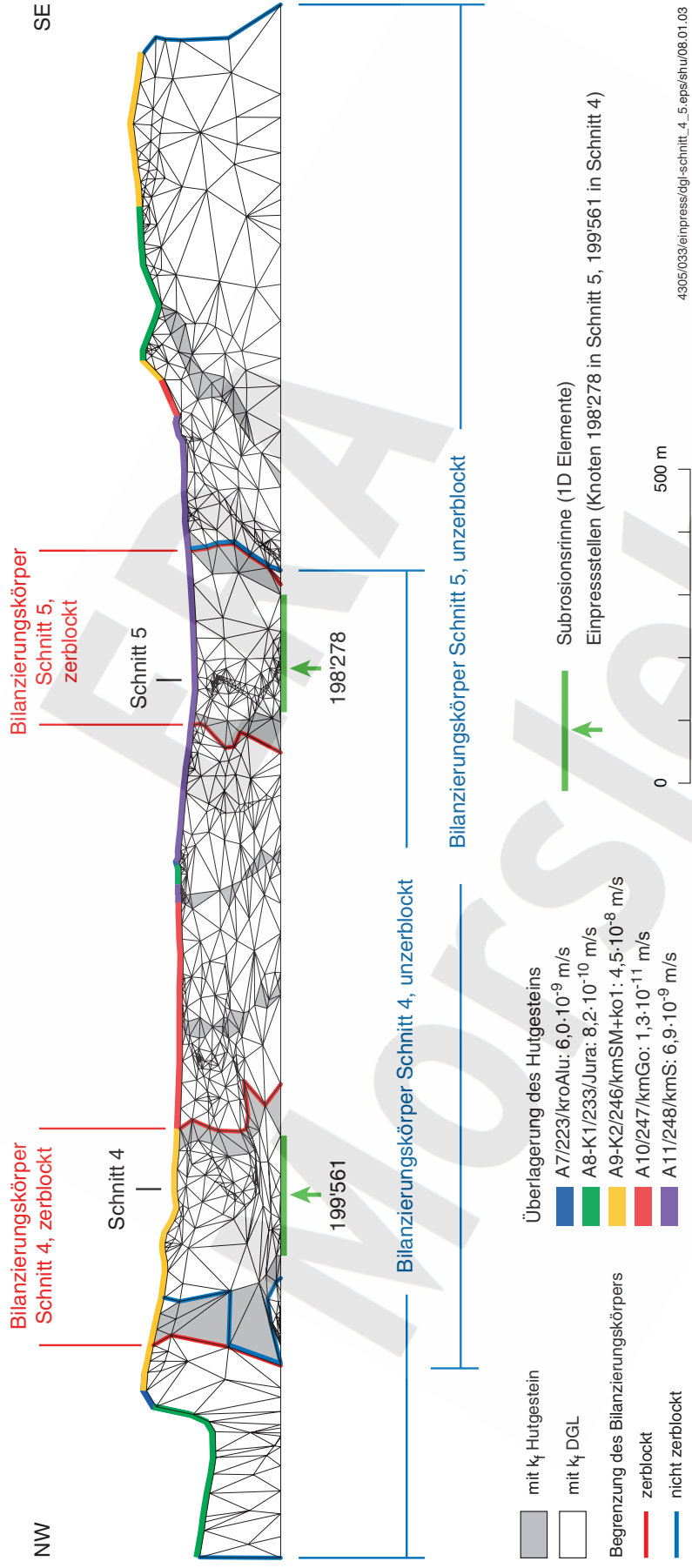


Abbildung 8 Einpressorte Schnitt 5 (Knoten 198'278) und Schnitt 4 (Knoten 199'561) mit den Bilanzierungskörpern Schnitt 5 und Schnitt 4 der unzerblockten (blau) sowie der zerblockten (rot) Schichtenfolge DGL. Horizontalansicht der DGL von SW

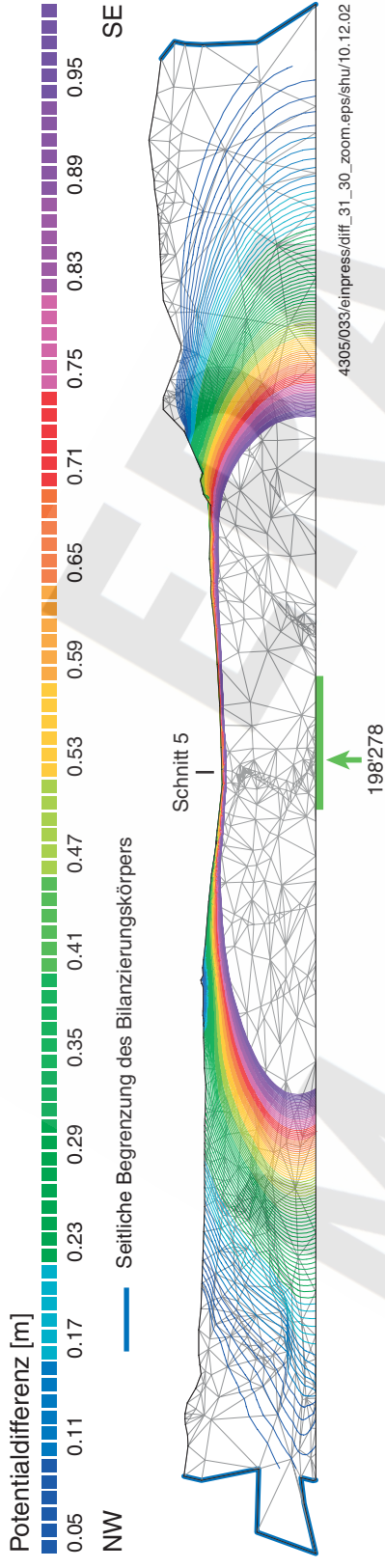


Abbildung 9 Einpressung in Schnitt 5 in die unzerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44\_31 – R44\_30 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches

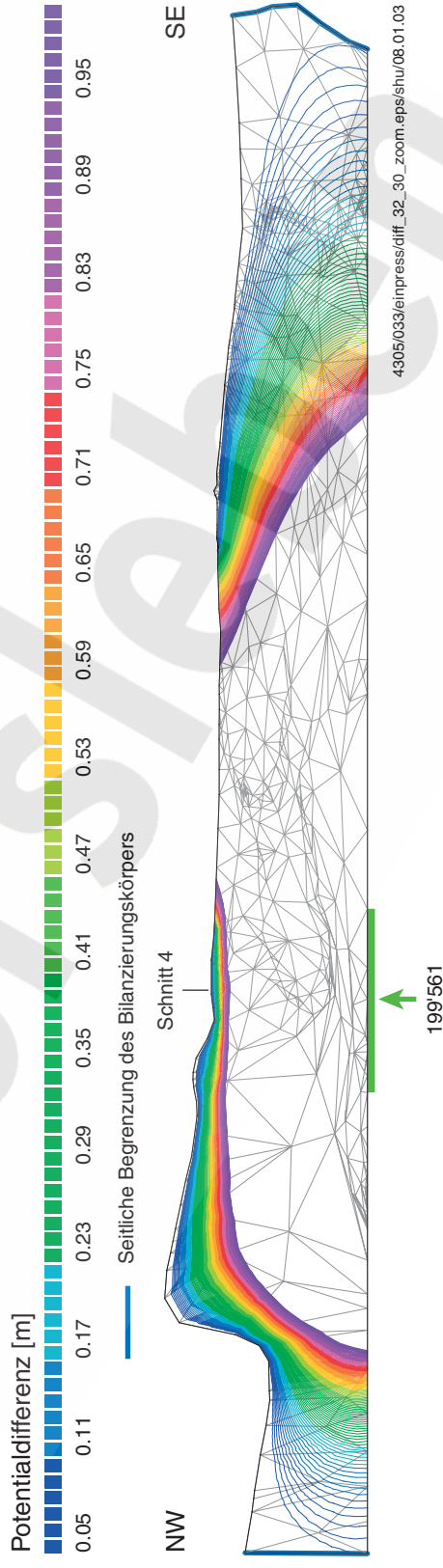


Abbildung 10 Einpressung in Schnitt 4 in die unzerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44\_32 – R44\_30 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches

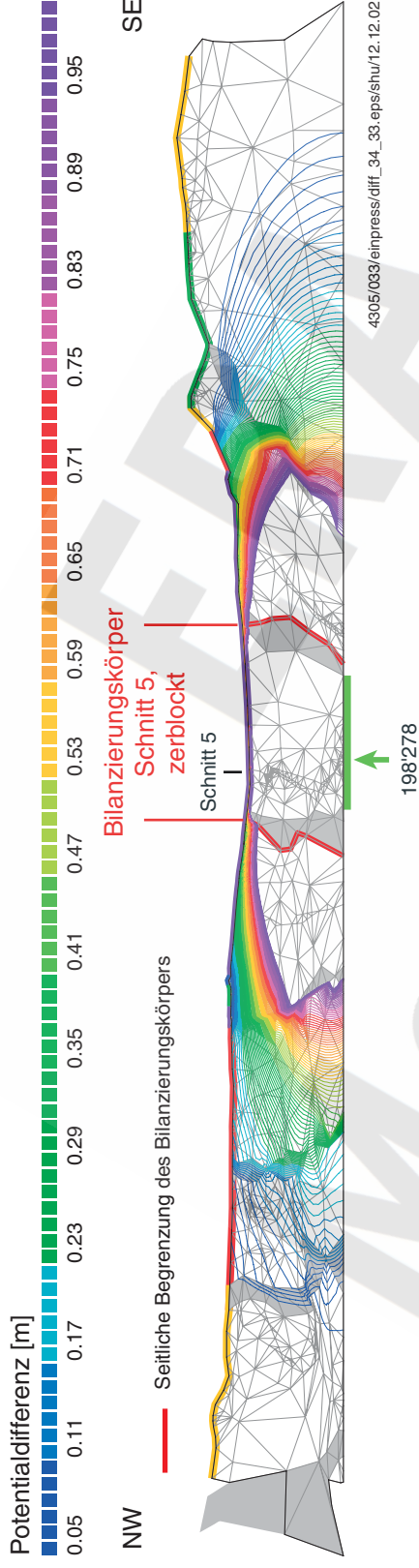


Abbildung 11 Einpressung in Schnitt 5 in die zerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44\_34 – R44\_33 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches

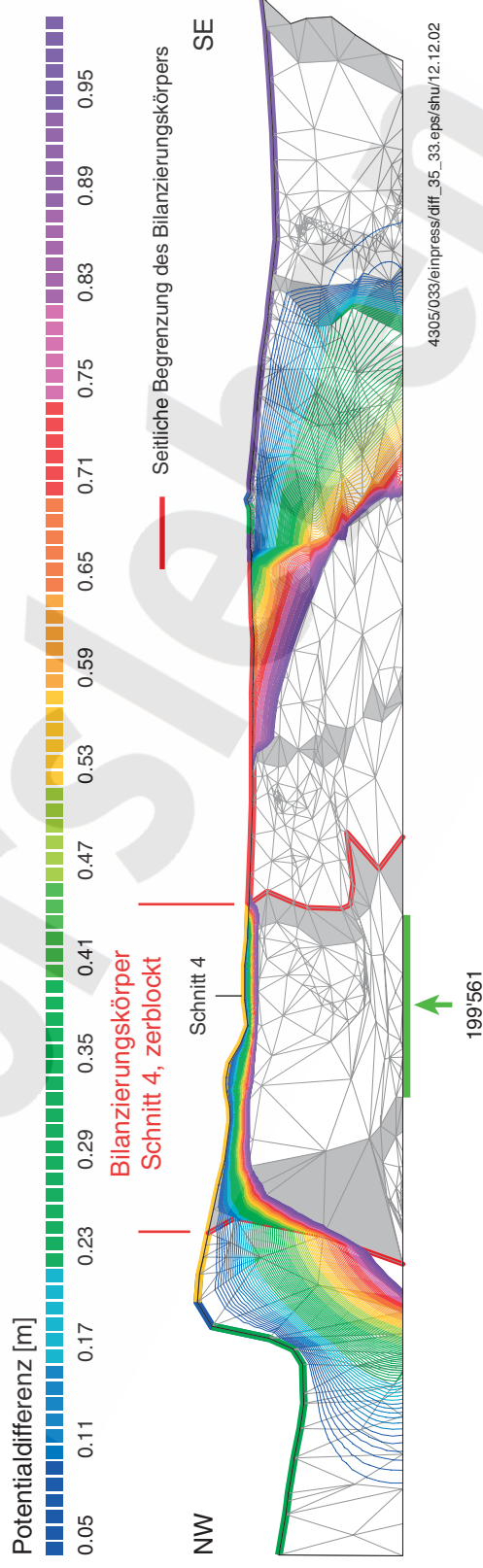
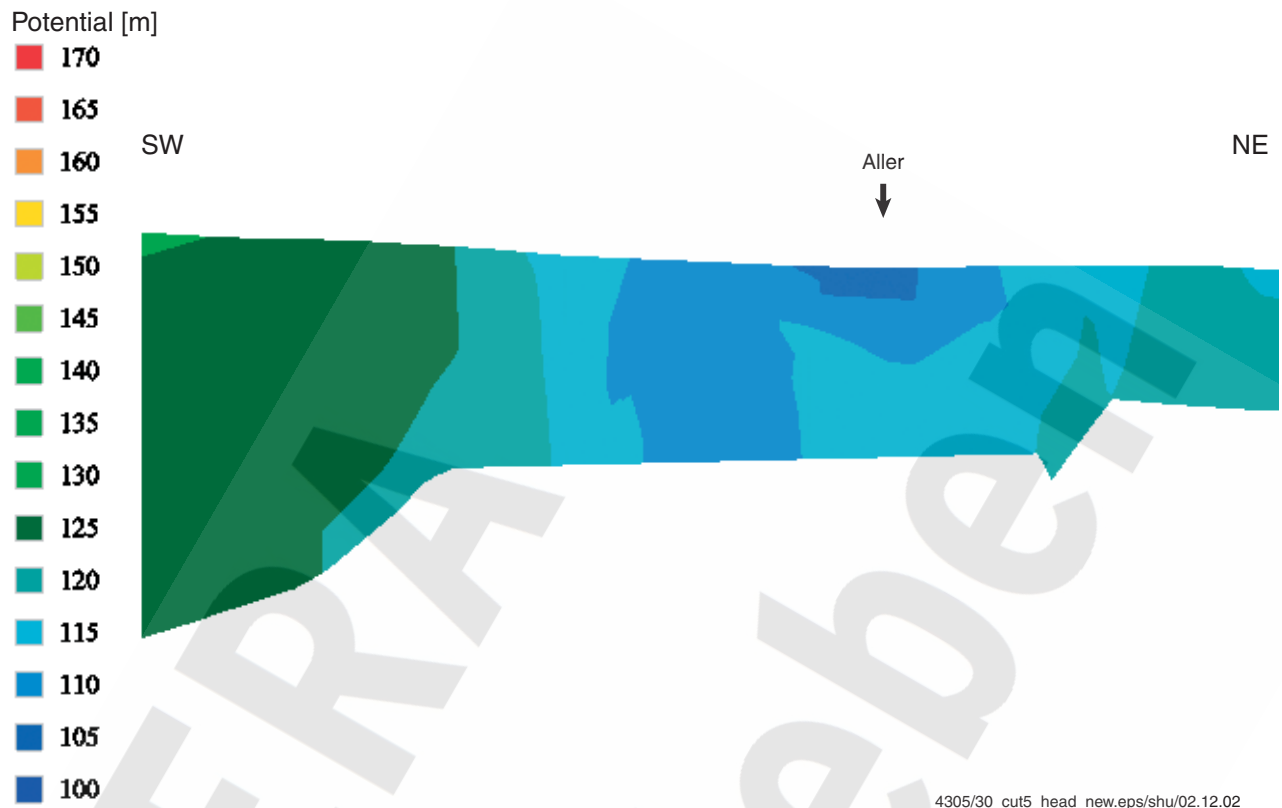
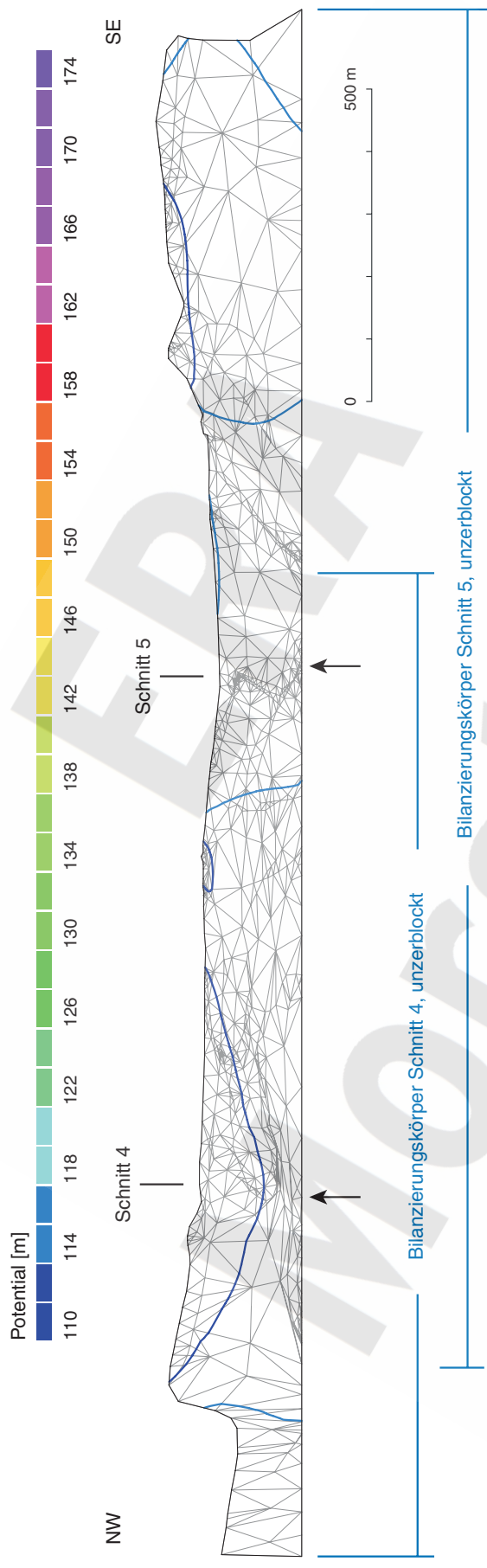


Abbildung 12 Einpressung in Schnitt 4 in die zerblockte DGL. Potentialdifferenz Rechenfall R44\_35 – R44\_33 und Festlegung des Bilanzierungsbereiches



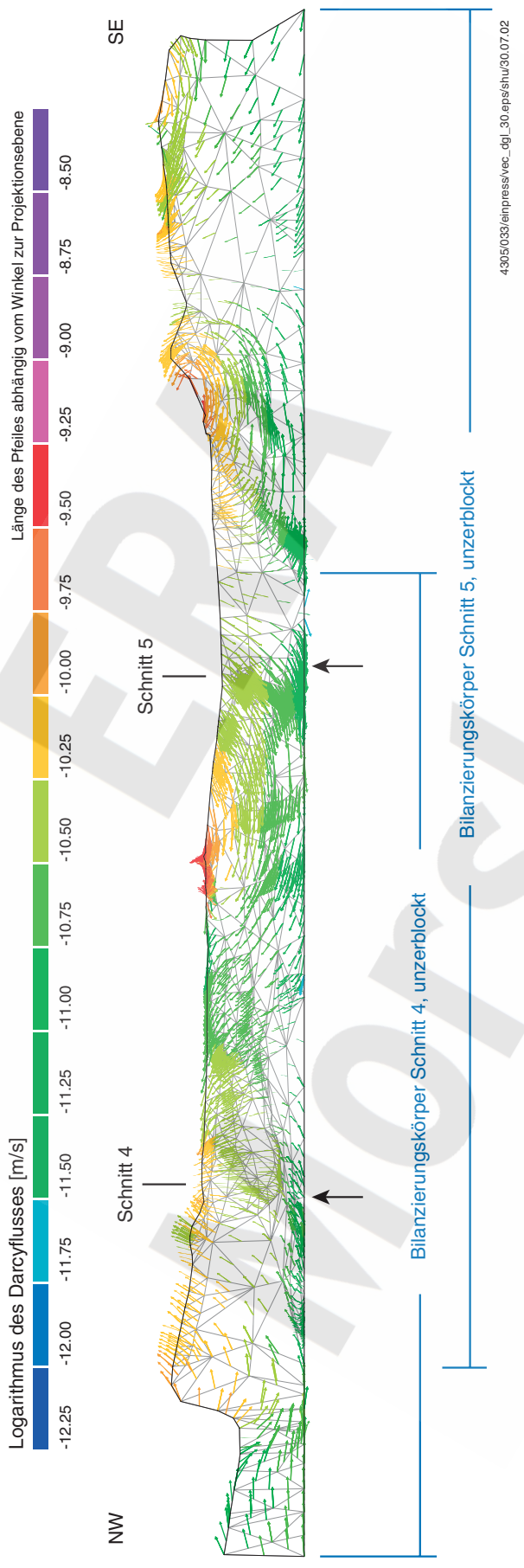
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, ohne Einpressung

Abbildung 13 Rechenfall R44\_30. Potentialverteilung entlang Schnitt 5



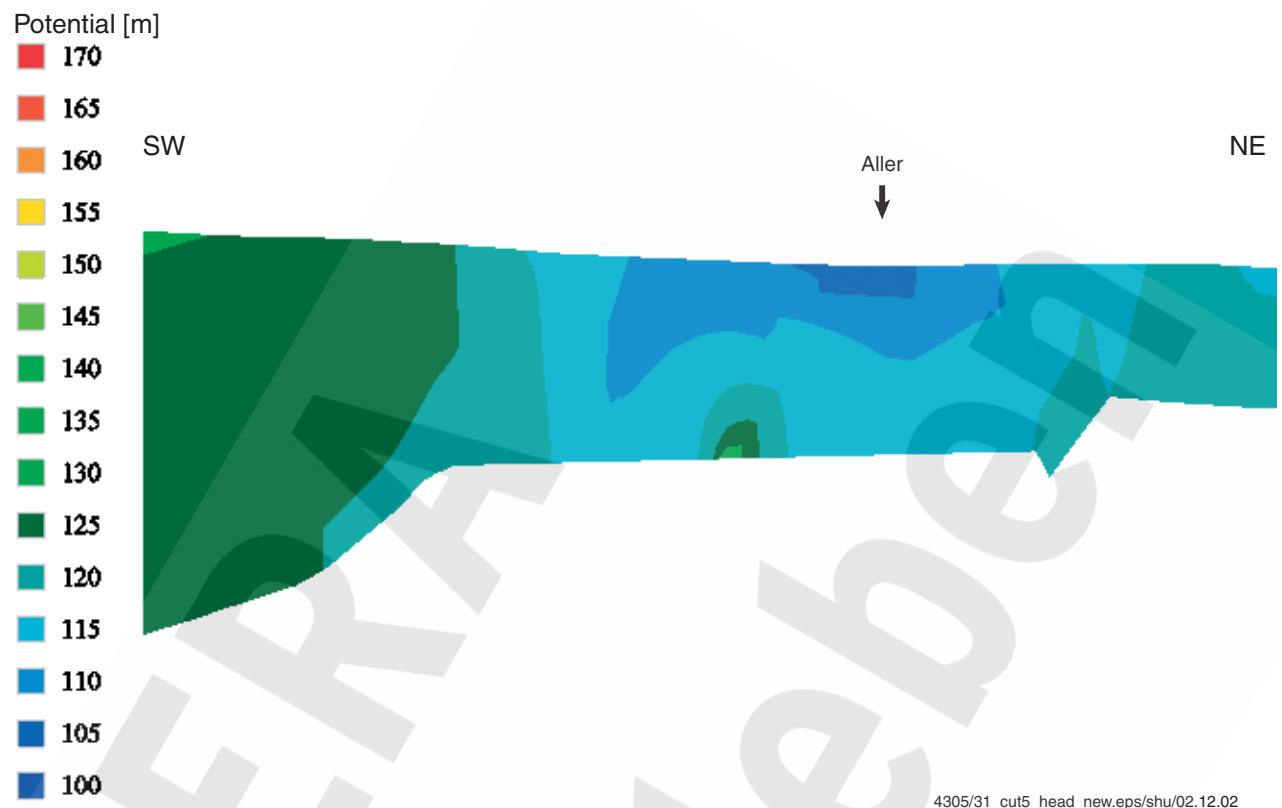
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, ohne Einpressung

Abbildung 14 Rechenfall R44\_30. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL ohne Einpressung



$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, ohne Einpressung

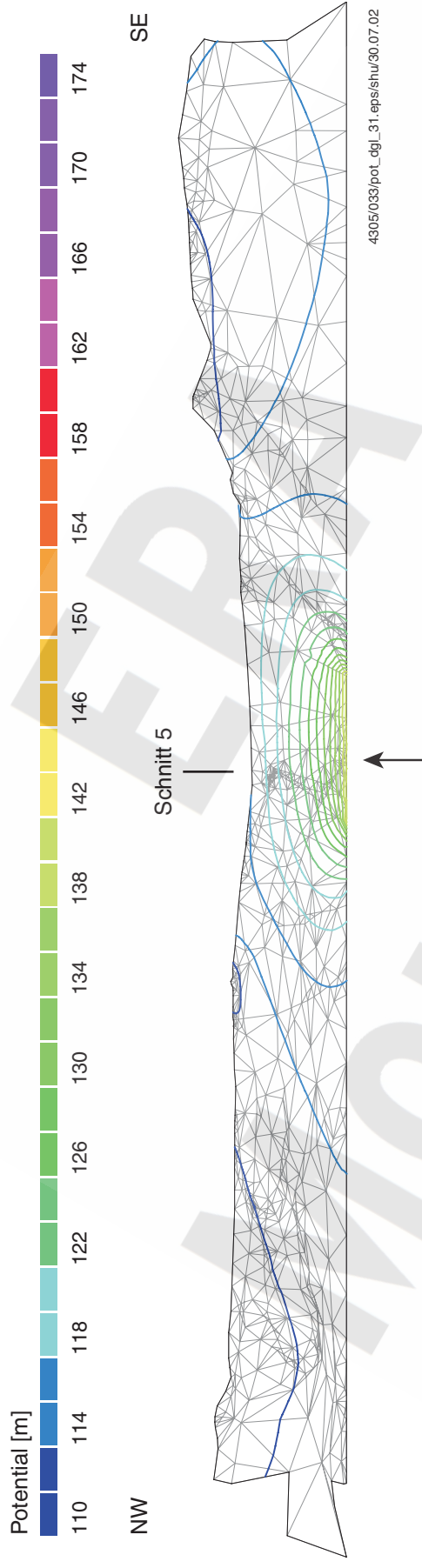
Abbildung 15 Rechenfall R44\_30. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL



$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

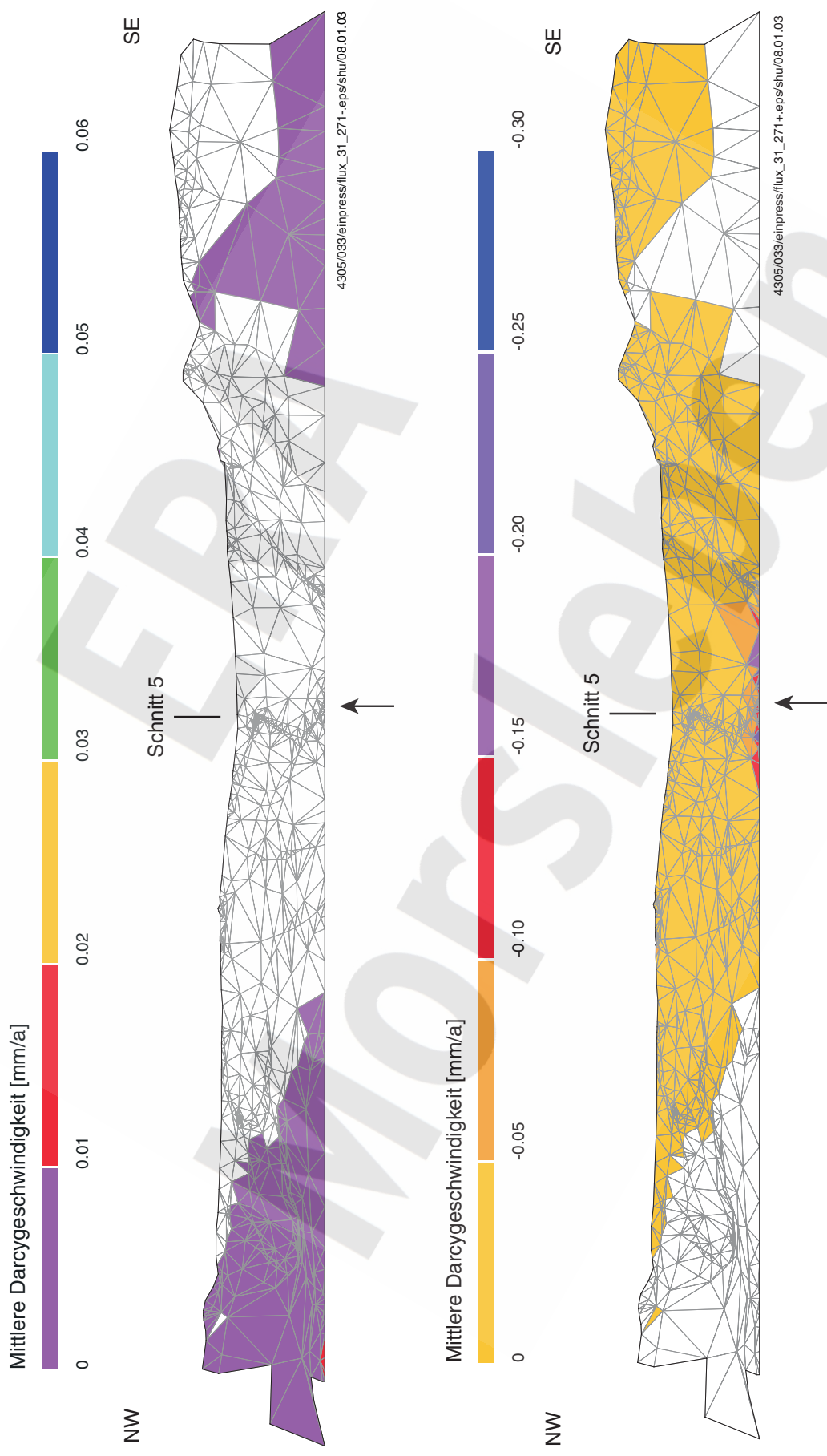
Abbildung 16 Rechenfall R44\_31. Potentialverteilung entlang Schnitt 5





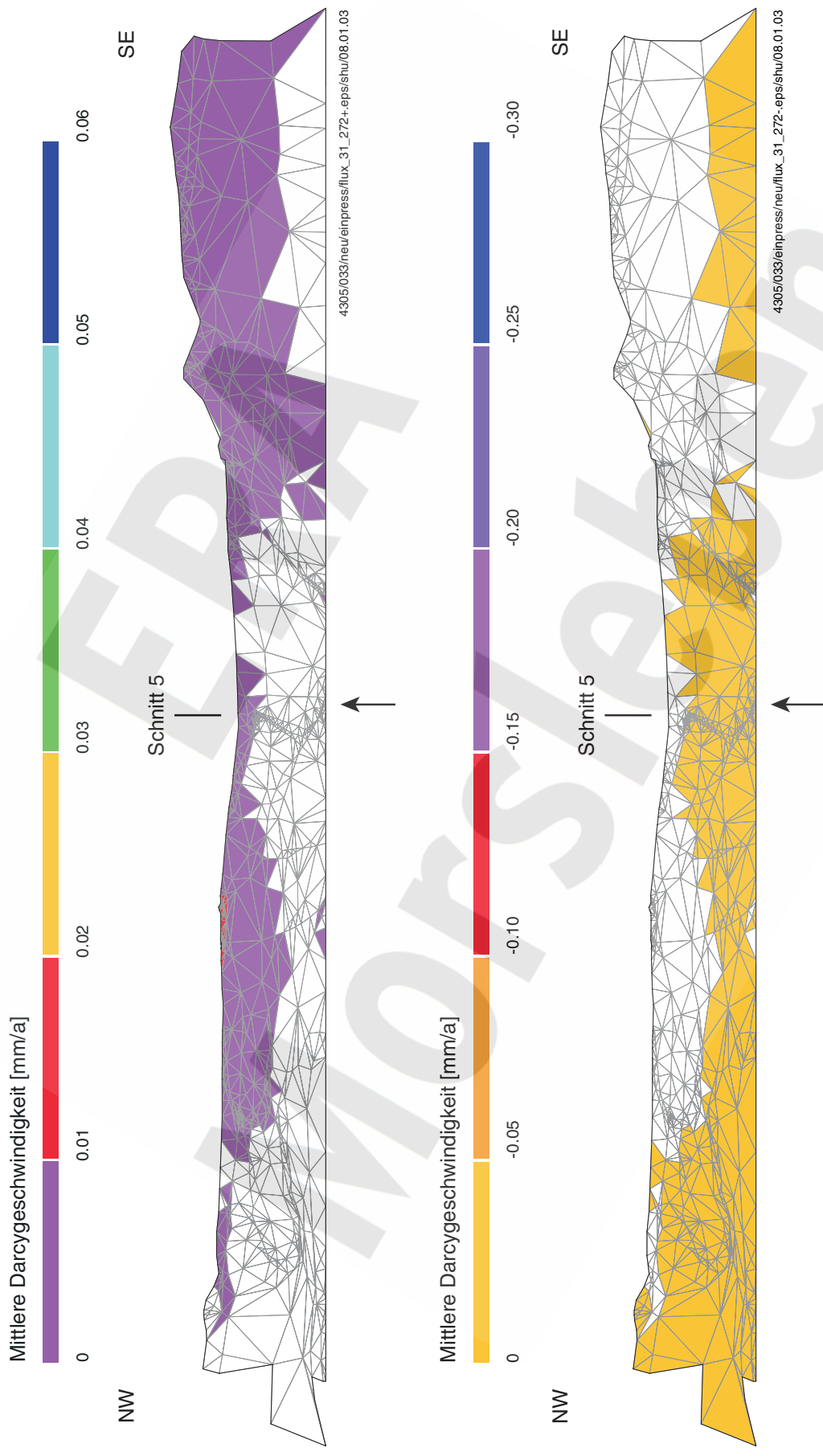
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 17 Rechenfall R44\_31, Einpressung im Gebiet von Schnitt 5. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers



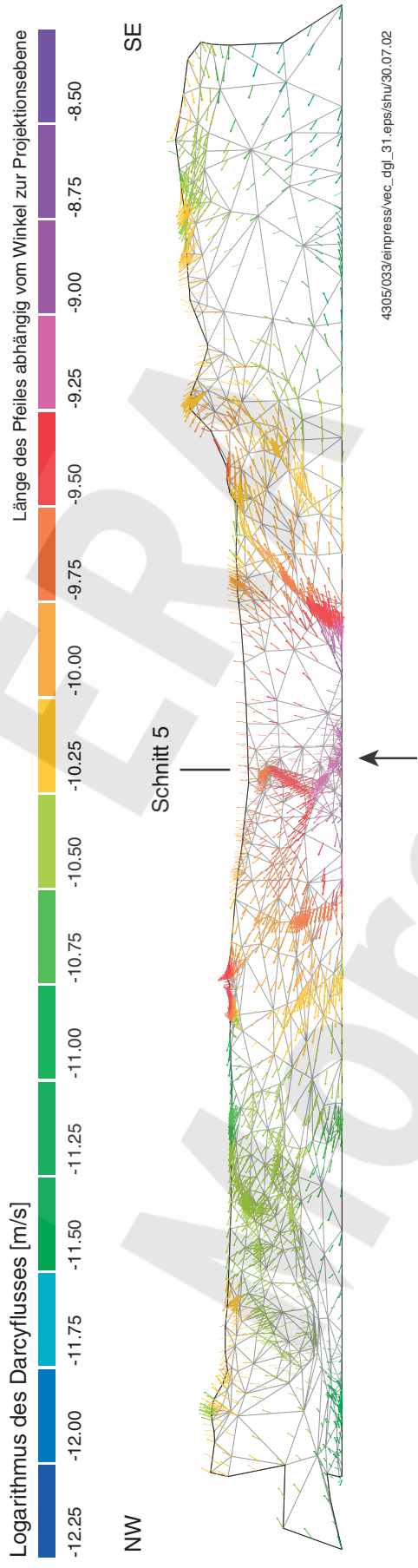
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 18 Rechenfall R44\_31. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)



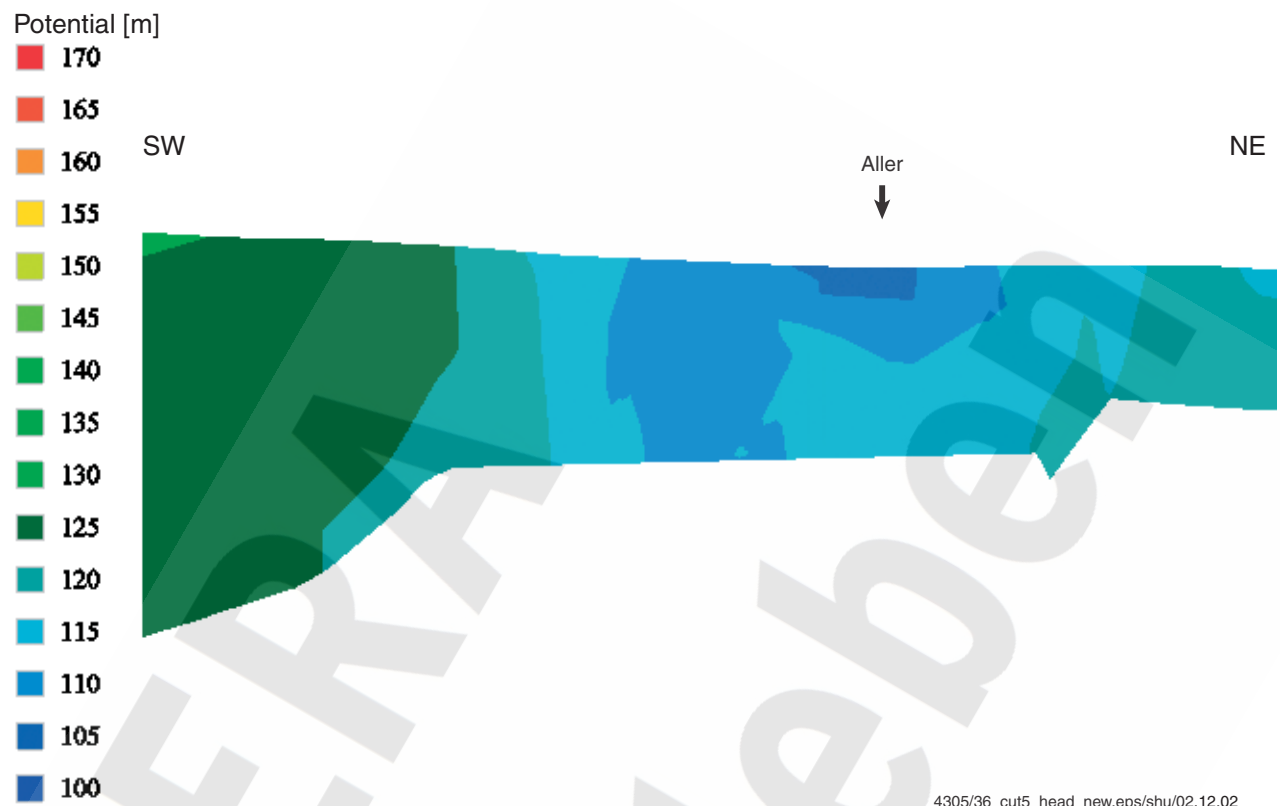
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 19 Rechenfall R44\_31. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)



$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 20 Rechenfall R44\_31, Einpressung im Gebiet von Schnitt 5. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers



$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, ohne Einpressung

Abbildung 21 Rechenfall R44\_36. Potentialverteilung entlang Schnitt 5

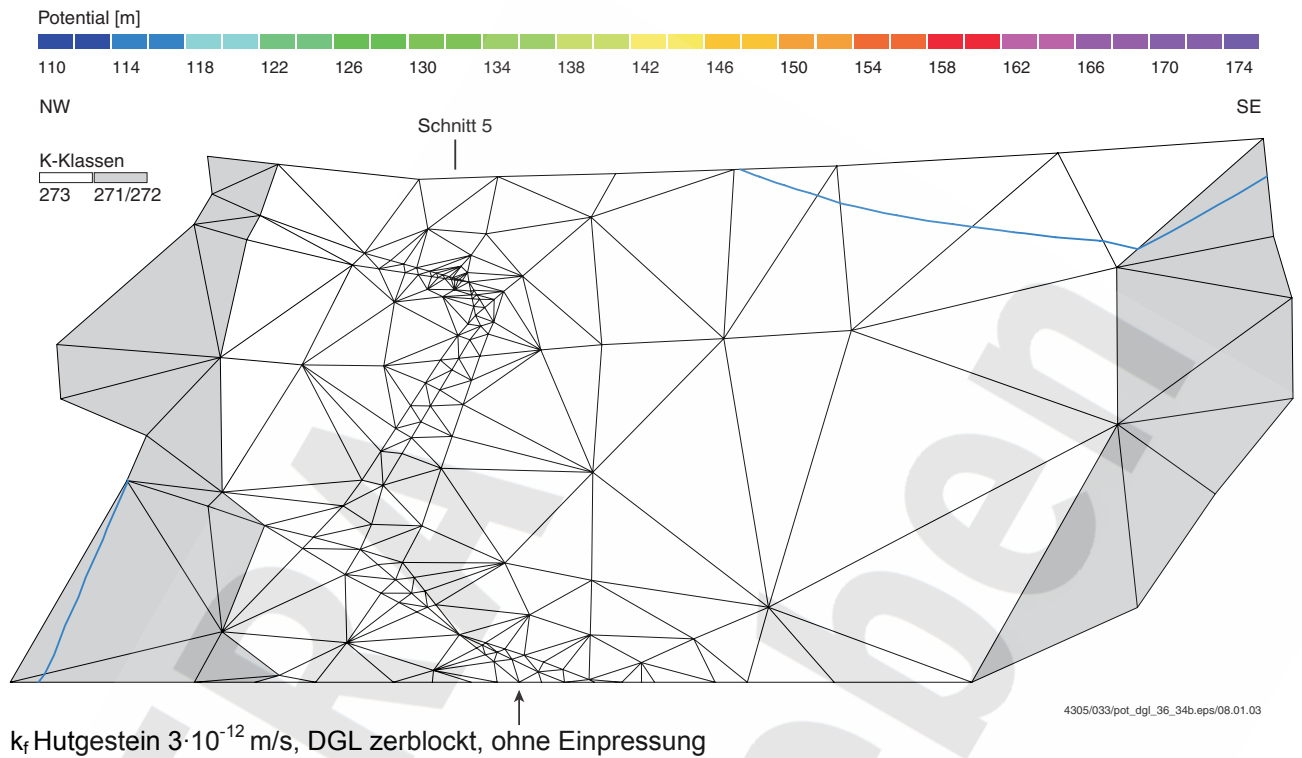


Abbildung 22 Rechenfall R44\_36. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 5

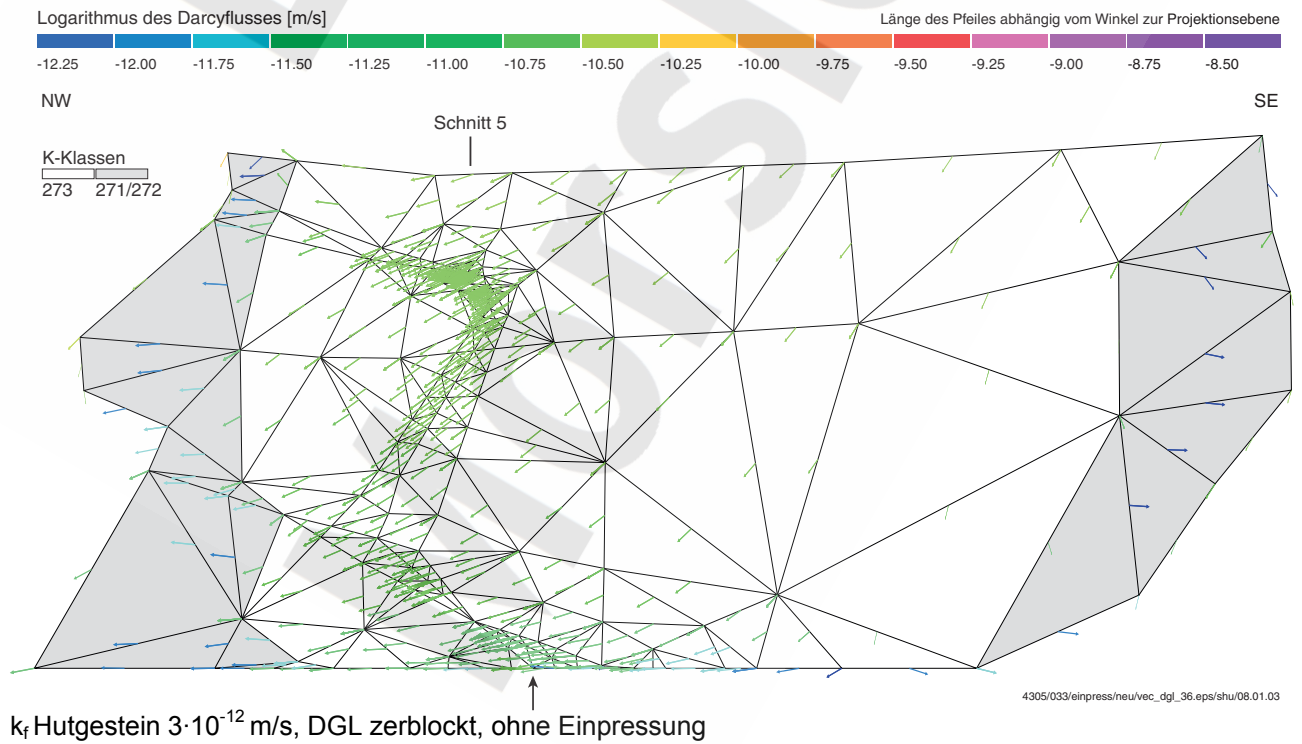
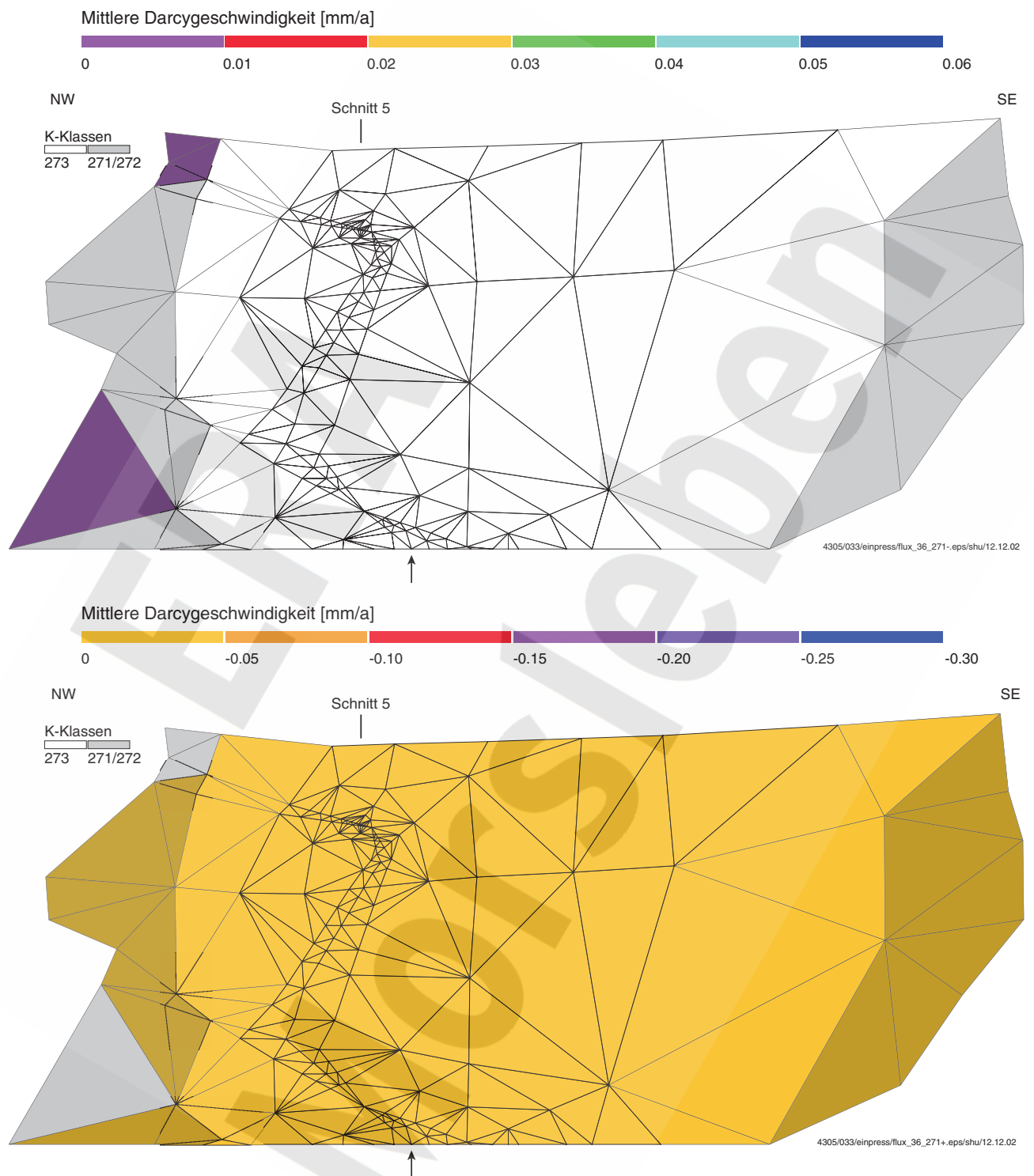
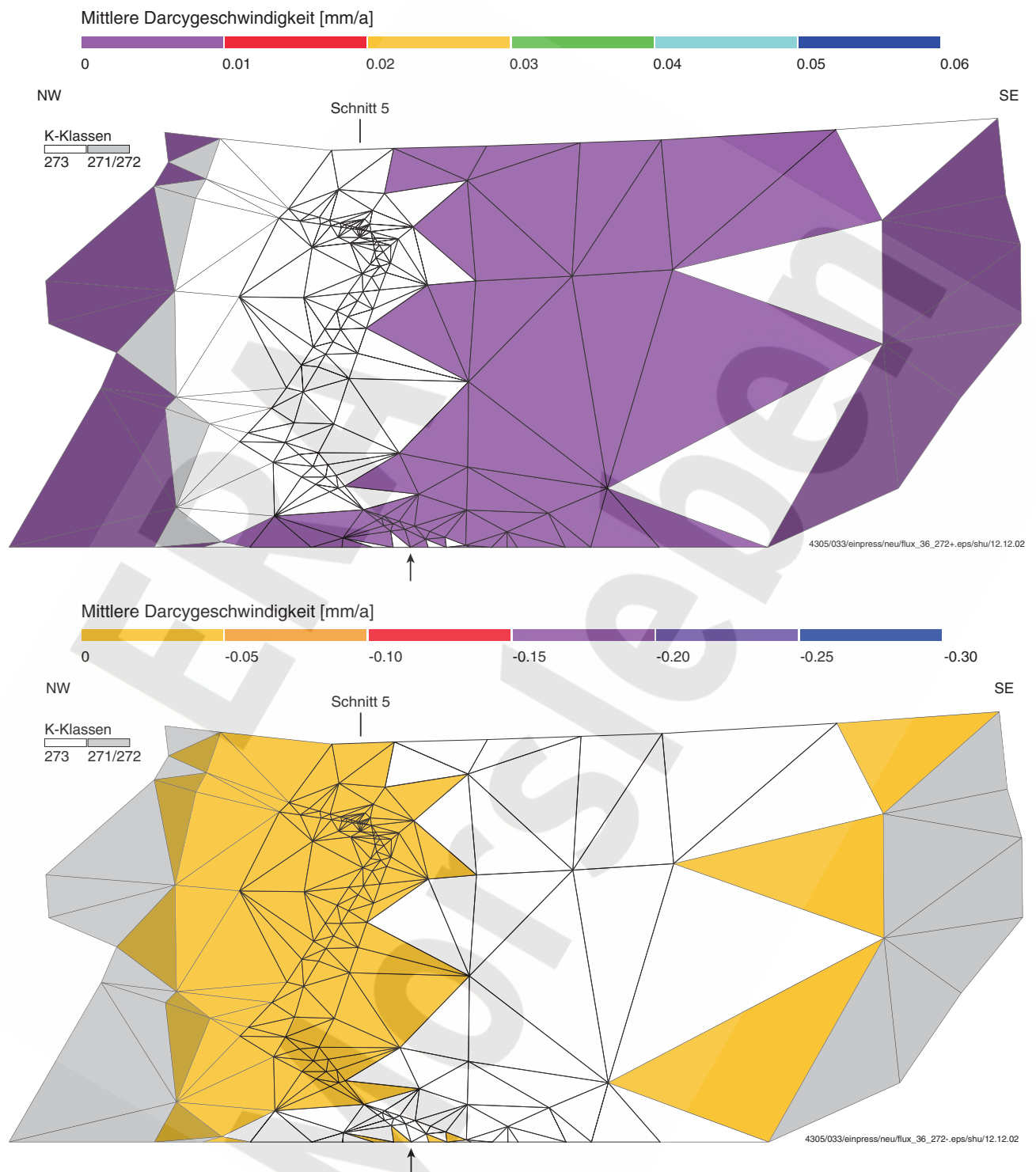


Abbildung 23 Rechenfall R44\_36. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 5



$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, ohne Einpressung

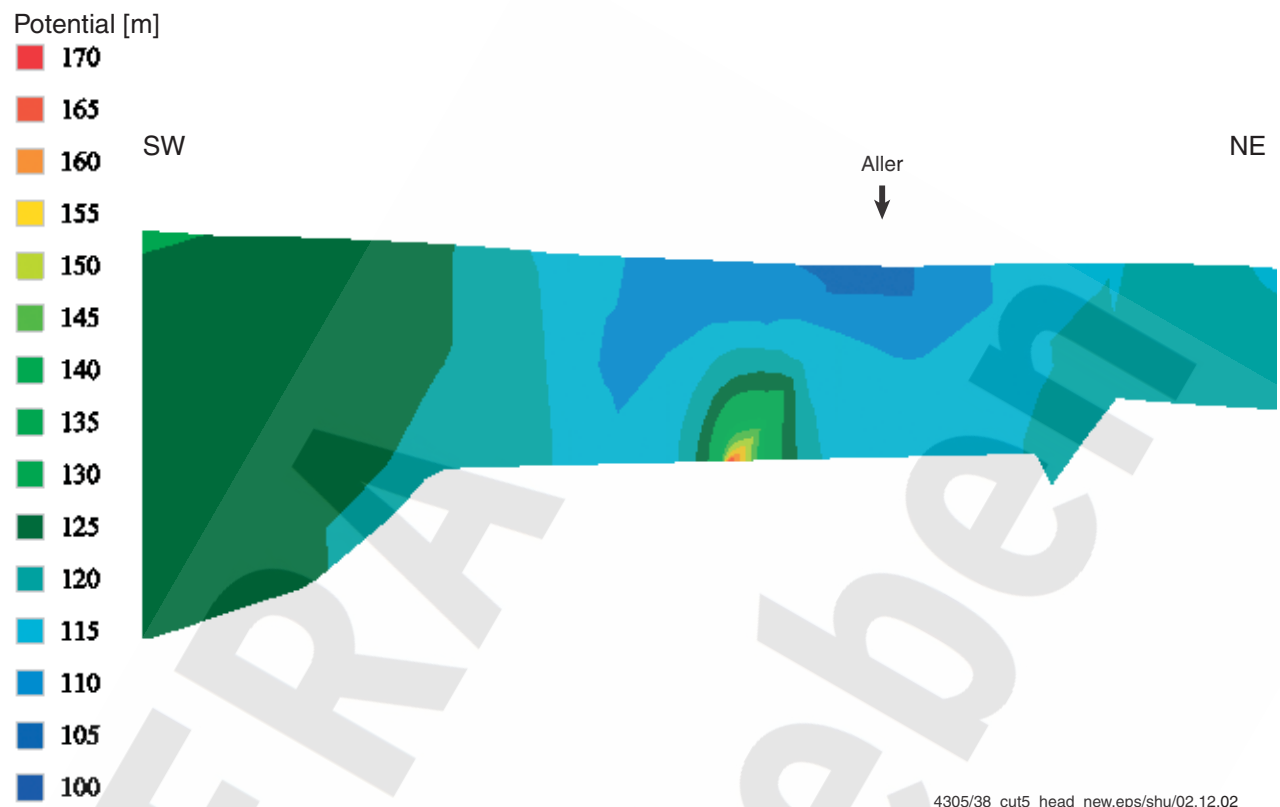
Abbildung 24 Rechenfall R44\_36. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)



$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, ohne Einpressung

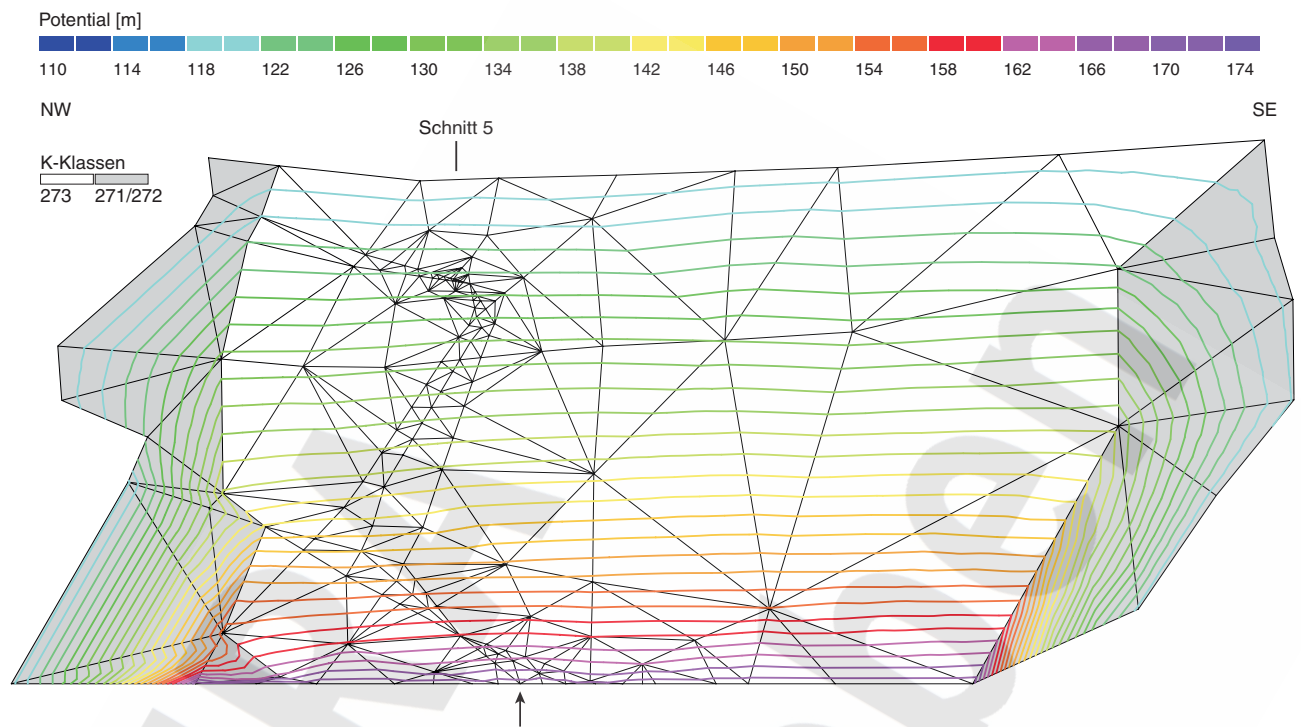
Abbildung 25 Rechenfall R44\_36. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)





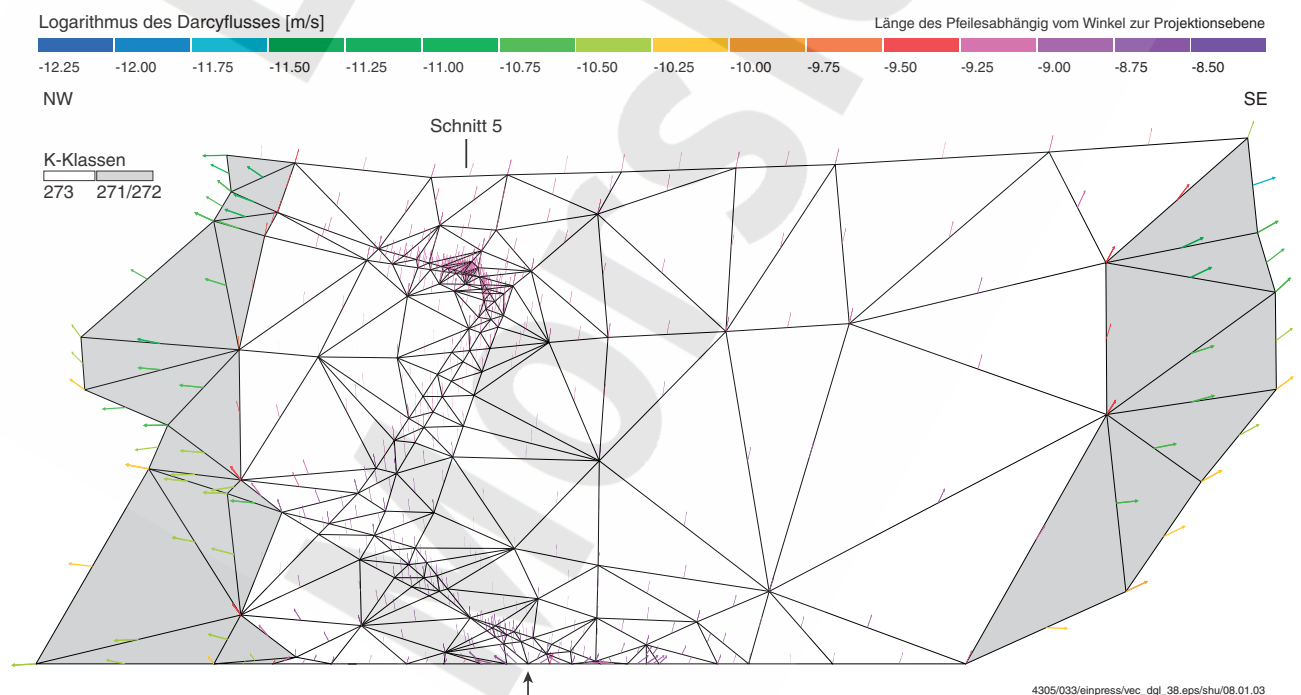
$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 26 Rechenfall R44\_37. Potentialverteilung entlang Schnitt 5



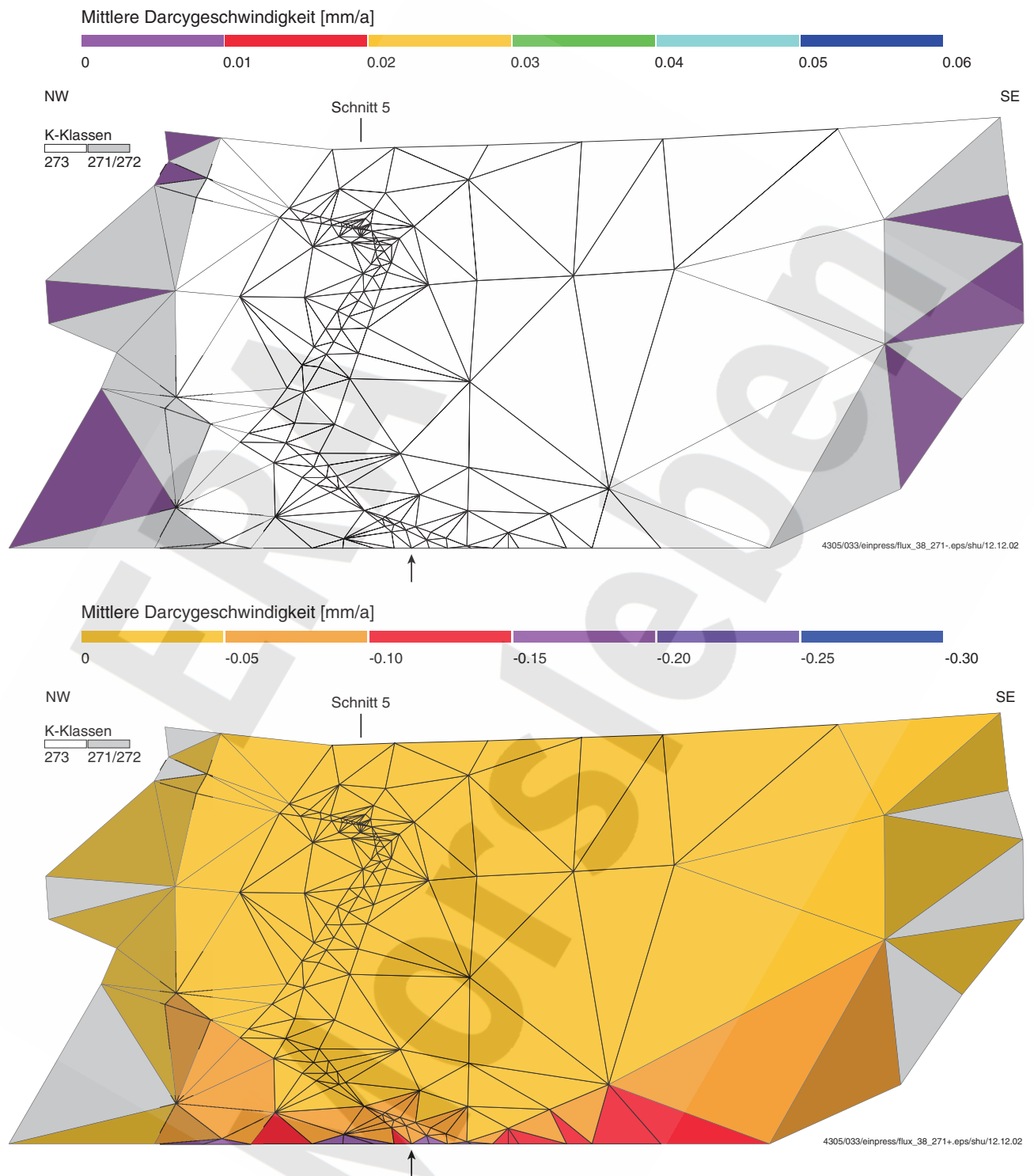
$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 27 Rechenfall R44\_37. Potentialverteilung im Bilanzierungskörper Schnitt 5



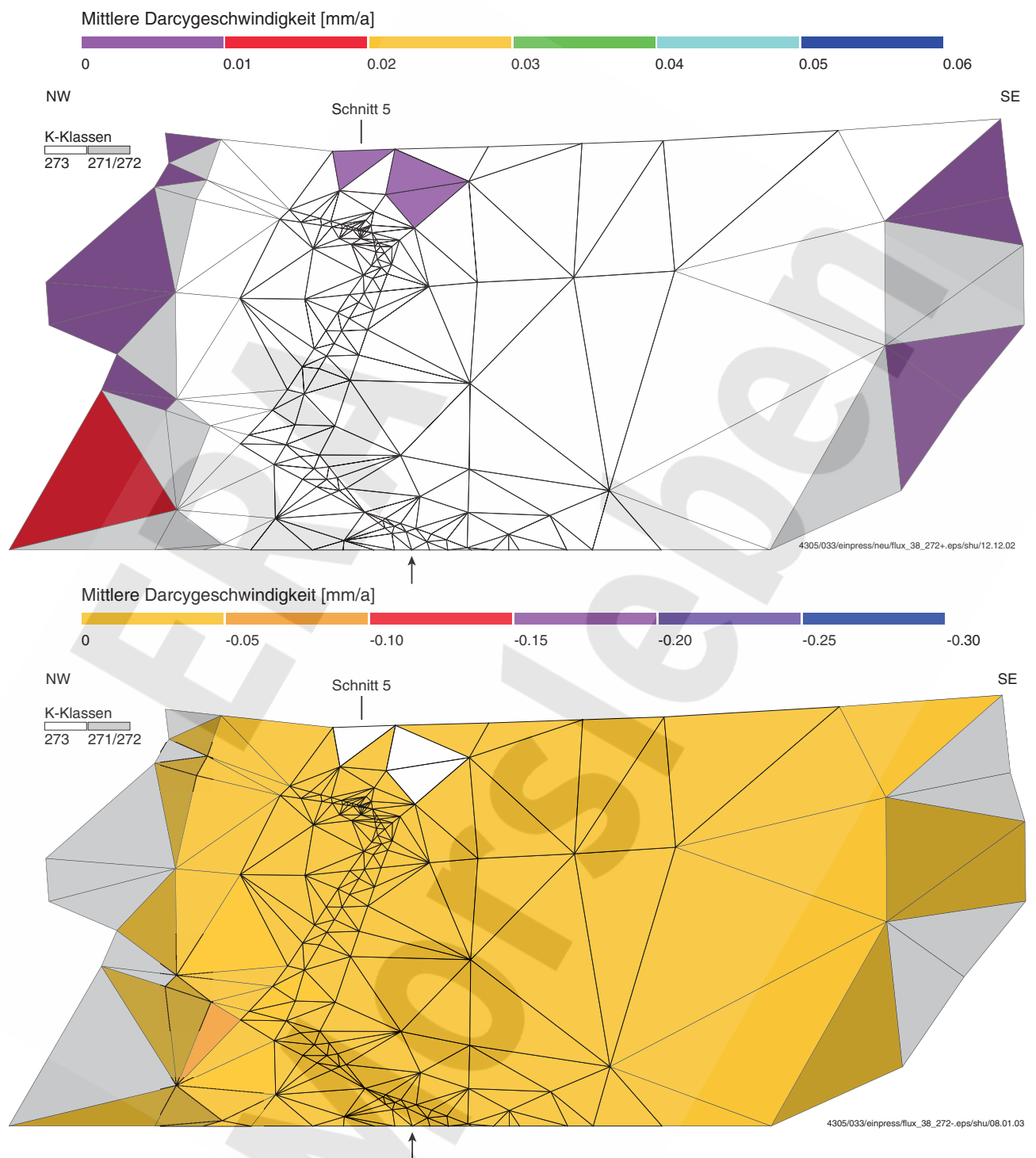
$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 28 Rechenfall R44\_37. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 5



$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 29 Rechenfall R44\_37. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)



$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 5

Abbildung 30 Rechenfall R44\_37. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)

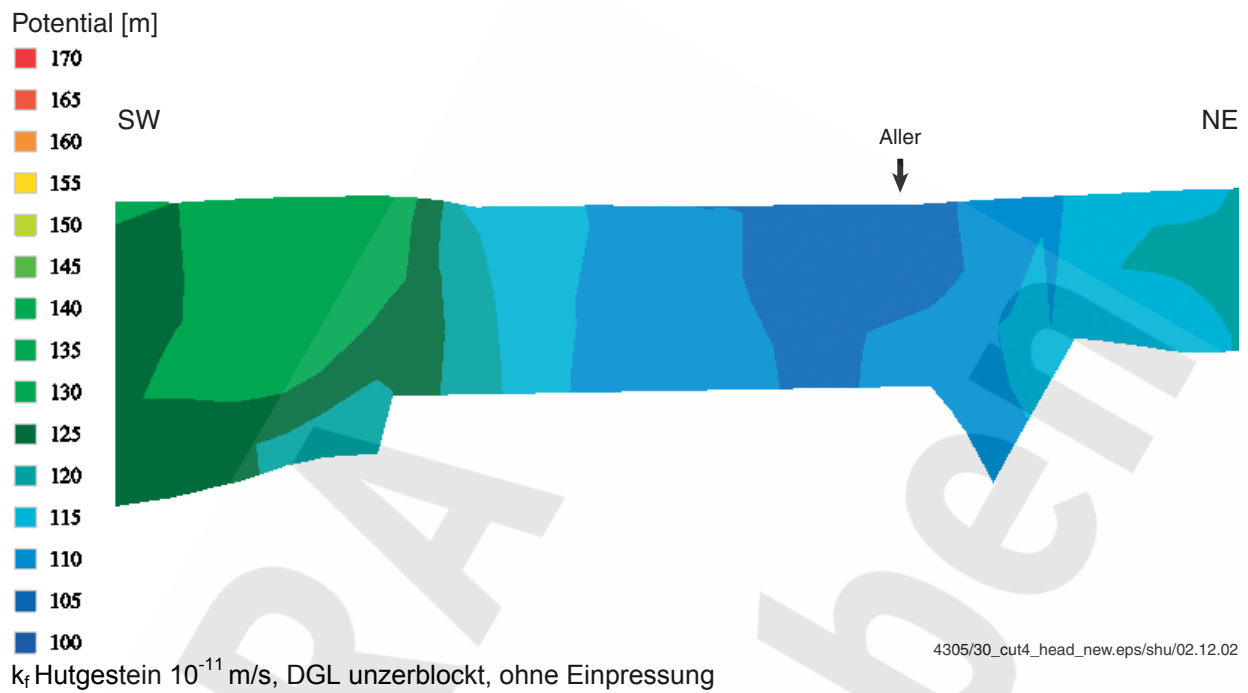
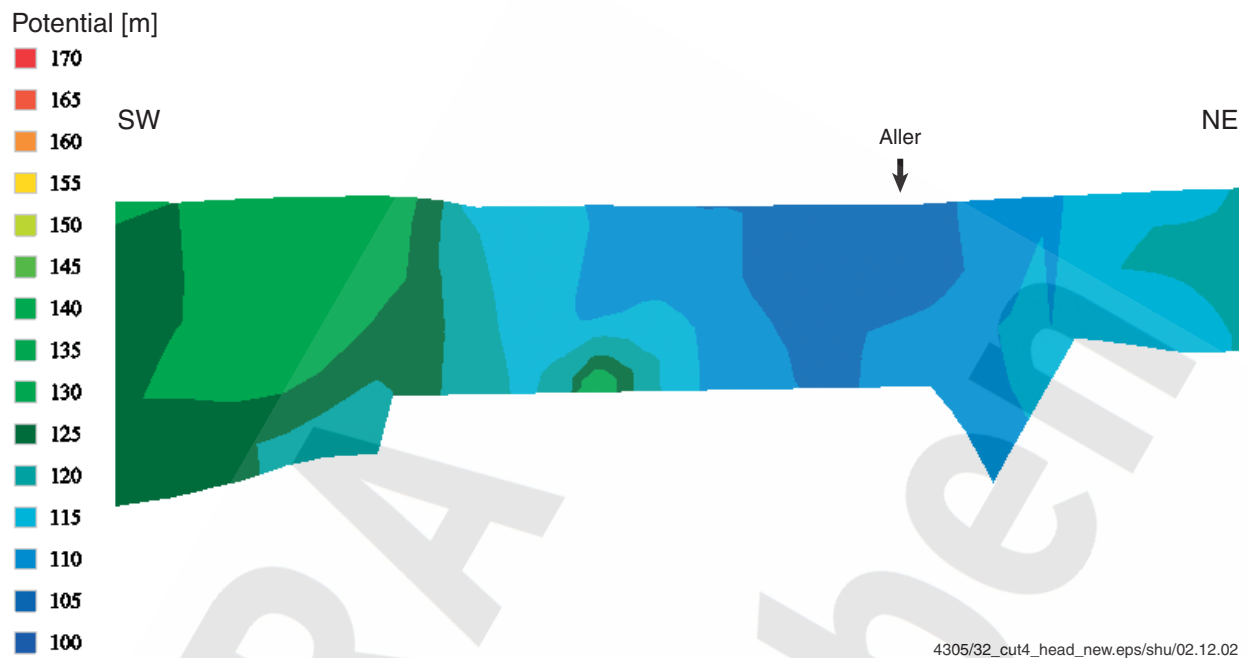
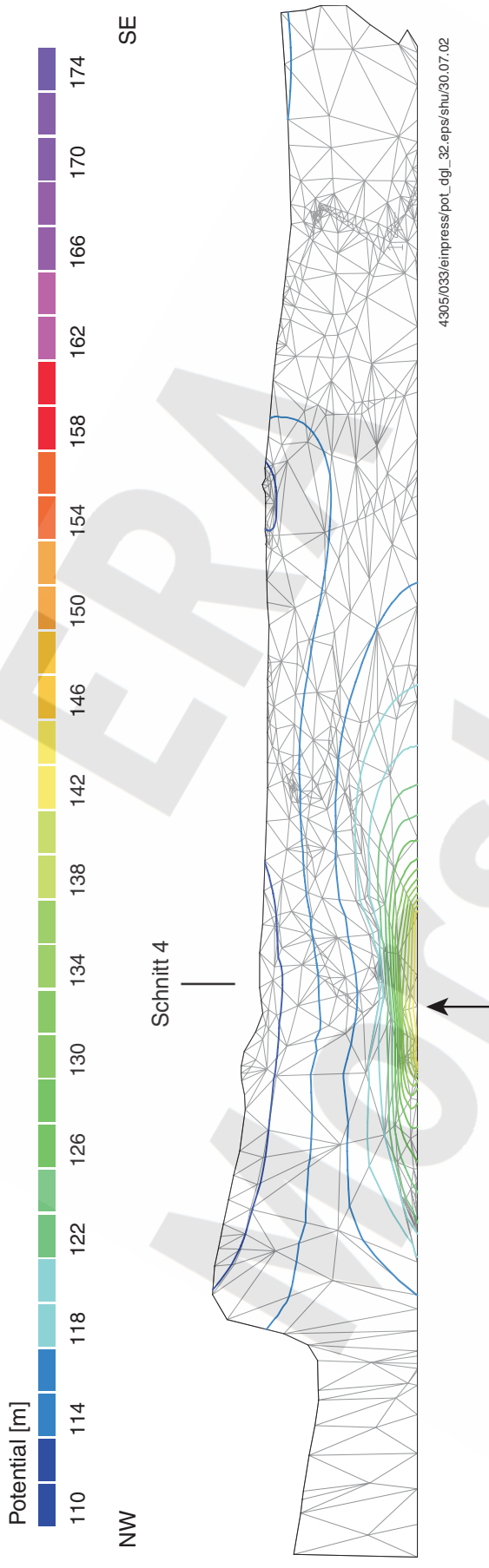


Abbildung 31 Rechenfall R44\_30. Potentialverteilung entlang Schnitt 4



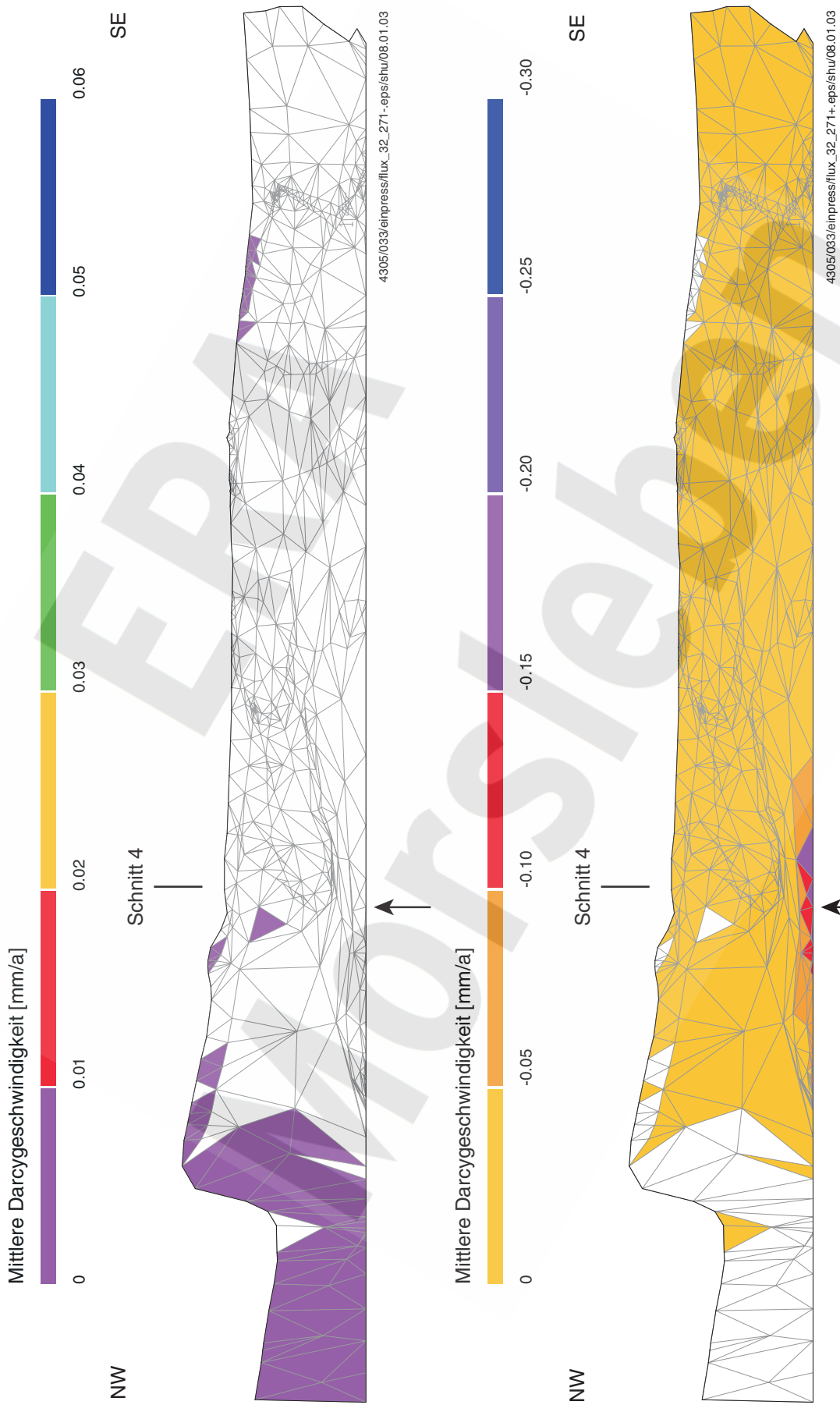
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 32 Rechenfall R44\_32. Potentialverteilung entlang Schnitt 4



$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

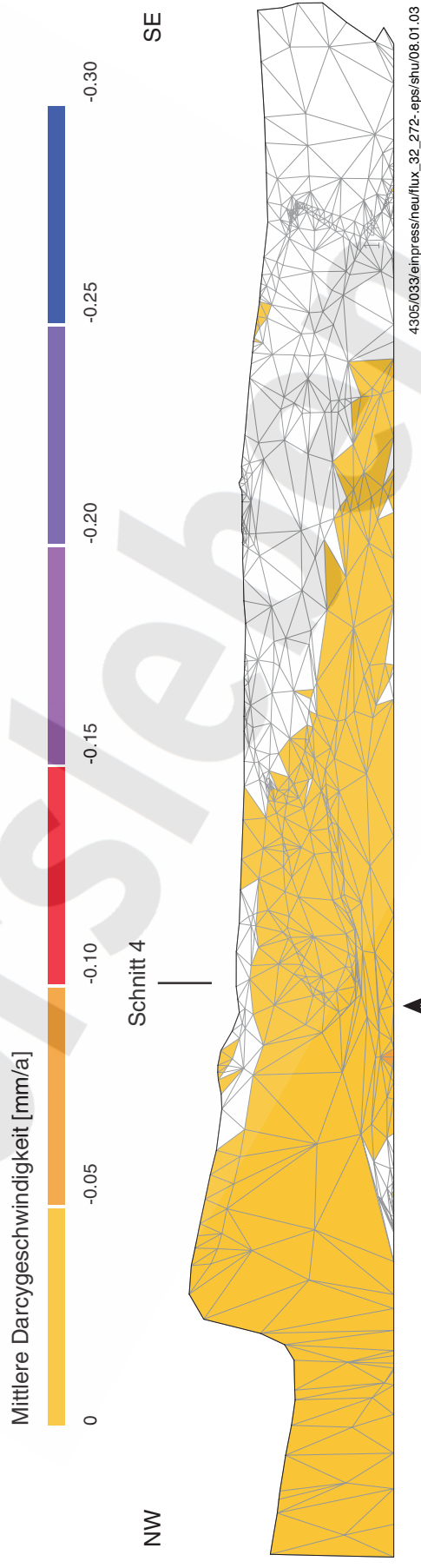
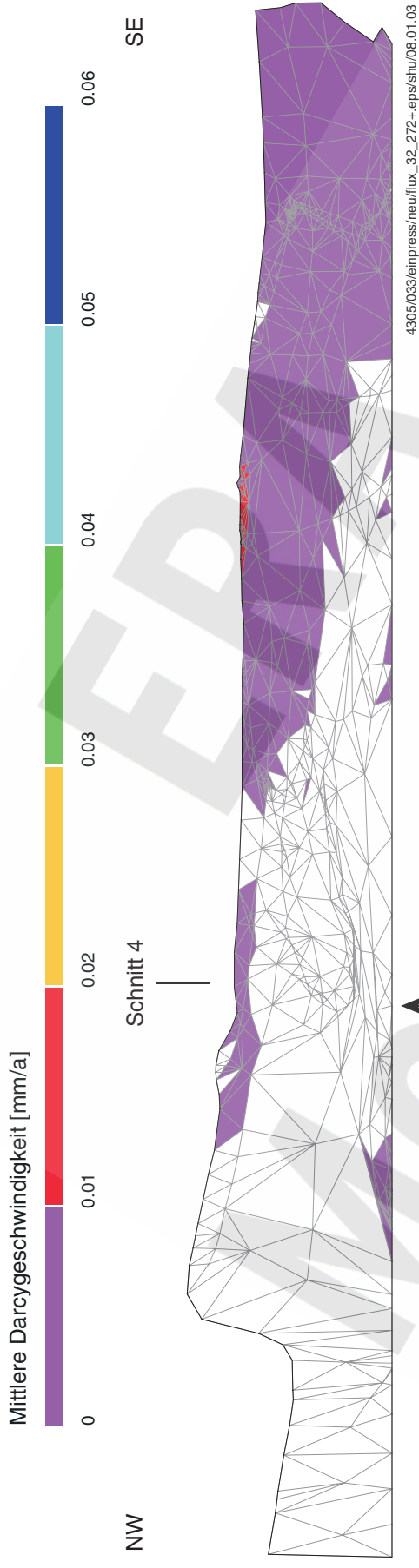
Abbildung 33 Rechenfall R44\_32, Einpressung im Gebiet von Schnitt 4. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers



$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

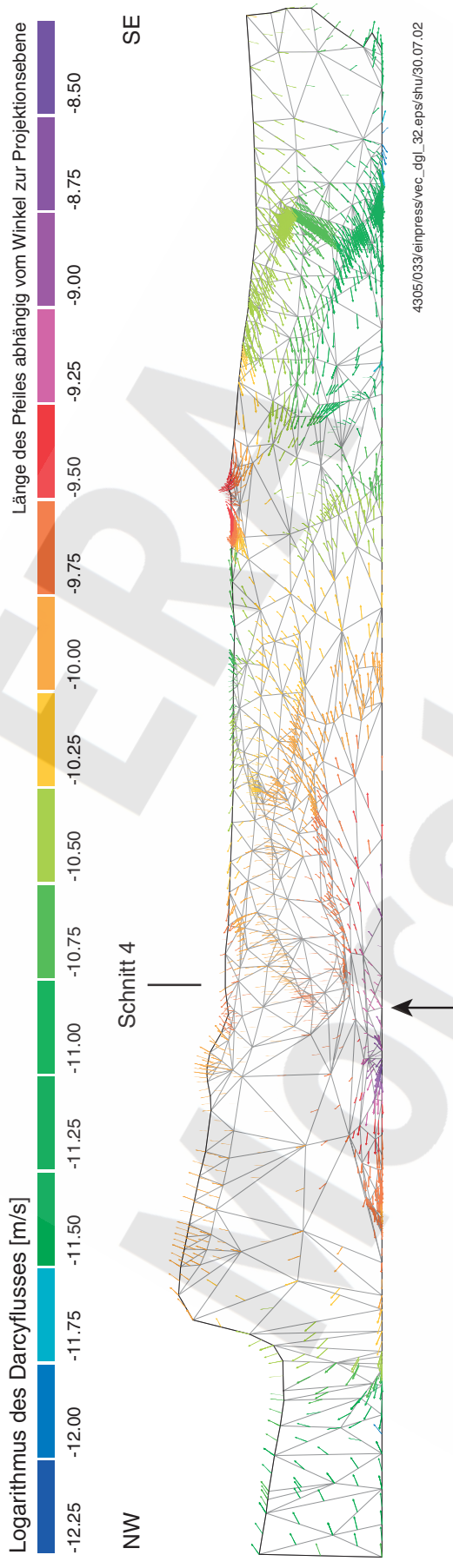
Abbildung 34 Rechenfall R44\_32. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)





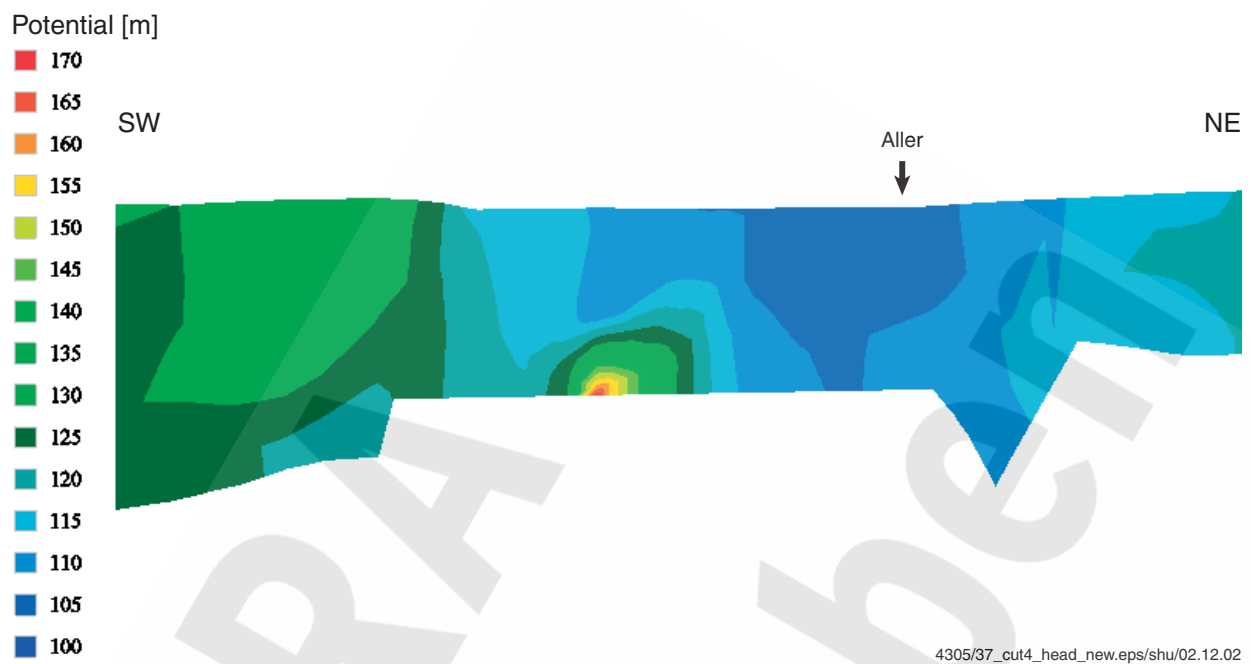
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 35 Rechenfall R44\_32. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)



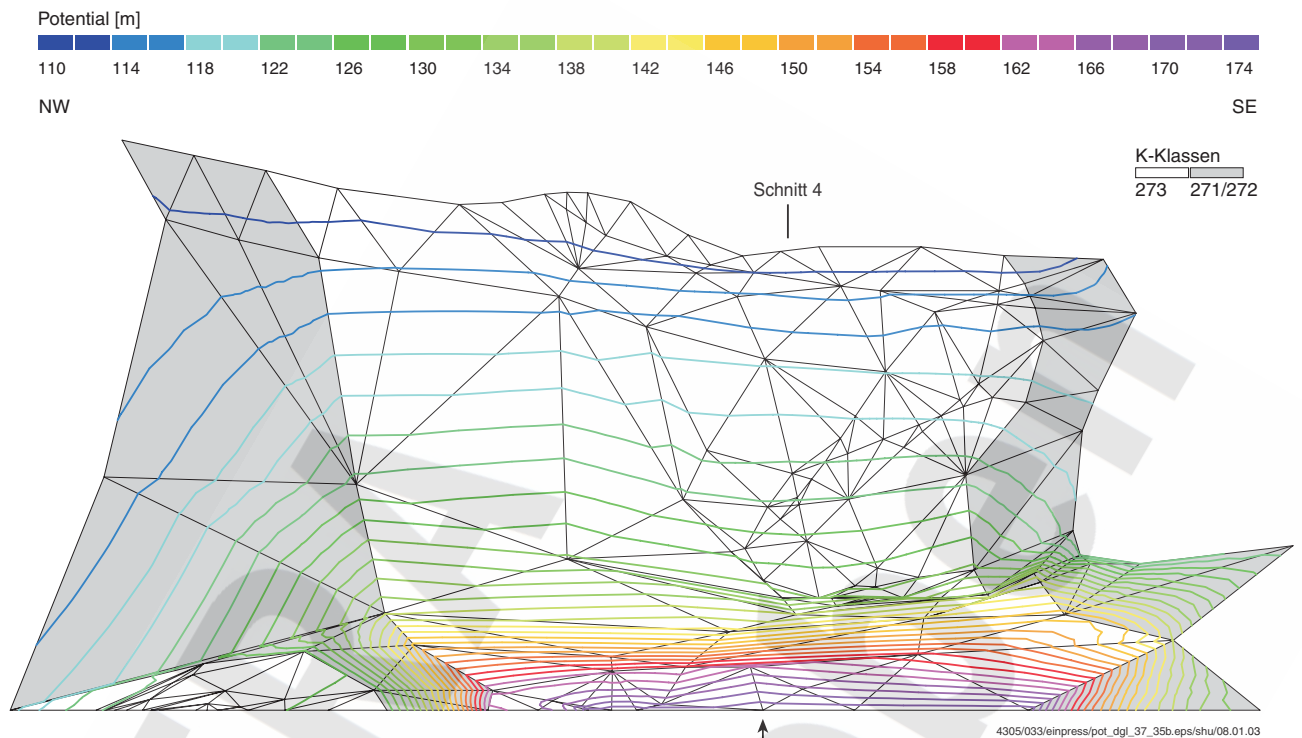
$k_f$  Hutgestein  $10^{-11}$  m/s, DGL unzerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 36 Rechenfall R44\_32, Einpressung im Gebiet von Schnitt 4. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL innerhalb des Bilanzierungskörpers



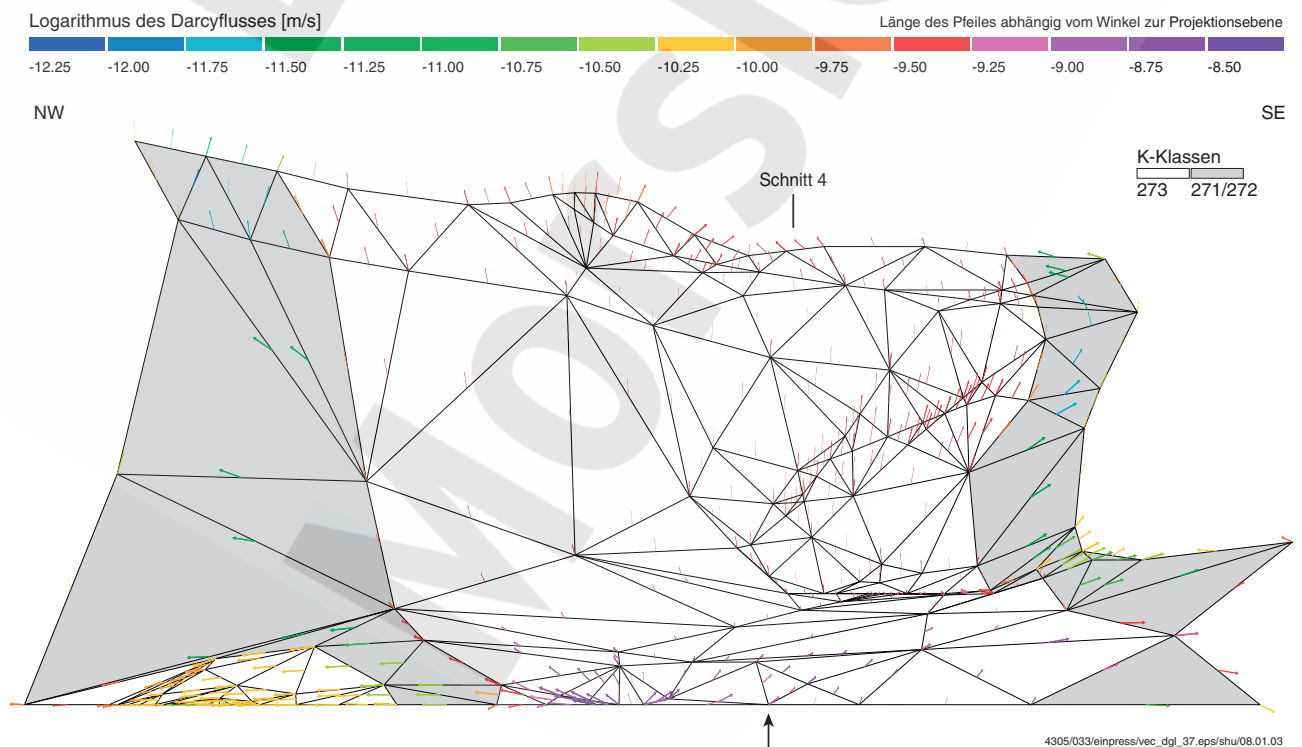
$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 37 Rechenfall R44\_38. Potentialverteilung entlang Schnitt 4



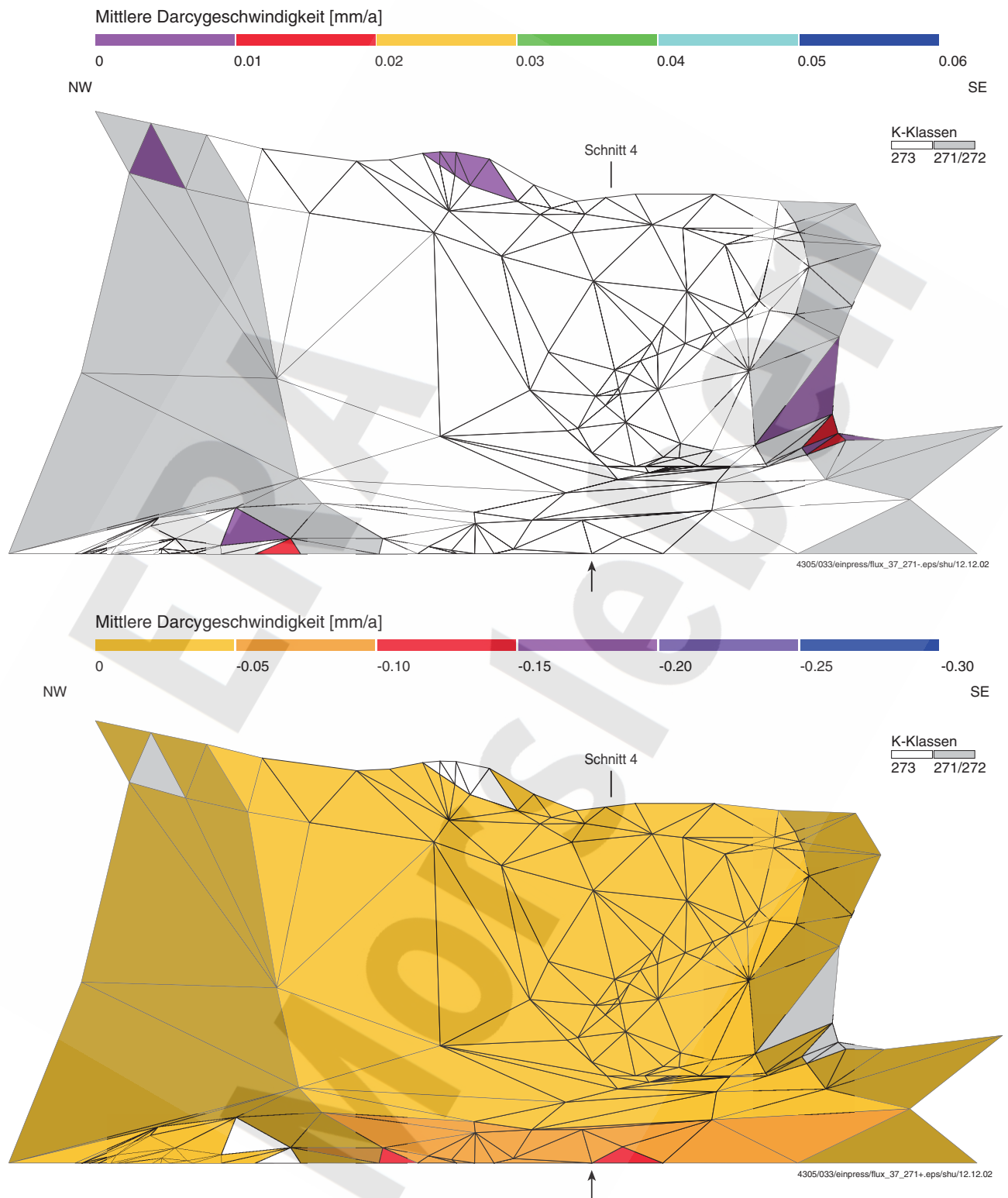
$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 38 Rechenfall R44\_38. Potentialverteilung entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 4



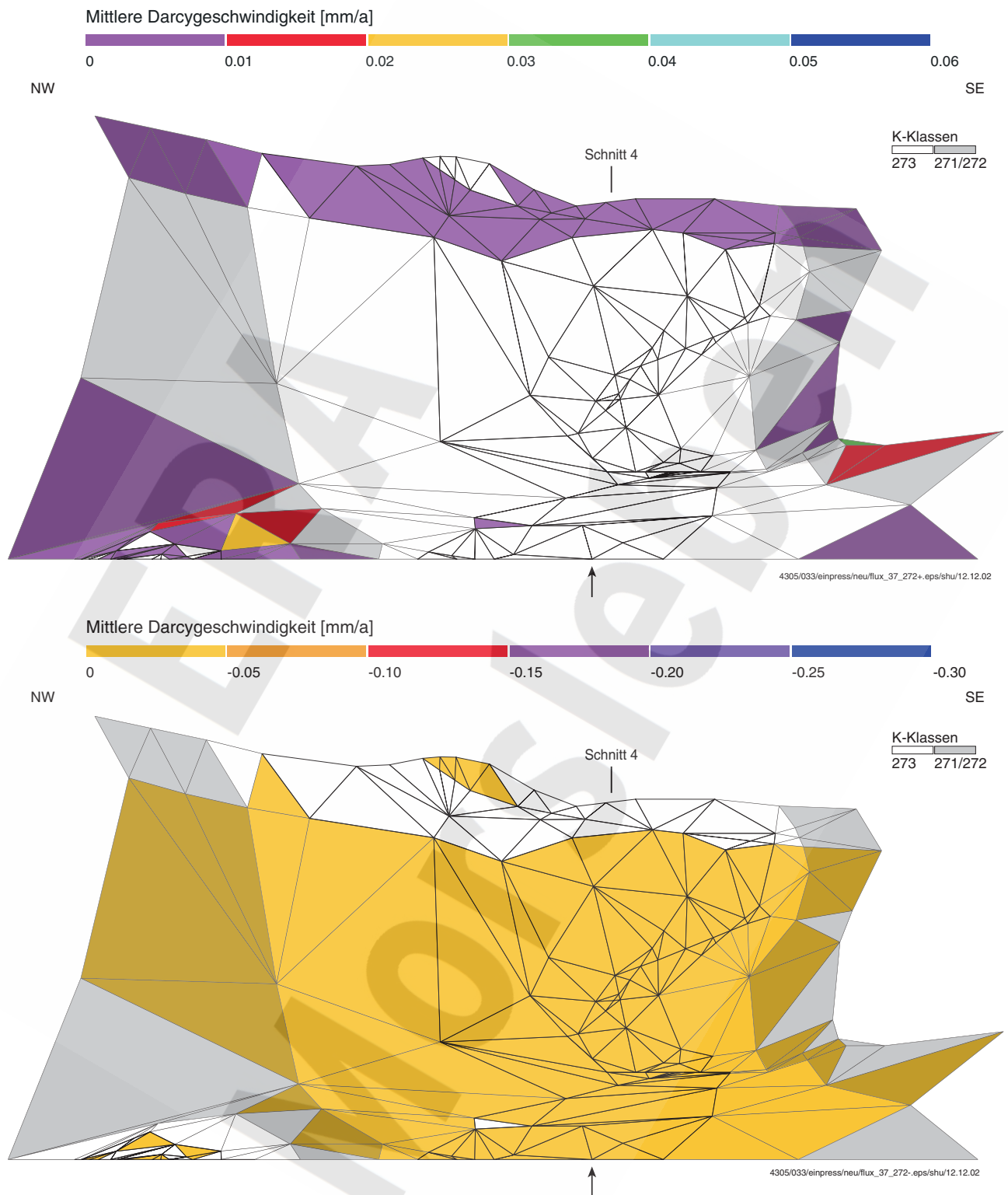
$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 39 Rechenfall R44\_38. Darcyflüsse entlang der Schichtenfolge DGL im Bilanzierungskörper Schnitt 4



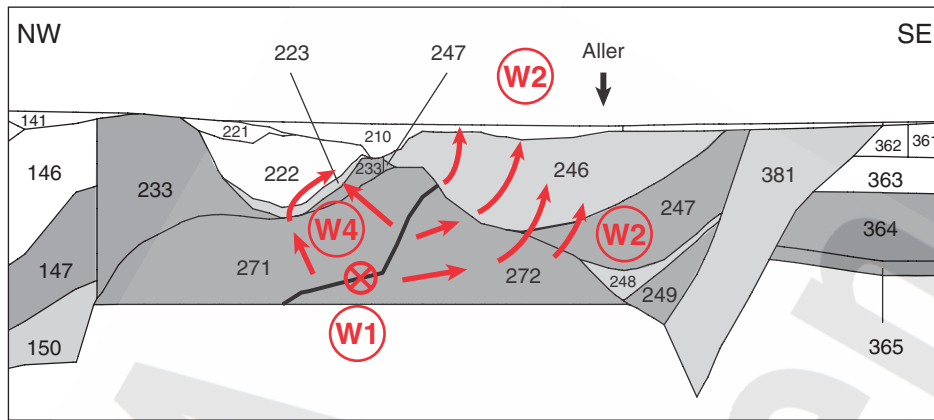
$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 40 Rechenfall R44\_38. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im SW (K-Klasse 271): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)

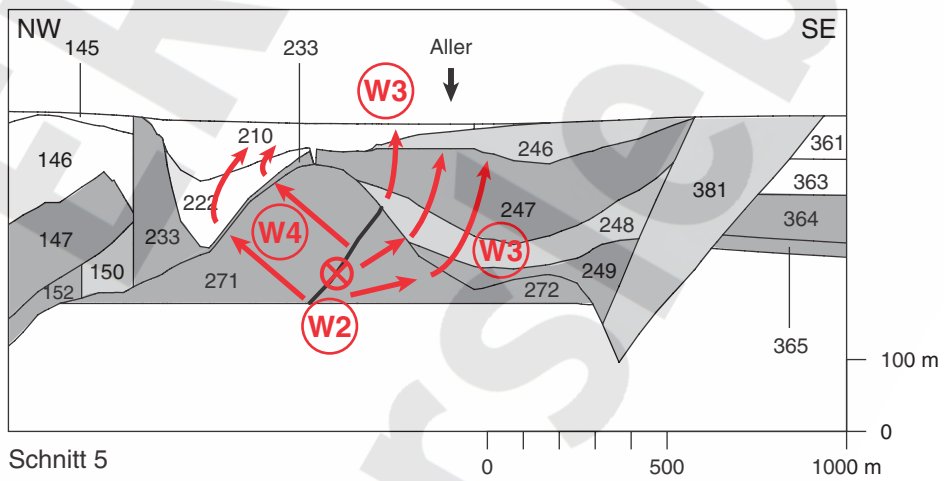


$k_f$  Hutgestein  $3 \cdot 10^{-12}$  m/s, DGL zerblockt, mit Einpressung in Schnitt 4

Abbildung 41 Rechenfall R44\_38. Wasseraustausch der Schichtenfolge DGL mit dem Hutgestein im NE (K-Klasse 272): Zufluss aus dem Hutgestein (oben), Abfluss in das Hutgestein (unten)



Schnitt 4



Schnitt 5

$> 10^{-7}$  m/s    
   $\leq 10^{-7}$  m/s bis  $> 10^{-9}$  m/s    
   $\leq 10^{-9}$  m/s  
 ↓ Position der Aller  
 248 K-Klasse

4305/033/abfluss/unterlagen/dglaus4\_5.eps/shu/12.12.02

Abbildung 42 Zuordnung der Abflüsse aus dem Bilanzierungskörper DGL auf die Austragswege