

DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
							N A A N
EU 455	9K	352127.31	-	EGC	RB	0010	00

Titel der Unterlage: Einfluß der alten Tiefbohrungen - Rechenfall R 47 -	Seite: 1.
	Stand: 01.11.91

Ersteller: 	Textnummer:
--	--------------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP.../...:	zu Plan-Kapitel: 3.9
-------------------------------	-----------------------------

		 Freigabe für Behörden	 Freigabe im Projekt
--	--	---	--

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.

Revisionsblatt

BfS

EU 455	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	352127.31	-	EGC	RB	0010	00

Titel der Unterlage: Einfluß der alten Tiefbohrungen - Rechenfall R 47 -	Seite: II.
Stand: 01.11.91	

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ - BfS
SALZGITTER

SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER
DURCHFÜHRUNG VON PARAMETERVARIATIONEN
Teilaufgabe 9K 352127.31

EINFLUSS DER ALTEN TIEFBOHRUNGEN
RECHENFALL R47

3029/03

November 1991

Baden/Schweiz

Der Bericht wurde im Auftrag des BUNDESAMTES FÜR STRAHLENSCHUTZ - (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
A	HYDROGEOLOGISCHE MODELLIERUNG	1
1	EINLEITUNG, MODELLIERUNG	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Revision der Bohrprofile, notwendige Modell- anpassungen	1
1.3	Berücksichtigung der nach WITTKE (1991) rele- vanten Bohrungen im Modell	3
1.4	Bohrungen Vechelde	4
1.5	Modellierung der Bohrungen Wierthe 1 und Sonnenberg 4	5
1.6	Nicht modellierte Bohrungen	7
1.7	Schächte Konrad 1 und Konrad 2	8
1.8	Durchlässigkeitskontrast zwischen Unterkreide und Alb	8
1.8.1	Analytische Abschätzung des Flusses entlang linearen Strukturen (Bohrungen, Schacht Konrad 1)	8
1.8.2	Erniedrigung des Durchlässigkeitskontrastes zwischen Unterkreide und Alb	12
1.9	Kleinere Anpassungen	13
1.10	Zusammenfassung	14
2	PARAMETER	16
2.1	Schichteinheiten, Störungszonen, Strecken	16
2.2	Bohrungen	16
2.2.1	Bericht WITTKE (1991)	16
2.2.2	Transmissivität	19
2.2.3	Durchmesser	21
2.3	Schächte, Doggerstrecke, Nordstrecke	22
2.4	Unterschiede in den Parametern gegenüber den Rechenfällen R34 und R35	23
3	ERGEBNISSE DER REGIONALEN HYDRAULISCHEN MODELLIERUNG	26
3.1	Potentiale	26
3.2	Wasserflüsse	28
3.2.1	Wasserflüsse durch das Grubengebäude	28
3.2.2	Wasserflüsse entlang Bohrungen	30
3.2.2.1	Oberkreide	31
3.2.2.2	Alb und Unterkreide	31
3.2.2.3	Oxford und Kimmeridge	34
3.2.2.4	Dogger und Lias	35
3.2.3	Wasserflüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2	35
4	TRANSPORTWEGE	36
4.1	Ergebnisse der regionalen hydrogeologischen Modellierung und Vorgehen bei der Festlegung der Ausbreitungswege	36

4.2	Fliessweg im Oxford und Kimmeridge	37
4.2.1	Fliessweg zur Bohrung Bleckenstedt 1	37
4.2.2	Fliesswege zu den nördlich der Grube liegenden Bohrungen	38
4.2.2.1	Methodik der Auswertung	38
4.2.2.2	Fliesszeiten zu den Bohrungen	39
4.2.2.3	Festgehaltene kürzeste Fliesszeiten und -wege zu den Bohrungen Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3	40
4.2.2.4	Vergleich mit dem Rechenfall R34	41
4.2.3	Verdünnung entlang dem Salzstockrand	42
4.3	Fliesswegabschnitte in Unterkreide und Alb	43
4.3.1	Bleckenstedt 1	44
4.3.2	Bohrungen Hüttenberg 1 - Sauingen 2 - Sauingen 1	45
4.3.3	Vechelde 3	47
4.4	Ergebnisse des lokalen hydrogeologischen Modells Oberkreide	47
4.5	Verdünnung im Quartär	49
4.6	Gesamte Verdünnung zwischen Grubengebäude und Biosphäre	51
4.7	Auswahl der Bohrungen für die Transportrechnungen	52
B	MODELLIERUNG DER RADIONUKLIDAUSBREITUNG	55
5	EINLEITUNG	55
6	NUKLIDFREISETZUNG ENDLAGER-QUARTÄR	57
6.1	Nuklidfreisetzung aus dem Endlager	57
6.2	Definition der Transportparameter	57
6.3	Sorptionsparameter	60
6.4	Ergebnisse der Berechnung der Nuklidausbreitung mit RANCHMD	60
6.4.1	Nuklidtransport durch Oxford und Kimmeridge	61
6.4.2	Nuklidtransport durch Unterkreide und Alb	62
6.4.3	Nuklidtransport durch die Oberkreide	64
6.4.4	Konzentrationen im Quartär	64
	LITERATURVERZEICHNIS	66

TABELLEN

- Tab. 1-1 Überblick über die stratigraphische und hydrogeologische Schichtfolge im Modellgebiet
- Tab. 1-2 Rechenfall R47: Berücksichtigung der möglicherweise relevanten Bohrungen im Modell47 und Anpassungen an die revidierten Bohrprofile
- Tab. 1-3 Mächtigkeit der Deckschichten in den modellierten Bohrungen (ohne Bohrungen Vechelde) (nach BGR 1988f, 1988g) und in den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (nach BfS 1990a)
- Tab. 1-4 Schichtmächtigkeiten in den Bohrungen Vechelde 2, 2a, 3 und 4
- Tab. 1-5 Revidierte Bohrprofile Wierthe 1 und Sonnenberg 4
- Tab. 1-6 Quartär, Oberkreide und Deckschichten Alb/Unterkreide der nicht modellierten relevanten Bohrungen
- Tab. 2-1 Parameter: Geologische Einheiten und Störungszonen, Randbedingungen
- Tab. 2-2 Parameter: Eindimensionale Elemente (Bohrungen und Strecken)
- Tab. 2-3 Parameter: Eindimensionale Elemente (Schächte)
- Tab. 2-4 Rechenfälle R34 und R47: Axiale Transmissivitäten [m^3/s] der Bohrungen und Verhältnis der T-Werte R47/R34 in den Aquitarden Alb, Unterkreide, Dogger, Lias und Keuper
- Tab. 3-1 Durchflüsse durch das Grubengebäude inkl. Flüsse entlang Schächten und Strecken
- Tab. 3-2 Rechenfälle R34 und R47: Flüsse entlang den Bohrungen (Schichtmitte) in m^3/a
- Tab. 3-3 Wasserflüsse (l/min) entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (in Schichtmitte)
- Tab. 4-1 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Sauingen 1
- Tab. 4-2 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Ufingen 1
- Tab. 4-3 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Ufingen 2

- Tab. 4-4 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Vechelde 3
- Tab. 4-5 Rechenfall R47: Fliesszeit und -weg der schnellsten Kimmeridge-Trajektorien ab Ausgang Grubengebäude bis auf die geographische Breite der Bohrungen Sauingen 1, Üfingen 1, Üfingen 2 und Vechelde 3
- Tab. 4-6 Eigenschaften des Fliessweges Oberkreide-Quartär der in der Entscheidungsmatrix aufgeführten Bohrungen
- Tab. 4-7 Rechenfall R47: ENTSCHEIDUNGSMATRIX 1. Zusammenfassende Charakterisierung der Fliesswege entlang den Bohrungen Bleckenstedt 1, Hüttenberg 1, Sauingen 1 und 2 im Hinblick auf die Nuklidausbreitungsrechnungen
- Tab. 4-8 Rechenfall R47: ENTSCHEIDUNGSMATRIX 2. Zusammenfassende Charakterisierung der Fliesswege entlang den Bohrungen Alvesse 1, Üfingen 1 und 2, Wierthe 1 und Sonnenberg 4 im Hinblick auf die Nuklidausbreitungsrechnungen
- Tab. 4-9 Rechenfall R47: ENTSCHEIDUNGSMATRIX 3. Zusammenfassende Charakterisierung der Fliesswege entlang den Bohrungen Vechelde 2/2a und Vechelde 3 im Hinblick auf die Nuklidausbreitungsrechnungen
- Tab. 4-10 Rechenfall R47: TRANSPORTPARAMETER der für die Ausbreitungsrechnungen zu berücksichtigenden Bohrungen Bleckenstedt 1 und Sauingen 1
- Tab. 4-11 Rechenfall R47: TRANSPORTPARAMETER der für die Ausbreitungsrechnungen zu berücksichtigenden Bohrungen Üfingen 1/2 und Vechelde 3
- Tab. 4-12 Rechenfall R47: Parameter der Transportrechnungen für die angenommenen Fliesswege
- Tab. 6-1 Rechenfall R47: Maximale Aktivitätskonzentrationen [Bq/m^3] an ausgewählten Punkten der Ausbreitungswege entlang den Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3
- Tab. 6-2 Rechenfall R47: Zeitpunkt [a] der maximalen Aktivitätskonzentrationen an ausgewählten Punkten der Ausbreitungswege entlang den Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3

ABBILDUNGEN

- Abb. 1-1 Rechenfall R35: Elementnetz mit Lage der modellierten Bohrungen und Schächte und Lage der nicht berücksichtigten, nach WITTKE (1991) möglicherweise relevanten Bohrungen
- Abb. 1-2 Rechenfall R47 (Modell47): Oberflächen-Elementnetz mit Verbreitungsgrenze des Hilssandstein und modellierten Bohrungen und Schächten
- Abb. 1-3 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Modifiziertes Oberflächen-elementnetz
- Abb. 1-4 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Ausdehnung der Störungszone entlang dem Salzstockrand
- Abb. 1-5 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt 504 mit den Bohrungen Vechelde 2/2a und 3 (mit Knotennummern)
- Abb. 1-6 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt wsv mit den Bohrungen Vechelde 2/2a, Sonnenberg 4 und Wierthe 1
- Abb. 1-7 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt wsv mit den Bohrungen Wierthe 1 und Sonnenberg 4 (mit Knotennummern)
- Abb. 1-8 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt b
- Abb. 1-9 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt 505
- Abb. 1-10 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt d mit Bohrung Wierthe 1
- Abb. 1-11 Modellierung des Schachtes Konrad 1 und der Nordstrecke
- Abb. 1-12 Modellierung des Schachtes Konrad 2 und der Doggerstrecke
- Abb. 1-13 Vertikale Potentialprofile entlang Schacht im Rechenfall R35 für k_f -Werte k_{ru} von $1 \cdot 10^{-10}$ m/s und $1 \cdot 10^{-11}$ m/s
- Abb. 1-14 Rechenfälle R34 und R35. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszone
- Abb. 1-15 Rechenfall R47. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszone

- Abb. 2-1 Legende zur tabellarischen Bestimmung der mittleren Bohrlochtransmissivität bei WITTKE (1991)
- Abb. 3-1 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 398 mit Bohrung B67, Schacht Konrad 1 und Bohrung B320 (Abstand der Isolinien 1 m)
- Abb. 3-2 Rechenfall R47 Potentialverteilung im Schnitt 398 mit Bohrung B67, Schacht Konrad 1 und Bohrung B320 (Abstand der Isolinien 0,5 m)
- Abb. 3-3 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 312 mit den Bohrungen B321, B320 und B30 (Abstand der Isolinien 1 m)
- Abb. 3-4 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 312 mit den Bohrungen B321, B320 und B30 (Abstand der Isolinien 0,2 m)
- Abb. 3-5 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 307 mit den Bohrungen B183, B100 und B166 (Abstand der Isolinien 1 m)
- Abb. 3-6 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt wsv mit den Bohrungen B315, B303 und B106 (Abstand der Isolinien 2 m)
- Abb. 3-7 Rechenfall R47: Potentialunterschiede R47-R35 an der Basis der Unterkreide
- Abb. 3-8 Rechenfall R47: Potentialunterschiede R47-R35 an der Basis des Kimmeridge
- Abb. 3-9 Rechenfall R47: Richtung des Wasserflusses entlang den Bohrungen und Schächten
- Abb. 4-1 Rechenfall R47: Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Sauingen 1
- Abb. 4-2 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf, Fliesszeit 600 Jahre
- Abb. 4-3 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf, Fliesszeit 3300 Jahre
- Abb. 4-4 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf, Fliesszeit 6600 Jahre
- Abb. 4-5 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf (gesamte Fliesszeit)
- Abb. 4-6 Gruben-Elemente, Begrenzungsflächen des Grubengebäudes, an Grube anstossende Oxford-Elemente

- Abb. 4-7 Rechenfall R47: Verdünnung zwischen dem Grubengebäude und der Störungszone entlang dem Salzstockrand. Lage der Fliessquerschnitte
- Abb. 6-1 Rechenfall R47: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fliessweges durch die Bohrung Bleckenstedt 1, (B) = Variante
- Abb. 6-2 Rechenfall R47: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fliessweges durch die Bohrung Sauingen 1
- Abb. 6-3 Rechenfall R47: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fliessweges durch die Bohrung Üfingen 1/2 (synthetischer Fliessweg)
- Abb. 6-4 Rechenfall R47: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fliessweges durch die Bohrung Vechelde 3 (Grundfall und Variante)
- Abb. 6-5 Beeinflussung der Matrixdiffusion durch Wasserfliesszeit und Bohrlochdurchmesser

A HYDROGEOLOGISCHE MODELLIERUNG

1 EINLEITUNG, MODELLIERUNG

1.1 Einleitung

Im Rechenfall R47 soll die Annahme untersucht werden, inwieweit die im Bericht WITTKE (1991) aufgeführten, auf dem revidierten Schichtverzeichnis der Bohrungen (BGR 1988f, 1988g) und einer systematischen Neuinterpretation der axialen Durchlässigkeit und Transmissivität beruhenden Bohrlochparameter (Transmissivität und Durchmesser) im Vergleich zum Referenzfall Tiefbohrungen R34 ungünstigere Bedingungen in bezug auf eine mögliche Radionuklidfreisetzung darstellen. Die Modellrechnungen sollen den hydraulischen Einfluss der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 berücksichtigen und damit vom hydrogeologischen Modell des Rechenfalls R35 ausgehen.

Gleichzeitig soll untersucht werden, ob weitere, bis anhin nicht berücksichtigte Bohrungen einen kritischen Freisetzungspfad darstellen können (siehe Abb. 1-1).

Ziel dieser Parametervariation ist abzuklären, ob die mit Hilfe einer systematischen Analyse der Verfüllungszustände der Bohrungen ermittelten k_f - und Transmissivitätswerte zu keinen signifikant ungünstigeren Ausbreitungsszenarien als im Referenzfall R34 führen. Diese Analyse beinhaltet eine Abschätzung des Langzeitverhaltens der Bohrung und ihrer Verfüllung sowie die Zuweisung von k_f -Werten, die sich auf Laborversuche und Erfahrungswerte abstützt.

Durchgeführt werden

- eine regionale hydrogeologische Modellrechnung mit Fluss- und Fliesswegberechnungen
- je eine Modellrechnung mit dem Lokalmmodell Oberkreide für alle Bohrungen nördlich des Verbreitungsgebietes des Hilssandstein, für die Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden und die Oberkreide enthalten
- sowie je eine Radionuklidausbreitungsrechnung für die Radionuklide I-129 und U-238 entlang den aufgrund der hydraulischen Ergebnisse als möglicherweise kritisch beurteilten Bohrungen.

1.2 Revision der Bohrprofile, notwendige Modellanpassungen

Die Geometrie der modellierten hydrogeologischen Schicht-einheiten wurden den von der BGR erstellten Tiefenlinienplänen der massgeblichen Einheiten entnommen. Die letzte Version dieser Pläne datiert vom Januar 1988 (BGR 1988a). Als Bohrdaten lagen diesen Tiefenlinienplänen die in PTB (1987) zusammengestellten Bohrprofile der Tiefbohrungen zugrunde.

Im Jahre 1988 sind von der BGR im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Konrad die im weiteren Modellgebiet der Grube Konrad gelegenen Tiefbohrungen einer Revision unterzogen worden, um sämtliche Bohrungen auf den heutigen stratigraphischen und damit einen identischen Kenntnisstand zu bringen. Diese systematische Durchsicht der Tiefbohrungen wird durch die sieben Bände des Berichtes "Revision der Tiefbohrungen" (BGR 1988b bis 1988h) und einen Anlagenband (BGR 1988i) vom 15.11.1988 dokumentiert und durch einen Nachtragsband vom 22.6.1989 ergänzt (BGR 1989).

Weiter erfolgte im Jahre 1991 eine Revision der Verfüllungszustände von ausgewählten Tiefbohrungen (BGR 1991), darunter alle der durch Prof. Wittke als "möglicherweise relevant" bezeichneten Tiefbohrungen (WITTKE 1991).

Die beiden neuen Datensätze der BGR (BGR 1988b bis 1988i, 1989, 1991) dienten als Grundlage für eine systematische Evaluation der axialen Transmissivität entlang den Bohrungen durch Prof. Wittke (WITTKE 1991). Die von Wittke als möglicherweise relevant bezeichneten 26 Bohrungen (vgl. Tab. 1-2 und Abb. 1-1) sind bei der Analyse zu berücksichtigen, sei es durch eine explizite Modellierung oder durch einen plausiblen Nachweis, dass die betreffenden Bohrungen keinen signifikanten Ausbreitungsweg darstellen können und einen vernachlässigbaren hydraulischen Einfluss auf die Modellergebnisse ausüben. Die bereits modellierten Bohrungen sind den neuen Datensätzen der BGR über die Mächtigkeiten der modellierten hydrogeologischen Schichteinheiten anzupassen und die Durchmesser von BGR (1991) und WITTKE (1991) gebührend zu berücksichtigen.

Dabei ergibt sich ein methodologisches Problem zwischen den im bestehenden FEM-Modell berücksichtigten Schichteinheiten, die auf den Abgrenzungen der Tiefenlinienpläne von 1988 (BGR 1988a, basierend auf PTB 1987) für das alternative geologische-hydrogeologische Modell beruhen, und der Unterteilung der Unterkreide durch Wittke: In den Tiefenlinienplänen wird die gesamte Unterkreide in die drei hydrogeologischen Einheiten Alb, Hilssandstein und Unterkreide (kru) unterteilt (vgl. Tab. 1-1). Bei Vorkommen von Hilssandstein erfolgt dabei die Grenzziehung zwischen Alb und Unterkreide (kru) entlang der Basis des Hilssandstein.

In seiner Analyse der axialen Transmissivität entlang den Bohrungen fasst WITTKE (1991) hingegen die Unterkreide in die Abschnitte höhere Unterkreide (= UKR2) mit Alb und Apt und die das Barrême und Hauterive umfassende tiefere Unterkreide (= UKR1) zusammen. Aus modelltechnischen Gründen wurden im Modell¹ die Mächtigkeit und Tiefenla-

¹

Rechenfall R35 = Modell135, Rechenfall R47 = Modell147

ge der Deckschichten in den modellierten Bohrungen an die revidierten Bohrprofile der BGR angepasst (BGR 1988f und 1988g), wobei die oben beschriebene Unterteilung der Unterkreide in Alb, Hilssandstein und Unterkreide (kru) bzw. Alb und kru beibehalten wurde.

Die notwendigen Modelländerungen werden in den folgenden Kapiteln 1.3 bis 1.9 besprochen. **Alle Modellanpassungen der Mächtigkeiten erfolgten nur bis an die Basis der Unterkreide und erfassen lediglich die Bohrungen und Schächte, die keinen Hilssandstein führen.**

In Tab. 1-1 werden die im Modell angewandten hydrogeologischen Schichteinheiten und ihre Kurzbezeichnungen der von Wittke vorgenommenen Unterteilung und der detaillierten stratigraphischen Stufenfolge gegenübergestellt. In Tab. 1-2 ist aufgeführt, wie die "relevanten Bohrungen" im Modell47 berücksichtigt und ob sie im Bereich der Deckschichten an die revidierten Bohrprofile angepasst worden sind.

1.3 Berücksichtigung der nach WITTKÉ (1991) relevanten Bohrungen im Modell

Von den im Modell35 enthaltenen 17 Bohrungen sind die Bohrungen B28, B67, B321, B320, B30, B183, B100 und B166 im Bereich der Deckschichten an die revidierten Bohrprofile (BGR 1988f und 1988g) angepasst worden. Die modellierten Mächtigkeiten der unterhalb der Basis Unterkreide gelegenen Bohrlochabschnitte wurden dabei nicht modifiziert, da die beschränkten Änderungen keinen merklichen Einfluss auf die Modellergebnisse ausüben würden. Ein Überblick über die im Modell47 berücksichtigten möglicherweise relevanten Bohrungen und ihre Anpassung an die revidierten Bohrprofile ist in Tabelle 1-2 enthalten. Die Mächtigkeiten der Deckschichten oberhalb der Basis Unterkreide sind in Tab. 1-3 zusammengestellt.

Bohrungen, die Hilssandstein führen (B81, B70, K101 und B71, sind nicht angepasst worden, da die Auswirkungen der erforderlichen, relativ beschränkten Änderungen gering wären.

Die Bohrungen B79 und B80 befinden sich in einem Modellabschnitt mit komplizierter Topologie. Sie führen keinen Hilssandstein. Da sie westlich des Grubengebäudes liegen, stellen sie keinen potentiellen Ausbreitungsweg dar. Ihre hydraulische Bedeutung ist gering. Auf eine Anpassung ist daher verzichtet worden.

Im Bereich der Bohrungen Vechelde sind grössere Anpassungen vorgenommen worden; diese werden im Abschnitt 1.4 beschrieben.

Einige der von Wittke als möglicherweise relevant bezeichneten Bohrungen wurden nicht explizit ins Modell aufgenommen. Die Auflistung dieser Bohrungen und die Begründung erfolgt in Kapitel 1.6.

1.4 Bohrungen Vechelde

In den Rechenfällen "alte Bohrungen" (Modell35, vgl. Abb. 1-1), sind die Bohrungen Vechelde 2/2a, 3 und 4 (B106, B107 und B111) zusammengefasst und als eine einzige Bohrung am Bohrpunkt der Bohrung Vechelde 2/2a modelliert.

Die Bohrungen Vechelde weisen nach WITTKE (1991) sehr unterschiedliche axiale Transmissivitätswerte auf (siehe Kapitel 2.2). Die Schichtmächtigkeiten (insbesondere der Deckschichten) in den in der Störungszone entlang dem Salzstockrand gelegenen Bohrungen unterscheiden sich ebenfalls stark (vgl. Tabelle 1-4). Dies ist nach den Tiefenlinienplänen auf eine mit dem Aufstieg des Salzstockes zusammenhängende Einmuldung von Unterkreide und Alb zurückzuführen.

Entlang dem Salzstockrand fehlt die Oberkreide, so dass das Alb einen direkten Kontakt zum Quartär und teilweise eine durch Erosion reduzierte Mächtigkeit aufweist. Von Osten nach Westen ist in den Bohrungen Vechelde eine Erniedrigung der Mächtigkeit des Alb (Vechelde 3 → Vechelde 4 → Vechelde 2/2a und Wierthe 1 → Sonnenberg 4) festzustellen. Im revidierten Bohrprofil der Bohrung Vechelde 2/2a fehlt das Alb vollständig, so dass dort das Quartär auf der Unterkreide liegt. Die reduzierte Albmächtigkeit wirkt sich auch auf die Gesamtmächtigkeit von Unterkreide und Alb im Bereich der erwähnten Bohrungen aus. Diese nimmt von Vechelde 3 und 4 nach Vechelde 2/2a und von Wierthe 1 nach Sonnenberg 4 ab. Die Mächtigkeit der Unterkreide (kru) nimmt dagegen von E nach W sowohl in den Bohrungen Vechelde wie von Wierthe 1 nach Sonnenberg 4 zu.

Mit der Annäherung an den Salzstock verringert sich also die Mächtigkeit des Alb, jene der Unterkreide (kru) nimmt zu, während sich die Gesamtmächtigkeit der Deckschichten kru und Alb gegen den Salzstock zu vermindert.

Zusammenfassend charakterisieren sich die Bohrungen Vechelde bei Berücksichtigung der revidierten Bohrprofile und der axialen Transmissivitäten nach WITTKE (1991) wie folgt:

- Die axiale Transmissivität in den Deckschichten kru und Alb weist von Bohrung zu Bohrung ausgeprägte Unterschiede auf und ist in den Bohrungen Vechelde 2/2a und 3 höher als in Vechelde 4.

- Die Mächtigkeiten der Deckschichten Alb und kru erfahren durch die Revision stärkere Änderungen. So kommt z.B. im revidierten Bohrprofil Vechelde 2/2a kein Alb mehr vor.
- Die Gesamtmächtigkeit der Deckschichten kru und Alb ist in Vechelde 3 und 4 ungefähr identisch, wobei das Mächtigkeitsverhältnis Alb/kru in Vechelde 3 ungünstiger ist als in Vechelde 4. (Analytische Modellrechnungen zeigen, dass unter den in Vechelde 3 herrschenden Bedingungen ein kleineres Mächtigkeitsverhältnis Alb/kru eine längere Fliesszeit entlang der Bohrung und eine stärkere Verdünnung bewirkt.)

Auf Grund dieser sehr verschiedenen Charakteristiken erschien eine separate Modellierung der Bohrungen Vechelde ratsam. Dabei wird die Bohrung Vechelde 2/2a im Knoten der bisherigen zusammengefassten Vechelde-Bohrungen belassen, da die geographische Lage dieses Knotens mit jener der Bohrung 2/2a zusammenfällt. Wie aus Abb. 1-1 hervorgeht, liegen die Bohrungen Vechelde 3 und 4 innerhalb von Elementen. Eine genaue Berücksichtigung der wahren geographischen Lage der beiden Bohrungen im Modell würde relativ umfangreiche Modelländerungen notwendig machen. Aus diesem Grunde wurde auf die Modellierung der Bohrung Vechelde 4 verzichtet, da diese im Vergleich zur Bohrung Vechelde 3 günstigere Werte für Transmissivität, Durchmesser und Mächtigkeit der Deckschichten aufweist. Die Bohrung Vechelde 3 wurde unter Beibehaltung ihrer strukturellen Lage am Ostrand der Störungszone in den östlich der Bohrung Vechelde 2/2a liegenden Knoten gelegt. Sie wird damit im Modell⁴⁷ gegenüber ihrer wirklichen Lage um rund 500 m nach Süden verschoben. Für die Ermittlung der Fliesszeiten mit dem Programm HUNTG (siehe Abschnitt 4.2.2.1) werden jedoch die wirklichen Koordinaten dieser Bohrung berücksichtigt werden.

Die wirkliche Lage der Bohrungen Vechelde und ihre Position im Modell⁴⁷ sind in Abb. 1-3 dargestellt.

Wie in Abb. 1-5 ersichtlich ist, weist im Modell⁴⁷ die Bohrung Vechelde 2/2a eine Verbindung zum Oberen Muschelkalk auf; dagegen ist sie vom Cornbrash-Sandstein abgekoppelt. Die Bohrung Vechelde 3 reicht bis Top Rhät. Die Verbindungen der beiden Bohrungen zu den unterhalb des Oxford liegenden Aquiferen sind jedoch infolge der geringen Transmissivitäten entlang den Bohrungen unterhalb der Basis Unterkreide von geringer hydraulischer Bedeutung.

1.5 Modellierung der Bohrungen Wierthe 1 und Sonnenberg 4

Neu in die Modellgeometrie von Modell⁴⁷ aufgenommen wurden die Bohrungen Wierthe 1 (B315) und Sonnenberg 4 (B303). Die Bohrprofile aus BGR (1988f) sind in Tab. 1-5 enthalten.

Im Oberflächennetz des bisherigen Modells (Modell35) liegen die beiden Bohrungen im Innern von Oberflächenelementen (Abb. 1-1), Bohrung Wierthe 1 knapp ausserhalb (östlich), Bohrung Sonnenberg 4 leicht innerhalb der Störungszone entlang dem Salzstockrand. Eine genaue Situierung der beiden Bohrungen im Modell machte daher eine Modelländerung erforderlich.

Neben dieser ist auch ihre strukturelle Lage von Bedeutung, d.h. ihre Lage innerhalb oder ausserhalb der 500 m breiten Störungszone entlang dem Salzstockrand. Die beiden Bohrungen Sonnenberg 4 und Wierthe 1 weisen bezüglich der in den Tiefenlinienplänen Basis Oxford, Kimmeridge² und Unterkreide (kru) (BGR 1988a) eingezeichneten Störungszonebegrenzung (SZ) folgende Position auf:

Tiefenlinienplan	Wierthe 1	Sonnenberg 4
Basis kru	ausserhalb SZ	ausserhalb SZ
Basis jo	Nähe Grenze SZ	innerhalb SZ
Basis ox	Nähe Grenze SZ	innerhalb SZ

In der Unterkreide befinden sich beide Bohrungen ausserhalb der Störungszone, während im Oberjura und im Oxford Sonnenberg 4 eindeutig innerhalb und Wierthe 1 im Grenzbereich zwischen gestörter und ungestörter Zone liegen. Die Modellgeometrie wurde deshalb in einer Weise verändert, dass die folgenden Anforderungen erfüllt sind:

- genaue geographische Situierung der Bohrung
- beide Bohrungen oberhalb Basis Unterkreide ausserhalb der Störungszone
- Bohrung Sonnenberg 4 im Oberjura und im Oxford innerhalb der Störungszone, Wierthe 1 an der Grenze zwischen Störungszone und ungestörtem Bereich
- Berücksichtigung der von den Bohrungen erschlossenen Schichtmächtigkeiten

Diese Anforderungen stellen konservative (d.h. in bezug auf eine Nuklidfreisetzung ungünstige) Verhältnisse dar: Der Anschluss der Bohrungen an die Störungszone in ox und jo ermöglicht die Freisetzung entlang Fliesswegen mit zeitlich relativ kurzem Transport vom Endlager zur Bohrung (innerhalb der Störungszone). Der Verlauf der Bohrung ausserhalb der Störungszone in den Schichten kru und Alb andererseits vermindert den Zufluss in die Bohrung und damit eine starke Verdünnung.

²

Der Oberjura (jo) umfasst die Schichten zwischen dem Top Oxford und der Basis der Unterkreide, d.h. Kimmeridge, Münders Mergel und Wealden. Er wird nachfolgend vereinfachend als "Kimmeridge" bezeichnet (vgl. Tabelle 1-1).

Das modifizierte Oberflächenelementnetz ist in den Abbildungen 1-2 (Überblick) und 1-3 (Ausschnitt) dargestellt. Um die obigen Forderungen (Unterkreide ungestört, Lage innerhalb bzw. an der Ostgrenze der Störungszone) zu befriedigen, musste im Gebiet von Wierthe 1 die Modellgrenze der Störungszone leicht nach Osten verschoben werden. Bei beiden Bohrungen wurden den an die Bohrungen angrenzenden Unterkreide-Elementen der k_f -Wert der ungestörten hydrogeologischen Einheit kru zugewiesen. Die Ausdehnung der Störungszone entlang dem Salzstockrand im Oberjura und in den darunterliegenden Schichteinheiten sowie in der Unterkreide geht aus Abb. 1-4 hervor. In den Abbildungen 1-6 bis 1-10 sind die Modelländerungen an Hand der Schnitte wsv, b, d und 505 illustriert (Lage der Schnitte siehe Abb. 1-3); die Störungszone ist in den Schnitten schraffiert. Die Knotennummern der die Bohrung repräsentierenden 1D-Elemente sind in Abbildung 1-7 angegeben.

1.6 Nicht modellierte Bohrungen

Von den von Wittke als möglicherweise relevant bezeichneten Bohrungen sind die Bohrungen Sonnenberg 1 bis 3, Denstorf 1, Gleidingen 1 und Wedtlenstedt 1 nicht im Modell enthalten und werden auch nicht aufgenommen. Ihre geographische Lage geht aus Abb. 1-1 hervor.

Diese Bohrungen liegen alle ausserhalb (= östlich) der Störungszone entlang dem Salzstockrand und befinden sich 2-3 km (Sonnenberg 1 bis 3) bzw. 4,8-6,3 km (Denstorf 1, Gleidingen 1, Wedtlenstedt 1) nördlich der Bohrungen Ufingen 1 und 2. Ihre mögliche Rolle als Ausbreitungsweg wird durch die weiter südlich gelegene Reihe der Bohrungen Alvesse 1 - Ufingen 1 - Ufingen 2 abgedeckt.

Die Bohrungen weisen bezüglich einer möglichen Radionuklidenausbreitung die in Tabelle 1-6 zusammengestellten Charakteristiken auf. Die aufgeführten, im Modell 47 nicht berücksichtigten Bohrungen besitzen danach im Vergleich mit den weiter südlich liegenden Bohrungen Alvesse 1 - Ufingen 1 - Ufingen 2 mit der eventuellen Ausnahme von Sonnenberg 3 durchwegs günstigere Eigenschaften (axiale Transmissivität, Mächtigkeit der Deckschichten).

Die Oberkreide ist in den Bohrungen Denstorf 1, Sonnenberg 1 und Gleidingen 1 mit 23 bzw. 80 m deutlich geringer als in den beiden Bohrungen Ufingen 1 und Ufingen 2. Da die drei Bohrungen jedoch gleichzeitig Quartärmächtigkeiten in derselben Grössenordnung wie Alvesse 1, in der die Oberkreide vollständig fehlt, aufweisen, können sie als günstiger betrachtet werden als Alvesse 1.

Sonnenberg 3 weist unter den sechs angeführten, nicht modellierten Bohrungen die ungünstigsten Verhältnisse

auf, da einerseits die Quartärmächtigkeit am Ort der Bohrung mit 8 m verhältnismässig gering ist und andererseits die Gesamtmächtigkeit von Unterkreide und Alb nur wenig mehr als die Hälfte jener der übrigen erwähnten Bohrungen erreicht. Im Vergleich zu den berücksichtigten Bohrungen stellt Sonnenberg 3 jedoch keinen ungünstigeren möglichen Freisetzungspfad als die berücksichtigte Bohrung Vechelde 3 dar, da die Fliesszeit durch Oxford und Kimmeridge bis zur letztgenannten Bohrung wesentlich kürzer ist und deren Transmissivität im Alb um rund 4 Grössenordnungen, in der Unterkreide noch um den Faktor 12 grösser ist als in Sonnenberg 3. Die explizite Berücksichtigung von Sonnenberg 3 und der anderen oben aufgeführten, als möglicherweise relevant bezeichneten Bohrungen im Modell ist damit nicht notwendig.

1.7 Schächte Konrad 1 und Konrad 2

Die revidierte Schichtserie der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 (BfS 1990a) weist gegenüber den früheren Dokumenten ebenfalls Änderungen auf. Entsprechend wurde der Schacht Konrad 1 im Modell⁴⁷ im Bereich der Deckschichten an die revidierte Schichtreihe angepasst. Da der Schacht Konrad 2 Hilssandstein führt, wurde aus den in Kapitel 1.3 angeführten Gründen jedoch auf eine Modellanpassung in diesem Schacht verzichtet. Die Modellierung der beiden Schächte (Schichtmächtigkeiten, Knoten-Nummern) ist in den Abbildungen 1-11 und 1-12 dargestellt.

1.8 Durchlässigkeitskontrast zwischen Unterkreide und Alb

1.8.1 Analytische Abschätzung des Flusses entlang linearen Strukturen (Bohrungen, Schacht Konrad 1)

Zur Vertiefung des Verständnisses für die unterschiedlichen Einflüsse von

- Transmissivität
- k_f -Werte von kru und Alb
- Radius (inkl. Auflockerungszone)

auf den Fluss entlang linearen Strukturen (Bohrungen, Schacht Konrad 1), das vertikale Potentialprofil in der Bohrung/im Schacht und die Wasserfliesszeit von der Basis kru bis zum Top Alb wird eine vereinfachende analytische Näherung hergeleitet. Diese berücksichtigt allerdings nicht die Fernwirkung des Hilssandstein auf die in dessen Einflussbereich stehende Strukturen (wie z.B. Schacht Konrad 1, Bohrung Bleckenstedt 1). In der folgenden Herleitung wird die "lineare Struktur" der sprachlichen Einfachheit halber mit "Bohrung" bezeichnet.

Die Näherung beruht auf dem Ansatz, dass der Zufluss aus der Unterkreide (kru und Alb) in die Bohrung horizontal

erfolgt und das Potentialprofil um die Bohrung eine zylindrische Symmetrie aufweist. In radialer Richtung ist das Potentialprofil damit logarithmisch, analog dem stationären Absenktrichter um einen Brunnen in einem gespannten Aquifer, der durch eine Festpotentialgrenze berandet ist.

Mit dem Ansatz

$$h(z, r) = h_0(z) + \lambda(z) \cdot \ln \frac{r}{P}$$

lautet die Bilanzgleichung für den Wasserfluss (Fluss entlang Bohrung = Zufluss in die Bohrung)

$$-T \frac{\partial h}{\partial z} \Big|_{r=R_A} = 2\pi \int_0^z k_f(\zeta) \lambda(\zeta) d\zeta + \text{Zufluss Basis } kru$$

wobei

z	Vertikalkoordinaten ab Basis kru
r	Abstand des Aufpunktes von der Mitte der Bohrung
h(z, r)	Potential in Anwesenheit der Bohrung
h ₀ (z)	vertikales Potentialprofil ohne Bohrung
T	Transmissivität der Bohrung
k _f (z)	hydraulische Durchlässigkeit von kru und Alb
P	Reichweite des Absenktrichters
R _A	Radius der Auflockerungszone

(P ist der Abstand zur Festpotentialgrenze bei einer allseitigen, kreisförmigen Berandung des Aquifers oder der zweifache Abstand zur Grenze bei einer geraden Berandung.)

Da die k_f-Werte von kru und Alb innerhalb der beiden Schichten als konstant angenommen werden, entspricht die oben aufgeführte Bilanzgleichung zwei gewöhnlichen Differentialgleichungen für λ(z)

$$\frac{d^2 \lambda}{dz^2} - \alpha_i^2 \lambda = 0 \quad i=k, a$$

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{2\pi k_f(kru)}{T \ln P/R_A}}$$

$$\alpha_a = \sqrt{\frac{2\pi k_f(Alb)}{T \ln P/R_A}}$$

die durch die Stetigkeitsbedingungen für $h(z, R_A)$ und $dh/dz(z, R_A)$ bei $z=L_k$ gekoppelt sind.

L_k	Mächtigkeit kru
L_a	Mächtigkeit Alb
h_{Bk}	Potential an der Basis kru
h_{Ta}	Potential am Top Alb

Die restlichen zwei Randbedingungen ergeben sich aus der Forderung, dass die Potentialabsenkung in der Bohrung, $\lambda(z) \cdot \ln P/R_A$, an der Basis kru und am Top Alb verschwindet.

Falls I_{va} und I_{vk} die ungestörten vertikalen Potentialgradienten im Alb und kru ohne Bohrung bezeichnen

$$I_{va} = \frac{h_{Bk} - h_{Ta}}{L_a + \frac{k_f(Alb)}{k_f(kru)} \cdot L_k}$$

$$I_{vk} = \frac{h_{Bk} - h_{Ta}}{L_k + \frac{k_f(kru)}{k_f(Alb)} \cdot L_a} = I_{va} \cdot \frac{k_f(Alb)}{k_f(kru)}$$

dann lautet die Lösung des Gleichungssystems für das Potentialprofil längs der Bohrung

$$h(z, r=R_A) = \begin{cases} h_{Bk} - I_{vk} \cdot z - A_k \sinh \alpha_k \cdot z & z \leq L_k \\ h_{Ta} + I_{va} \cdot (L_k + L_a - z) - A_a \sinh \alpha_a \cdot (L_k + L_a - z) & z > L_k \end{cases}$$

$$A_k = (I_{va} - I_{vk}) \sinh(\alpha_a L_a) / D$$

$$A_a = (I_{va} - I_{vk}) \sinh(\alpha_k L_k) / D$$

$$D = \alpha_k \cosh(\alpha_k L_k) \sinh(\alpha_a L_a) + \alpha_a \sinh(\alpha_k L_k) \cosh(\alpha_a L_a)$$

und der Zufluss aus dem Kimmeridge in die Bohrung, Q_{Bk} , bzw. der Abfluss aus der Bohrung in die Oberkreide, Q_{Ta} , betragen

$$Q_{Bk} = T \cdot (I_{vk} + A_k \alpha_k)$$

$$Q_{Ta} = T \cdot (I_{va} - A_a \alpha_a)$$

Die Fliesszeit entlang der Bohrung durch die Unterkreide ergibt sich durch Integration von $\varepsilon(\text{Bohrung}) / (k_f(\text{Bohrung}) \cdot dh/dz)$.

Nachfolgende Tabelle zeigt am Beispiel des Schachtes Konrad 1 für den Rechenfall R35 einen Vergleich der analytisch berechneten Zu- und Abflussraten Q_{Bk} und Q_{Ta} , der Verdünnungsfaktoren und der Wasserfliesszeiten entlang dem Schacht für unterschiedliche k_f -Werte der Unterkreide (regionaler Wert $1 \cdot 10^{-11}$ m/s, erhöhter k_f -Wert im Konrad-Graben $1 \cdot 10^{-10}$ m/s) bei gleichbleibenden übrigen Parametern (Potential an Basis Unterkreide und Top Alb, Transmissivität entlang Schacht).

		Schacht K1, R35	
k_f -Wert kru	m/s	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-11}$
Zufluss Q_{Bk}	l/min	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Abfluss Q_{Ta}	l/min	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$
Verdünnung	-	4,3	1,2
Fliesszeit	a	$8,65 \cdot 10^3$	$6,53 \cdot 10^3$

In Abb. 1-13 sind die analytisch berechneten Potentialprofile im Schacht für die beiden k_f -Werte der Unterkreide einander gegenübergestellt.

Der Unterschied zwischen den hier für $k_f(\text{kru}) = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s analytisch berechneten und den in COLENCO (1990) aufgeführten numerisch berechneten Werten ist auf den Einfluss des Hilssandstein zurückzuführen (vgl. Diskussion in Abschnitt 3.2.2.2). Dieser bewirkt gegenüber der analytischen Lösung (Abb. 1-13) eine Erhöhung des Potentials im Schacht im Grenzbereich kru/Alb, eine Verringerung des Zufluss Q_{Bk} an der Basis der Unterkreide und eine Erhöhung der Fliesszeit.

Der Vergleich, hier durchgeführt für den Schacht Konrad 1, zeigt jedoch, dass der k_f -Wert der Unterkreide einen deutlichen Einfluss auf den Fluss entlang einer Bohrung ausübt. Der Verdünnungsfaktor und die Fließzeit sinkt mit abnehmendem k_f -Wert in der hydrogeologischen Schicht kru. Grund dafür ist der verringerte Wasserzufluss aus dieser Schicht in die Bohrung und das entsprechend gleichmäßigere Potentialprofil entlang der Bohrung (vgl. Abb. 1-13). Über diesen Effekt wirkt sich die Annahme betreffend die hydraulischen Eigenschaften der Störungszonen (Konrad-Graben, Störungszone entlang dem Salzstockrand) besonders stark aus. Durch die Fernwirkung des sich ca. 700 m westlich des Schachtes Konrad 1 zwischen Unterkreide und Alb einschaltenden und bis auf die geographische Breite der Bohrung Hüttenberg 1 reichenden, einen hohen Potentialwert aufweisenden Hilssandstein wird dieser Effekt in den linearen Strukturen in der Nähe der Hilssandsteingrenze (Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und Sauingen 2, Schacht Konrad 1) noch verstärkt.

Der nicht konservative Einfluss des erhöhten k_f -Wertes der Unterkreide im Konrad-Graben ist auch aus den Flüssen entlang den Bohrungen im Rechenfall R34 ersichtlich (siehe nachstehende Tabelle). Obwohl z.B. die Unterkreideabschnitte der Bohrungen Alvesse 1 und Sauingen 2 dieselben Transmissivitäten aufweisen, ist der Fluss in Schichtmitte Unterkreide in der Bohrung Alvesse 1 mehr als viermal grösser als jener in Sauingen 2.

	Unterkreide, R34	
	T, m ³ /s	Fluss, m ³ /a
Bleckenstedt 1	$3 \cdot 10^{-7}$	0,06
Sauingen 2	$4 \cdot 10^{-7}$	0,07
Alvesse 1	$4 \cdot 10^{-7}$	0,3
Ufingen 1	$8 \cdot 10^{-7}$	0,5

1.8.2

Erniedrigung des Durchlässigkeitskontrastes zwischen Unterkreide und Alb

Die oben vorgestellten analytischen Rechnungen zeigen, dass die Erhöhung der Durchlässigkeit der Unterkreide in den Störungszonen - und damit die Erhöhung des Durchlässigkeitskontrastes zwischen Unterkreide und Alb - bezüglich der Ausbreitung von Schadstoffen entlang 1D-Strukturen (Bohrungen, Schacht Konrad 1) keine konservative Annahme darstellt. Aus diesem Grund wird im Rechenfall R47 im Konrad-Graben auf die Annahme einer Erhöhung der Durchlässigkeit in der Unterkreide verzichtet. Die k_f -Werte betragen damit im Konrad-Graben wie ausserhalb desselben 10^{-12} m/s im Alb und 10^{-11} m/s in der Unterkreide (kru). Die Multiplikationsfaktoren für die übrigen Schichten und Störungszonen behalten ihre Gültigkeit.

In der Vergitterungszone des Konrad-Grabens mit der Störungszone entlang dem Salzstockrand Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel (bisheriger Multiplikationsfaktor 60), wird die Durchlässigkeit der Unterkreide generell von $6 \cdot 10^{-10}$ m/s auf $2,5 \cdot 10^{-10}$ m/s herabgesetzt (d.h. auf den k_f -Wert der Unterkreide in der Störungszone entlang dem Salzstockrand, entsprechend dem Multiplikationsfaktor 25) und in der Umgebung der beiden Bohrungen B79 (Broistedt 33) und B80 (Broistedt 34) auf $1 \cdot 10^{-11}$ m/s.

In der Störungszone entlang dem Salzstockrand wird weiter in der Umgebung der Bohrungen Wierthe 1, Sonnenberg 4, Vechelde 2/2a und 3 die Durchlässigkeit der Unterkreide ebenfalls auf $1 \cdot 10^{-11}$ m/s herabgesetzt, d.h. der Einfluss der Störungszone (Multiplikationsfaktor 25) in der Unterkreide ausgeschaltet (vgl. auch Kap. 1.5).

Die Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in den Störungszonen in den Rechenfällen R34 und R35 sind in Abb. 1-14, jene im Rechenfall R47 in Abb. 1-15 dargestellt.

1.9

Kleinere Anpassungen

Im Zusammenhang mit der Modellanpassung als Folge der revidierten Bohrprofile wurde auch die Mächtigkeit der Oberkreide und des Quartärs revidiert. Es ist daran zu erinnern, dass die Modelloberfläche nicht der Terrainoberfläche, sondern dem Grundwasserspiegel, wie er in BGR (1984, Anlage 22) und Nlfb (1990, Anlage 3) dargestellt ist, entspricht. Der Grundwasser-Höhengleichenplan des Nlfb stimmt weitgehend mit jenem der BGR überein, letzterer enthält jedoch mehr Details. Da der Grundwasserspiegel nicht durchgehend in den quartären Lockergesteinen, sondern in Hochzonen mit geringer oder fehlender Quartärbedeckung lokal in der Oberkreide liegt, stimmt an diesen Stellen die zu modellierende Oberkreide-Mächtigkeit nicht mit ihrer in den Bohrungen durchfahrenen Gesamtmächtigkeit überein. Die Daten über die Lage des Grundwasserspiegels (+mNN) an den Bohrpunkten, die gesamte und gesättigten Mächtigkeiten von Quartär und Oberkreide in den Bohrungen sind in Tab. 1-3 enthalten. In einzelnen Bohrpunkten waren Modellanpassungen des Grundwasserspiegel (= Modelloberfläche) erforderlich. Dies rührt daher, dass der dem erwähnten Tiefenlinienplan der BGR entnommene Grundwasserspiegel im Modell durch quadratische Interpolation ermittelt wurde, wodurch lokal Unterschiede zu der direkt aus dem Grundwassergleichenplan abgeschätzten Grundwasserspiegelhöhe an Bohrpunkten entstehen konnten.

Die Bohrung B71 (Bleckenstedt 3) reicht bis ins Unteraleonium. Das Profil weist keinen Unterbathonium-Sandstein in Cornbrash-Fazies auf (BGR 1988g). Im Modell35 ist die Bohrung bis zur Basis der Unterkreide modelliert und steht topologisch in Kontakt mit dem an der Säulen-

kante mit Bohrung B71 auskeilenden Cornbrash-Sandstein. Im Modell47 wurde der hydraulische Kontakt zwischen Bohrung B71 und Cornbrash unterbrochen.

1.10

Zusammenfassung

Für den Rechenfall R47 (Modell47) sind folgende Modelländerungen und -anpassungen vorgenommen worden:

- Modellierung der Bohrungen Wierthe 1 und Sonnenberg 4
- Getrennte Modellierung der Bohrungen Vechelde 2/2a und Vechelde 3. Die Bohrung Vechelde 4 ist im Modell nicht mehr berücksichtigt.
- Anpassung des Modells im Bereich der Deckschichten oberhalb der Basis kru an die revidierten Bohrprofile (BGR 1988f und 1988g) aller modellierten Bohrungen, die nördlich der Verbreitungsgrenze des Hilssandstein liegen. Das Modell47 ist damit nicht an die revidierten Bohrprofile der Bohrungen B81, B70, K101 und B71 und des Schachtes Konrad 2 angepasst worden. Ebenso ist aus topologischen Gründen auf eine Anpassung im Gebiet der Bohrungen B79 und B80, die keinen potentiellen Ausbreitungsweg darstellen, verzichtet worden.
- Revision des Schachtes Konrad 1
- Revision des Grundwasserspiegels (= Modelloberfläche) am Ort der ausserhalb des Verbreitungsgebietes des Hilssandstein gelegenen Bohrungen
- Erniedrigung des k_f -Wertes der Unterkreide im Gebiet des Konrad-Grabens (bisheriger Multiplikationsfaktor 10) auf den generellen k_f -Wert der "ungestörten" Unterkreide. Damit wird der Durchlässigkeitskontrast zwischen Alb und Unterkreide auf eine Grössenordnung verkleinert.
- Erniedrigung des Durchlässigkeitskontrastes zwischen Unterkreide und Alb auf eine Grössenordnung in der Umgebung der Bohrungen B79 und B80 (Vergitterungszone des Konrad-Grabens mit der Störungszone entlang dem Salzstockrand) und in der Umgebung der Bohrungen Wierthe 1, Sonnenberg 4, Vechelde 2/2a und Vechelde 3 (Störungszone entlang dem Salzstockrand) durch Erniedrigung des k_f -Wertes der Unterkreide auf den regionalen Wert.

Die Schichtmächtigkeiten des Modell47 entstammen den Tiefenlinienplänen der BGR von 1987/1988 (letzte Fassung siehe BGR 1988a). Im Modellgebiet ausserhalb der angepassten Bohrungen entspricht die modellierte Geometrie der hydrogeologischen Schichteinheiten den Verhältnissen des Datensatzes von 1987/1988 (Bohrungen nach PTB 1987,

Tiefenlinienpläne nach BGR 1988a). Nördlich des Verbreitungsgebietes des Hilssandstein ist das Modell47, mit Ausnahme der Bohrungen B79 und B80, an die revidierten Bohrprofile der BGR (BGR 1988f und 1988g) angepasst worden. Die Mächtigkeitsanpassungen entlang den Bohrungen machten auch Anpassungen des Schichtverlaufs in der Umgebung der Bohrungen notwendig. In den die Bohrungen querenden Schnitten wurde systematisch eine Glättung des Verlaufs der Grenzflächen vorgenommen. Durch diese Glättung zwischen den Bohrungen, in denen die Schichtmächtigkeiten angepasst wurden und den nächsten Elementgrenzen wurde auch in der Umgebung der Bohrungen die Geometrie und Tiefenlage der Deckschichten oberhalb der Basis Unterkreide an die neue Geometrie, wie sie in den Tiefenlinienplänen des Nlfb (1989a, 1989b) zum Ausdruck kommt, implizite angeglichen.

Unterhalb der Basis Unterkreide ist das Modell nicht an die revidierten Bohrprofile angepasst worden. Die modellierten Schichtmächtigkeiten entsprechen also nach wie vor den berücksichtigten Tiefenlinienplänen des Datensatzes von 1987/1988 (BGR 1988a) und stimmen nicht immer mit den Schichtmächtigkeiten der Tiefbohrungen, wie sie in WITTKÉ (1991) und BGR (1988f, 1988g) enthalten sind, überein. Der Einfluss dieser Unterschiede auf die massgeblichen Modellresultate ist jedoch gering.

In folgenden Teilen des Modellgebietes:

- Gebiete ohne modellierte Bohrungen
- Gebiete mit Bohrungen südlich der Verbreitungsgrenze des Hilssandstein
- Bereich unterhalb der Basis der Unterkreide in Gebieten mit modellierten Bohrungen und nördlich der Verbreitungsgrenze des Hilssandstein

entspricht das Modell47 damit immer noch dem Datensatz von 1987/1988, während er im Bereich der Deckschichten in der Umgebung der nördlich der Verbreitungsgrenze des Hilssandstein modellierten Bohrungen ungefähr an die Geometrie des revidierten Datensatzes (BGR 1988f und 1988g, Nlfb (1989a) angepasst worden ist.

2 PARAMETER

2.1 Schichteinheiten, Störungszonen, Strecken

Die Parameter für die hydrogeologischen Einheiten entsprechen, wie bereits bei den Modellrechnungen zu den bestehenden Tiefbohrungen (COLENCO 1989a) und zum Schachtverschluss (COLENCO 1989b), denjenigen des Referenzfalles R01 der Modellrechnungen für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell (MOTOR COLUMBUS, 1988). Sie sind in den Tabellen 2-1 und 2-2 zusammengestellt.

2.2 Bohrungen

2.2.1 Bericht WITTKE (1991)

Der im Modell verwendete Parameter für die hydraulische Durchlässigkeit einer Bohrung in axialer Richtung ist die Transmissivität T (Dimension m^3/s), definiert als Produkt von k_f -Wert und hydraulisch wirksamem Querschnitt.

Die bisherigen Rechnungen "alte Bohrungen" erfolgten unter Annahme einer hydraulischen Wirkung des Bohrlochversatzes, wobei die Bohrungen, wie bei COLENCO (1989a) im Detail dargestellt, in versetzte und nicht versetzte Abschnitte unterteilt wurden. In den Rechenfällen R30, R34 und R35 wurden zusätzlich die unversetzten Abschnitte in stärkere und weniger stark durchlässige Unterabschnitte unterteilt. Die Umsetzung dieses Konzepts ins Modell35 ist in COLENCO (1989a) beschrieben.

Grundlage für die Festlegung der Bohrloch-Transmissivitäten für den Rechenfall R47 bildet der Bericht WITTKE (1991). In seinem Bericht geht Prof. Wittke über das im Modell35 verwendete, schematische Konzept des wirksamen Bohrlochversatzes hinaus und schätzt den Zustand der Bohrungen in der Nachbetriebsphase des Endlagers individuell für alle 26 möglicherweise relevanten Bohrungen für verschiedene Zeitpunkte systematisch ab. Sein Vorgehen soll nachfolgend kurz zusammengefasst werden.

Zuerst wird von Wittke der Zustand der relevanten Bohrungen am Ende der Bohr- und Verfüllarbeiten dargestellt. Die bereits während der Bohrarbeiten eingetretenen Veränderungen der Bohrlochquerschnitte (i.a. Auskesselungen) werden allgemein abgeschätzt. Die Verfüllung der alten Bohrungen besteht aus stehengelassener Bohrspülung, aus Zementationen sowie aus sonstigen Feststoffverfüllungen (Bohrklein, Gesteinsschotter, Kies und Sand). In einigen Bohrungen ist abschnittsweise Verrohrung verblieben.

Für die Nachweisführung ist der Zustand der Bohrungen in der Nachbetriebsphase des Endlagers massgeblich. Dabei ist erst der Zeitraum ab einigen zehntausend Jahren nach

Beendigung der Einlagerung von Bedeutung (für Bohrung Bleckenstedt 1 evtl. etwas früher). Es ist daher von Wittke untersucht worden, wie sich die Verfüllmaterialien im Verlaufe langer Zeiträume (ab tausend Jahren) verhalten und welche Durchlässigkeiten sie auf die Dauer besitzen dürften. Weiterhin wird die Beständigkeit der verbliebenen Verrohrungen betrachtet.

Im Bereich der Unterkreide sind Bohrlöcher, die nicht durch eine Füllung oder Verrohrung gestützt werden, nicht über längere Zeiträume standsicher. Nachbrechendes, zerfallendes und sedimentierendes Gestein führt zu einer Selbstverfüllung der Bohrlöcher im Bereich der Unterkreideschichten. Weiterhin kann entspannungsbedingt in Zonen, die an das Bohrloch angrenzen, eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit auftreten. Die Grösse dieser Auflockerungszonen und ihre Durchlässigkeit werden von Wittke für den Bereich der Unterkreide mit Hilfe eines empirischen Ansatzes rechnerisch abgeschätzt.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der vorstehend skizzierten Untersuchungen wird von Wittke der Zustand der möglicherweise relevanten alten Bohrungen in der Nachbetriebsphase des Endlagers ermittelt. Dabei werden jeweils drei Fälle berücksichtigt, die sich aus unterschiedlichen Annahmen zum Langzeitverhalten der Zementationen ergeben. In allen drei Fällen wird grundsätzlich von einem Erhalt der Funktionsfähigkeit der bereichsweise im Bohrloch verbliebenen Verrohrung ausgegangen, was einer konservativen Annahme entspricht. Aufgrund rechnerischer Abschätzungen der Korrosionsdauer der Verrohrung kommt Wittke zum Schluss, dass die Verrohrung zumindest bis zu Zeiträumen von 15'000-20'000 Jahren als bohrlochstabilisierendes Element weitgehend erhalten bleibt.

Die Wasserdurchlässigkeit der gesunden Zementbrücken wird von Wittke auf etwa 10^{-13} m/s geschätzt. Diese Zementbrücken sind aufgrund des Chemismus der Tiefenwässer grundsätzlich sowohl lösenden wie auch treibenden Korrosionsvorgängen unterworfen. Eine Dauerhaftigkeit des Zementsteins über geologische Zeiträume kann daher generell nicht unterstellt werden. Durch korrosive Vorgänge ist eine Anhebung der Wasserdurchlässigkeit des Zements höchstens um 1-2 Zehnerpotenzen zu erwarten. Dieses trotz Korrosion tragfähige Zementsteingefüge dürfte damit eine Durchlässigkeit von $\leq 10^{-11}$ m/s aufweisen und über einen Zeitraum von weit mehr als 1000 Jahren existieren. In geologischen Zeiträumen (mehr als 10 000 Jahre) ist jedoch nach Wittke der Zusammenbruch des Zementsteingefüges unvermeidlich. Die Folge davon ist eine sich über einen längeren Zeitraum erstreckende Zerstörung der Zementbrücken in dem Bereich, der von korrosiv wirkenden Tiefenwässern erfasst wird. Die drei betrachteten Fälle unterscheiden sich hinsichtlich der Annahmen zur Langzeitentwicklung der Bohrlochzementationen.

Im Fall B wird davon ausgegangen, dass die Zementbrücken weitgehend intakt bleiben und sich ihre Lage innerhalb des Bohrlochs nicht ändert. Die Sedimentation der Dickspülung erfolgt stockwerksweise oberhalb der einzelnen Zementbrücken. Nach Wittke kann der Fall B als **der mit der grössten Wahrscheinlichkeit zutreffende Fall** angesehen werden. Konservativerweise wird dabei für die Zementfüllungen ein Durchlässigkeitsbeiwert von 10^{-8} m/s angenommen (obwohl - wie oben erwähnt - im Mittel ein bedeutend geringerer Wert zu erwarten ist).

Im Fall C wird von einer vollständigen Zerstörung der Zementbrücken ausgegangen. Die dabei entstehenden Zementsteinpartikel sedimentieren im unteren Teil der Bohrung. Dabei bleibt das Feststoffvolumen der zersetzten Zementbrücken vollständig erhalten. Für die zementierten Zementsteinpartikel aus zerstörten Zementbrücken wird ein Durchlässigkeitsbeiwert von 10^{-8} m/s angenommen.

Im Fall D wird zusätzlich zum Fall C angenommen, dass der Zementstein vollständig in Lösung geht und abtransportiert wird. Diese Annahme ist nach Wittke jedoch als unrealistisch anzusehen. Es handelt sich damit beim Fall D "um einen absoluten Grenzfall".

Für diese drei Fälle sind von Wittke die axialen Transmissivitäten der Bohrungen im Bereich der gesamten Unterkreide (d.h. Alb und kru) abschnittsweise ermittelt worden. Die resultierenden Werte für Durchmesser, Durchlässigkeitsbeiwert und Transmissivität sind in WITTKE (1991) für die drei Fälle B bis D und für alle 26 relevanten Bohrungen tabellarisch zusammengestellt. Die Tabellen enthalten zusätzlich die Werte für die vier unterschiedlich definierten Bohrlochdurchmesser d_1 , d_2 , d_3 und d_A , die für die Berechnung des massgebenden Durchmessers verwendet wurden. Die Bedeutung dieser verschiedenen Durchmesser (WITTKE 1991, Abb. E-13.2) ist aus Abb. 2-1 ersichtlich. Zusammenfassend enthalten die erwähnten Tabellen auch die gemittelten axialen Transmissivitätswerte für die zusammengefassten Abschnitte Oberkreide (OBKR), höhere Unterkreide (UKR2), tiefere Unterkreide (UKR1), Malm, Dogger, Lias und Keuper (zur Definition der zusammengefassten Abschnitte siehe Kap. 1.2 und Tab. 1-1). Dabei ist zu beachten, dass bei Wittke die höhere Unterkreide (UKR2) die Stufen Alb und Apt umfasst, die tiefere Unterkreide (UKR1) die Stufen Barrême bis Basis Unterkreide. Diese zusammengefassten Abschnitte entsprechen, wie bereits in Kap. 1.2 erwähnt, nicht der Unterteilung der gesamten Unterkreide in "Alb" und die die Stufen Apt bis zur Basis der Unterkreide umfassende "Unterkreide" (kru), die der Modellierung zugrundeliegen.

Das Vorgehen bei der Festlegung der für die Modellrechnungen massgebenden Transmissivitäten und Durchmesser wird in den nachfolgenden Abschnitten 2.2.2 und 2.2.3 beschrieben.

2.2.2 Transmissivität

Aus den verschiedenen Bohrlochzuständen entsprechenden Transmissivitätswerten für die einzelnen Abschnitte sind von Wittke die Transmissivitätswerte für die zusammengefassten Abschnitte berechnet worden. Die Tabellen E-13.3 (WITTKE 1991) enthalten damit neben detaillierten Abschnittswerten zusammengefasste Werte für die Abschnitte QUAR (gelegentlich, wenn OBKR fehlt), OBKR, UKR2, UKR1, MALM, DOGGER, LIAS, KEUPER. Meistens sind die Abschnitte unterhalb der Basis Unterkreide zu einem einzigen Wert zusammengefasst.

Da die im Modell ausgeschiedenen Schichteinheiten q, kro, Alb, kru, jo, ox, Grub, Dogger, C, Lias, ko, Keuper und mo nur teilweise mit den zusammengefassten Abschnitten von Wittke zusammenfallen, sind für mehrere Bohrungen aus den T-Werten der einzelnen Teilabschnitte (Tabellen E-13.3 von Wittke) die axialen T-Werte für die hier modellierten Schichten neu berechnet worden.

Wittke gibt für jeden Abschnitt drei Transmissivitätswerte an, die den oben erwähnten Fällen B bis D entsprechen. Aus diesen Werten und den auf die Schichteinheiten des Modells umgerechneten Werten sind jeweils der grössere T-Wert der Fälle B und C übernommen worden. Die für die Modellrechnungen des Rechenfalls R47 anzuwendende Transmissivität wurde daraufhin durch Aufrunden dieses Wertes auf den nächsten ganzzahligen Wert der Mantisse ermittelt. Der als unwahrscheinlich zu betrachtende Fall D wurde bei der Parameterwahl nicht berücksichtigt.

Diese Annahmen ergaben in einem Fall allerdings Parameter, die als zu wenig belastbar betrachtet werden. Dieser Fall betrifft die Bohrung Bleckenstedt 1 und zeichnet sich durch die Anwesenheit eines längeren Abschnittes mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s aus.

In der Bohrung Bleckenstedt 1 weist im Fall B von WITTKE (1991) der Abschnitt 440-642 m, d.h. die untersten 71 m des Alb und die gesamte Unterkreide mit Ausnahme der untersten 46 m einen k_f -Wert von 10^{-3} m/s auf, der diesem Abschnitt eine axiale Transmissivität von $1,9 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s verleiht. Die mittlere axiale Transmissivität der Unterkreide (ohne Apt und Alb, Abschnitt 536-688 m) beträgt nach Tabelle E-13.3/2B von Wittke jedoch lediglich $3,2 \cdot 10^{-9}$ m³/s. Diese geringe und mit den anderen Bohrungen vergleichbare Transmissivität geht auf den lediglich 46 m langen, einen k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s und eine Transmissivität von $1,9 \cdot 10^{-10}$ m³/s aufweisenden Abschnitt 642-688 m zurück. Aus diesem Grund erscheint der Wert von $3,2 \cdot 10^{-9}$ m³/s als nicht genügend belastbar. Für die Unterkreide wird daher die mittlere axiale Transmissivität des restlichen Unterkreideabschnittes, d.h. $2 \cdot 10^{-5}$ m³/s festgehalten (vgl. Tabelle 2-2, Seite 2). Die Transmissivität für das Alb ist infolge des 110 m langen Abschnittes 330-

440 m mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s und einer Transmissivität von $2 \cdot 10^{-9}$ m³/s um vier Grössenordnungen kleiner.

Auch in mehreren der übrigen von Prof. Wittke bearbeiteten Bohrungen kommen Teilabschnitte mit hoher Transmissivität ($k_f = 10^{-3}$ m/s) vor. Die kumulierten Abschnittslängen dieser hochdurchlässigen Abschnitte betragen jedoch stets weniger als 1/3 der Gesamtmächtigkeit der zusammengefassten Abschnitte UKR2 und UKR1 bzw. Alb und Unterkreide (kru). Die Gesamttransmissivität der Bohrlochabschnitte in Unterkreide und Alb wird daher mit genügender Zuverlässigkeit durch die geringe Durchlässigkeit der übrigen Abschnitte bestimmt. Ausser in der Bohrung Bleckenstedt 1 sind damit die von Wittke in den Tabellen E-13.3 (WITTKKE 1991) angeführten Werte für die zusammengefassten Abschnitte ohne Einschränkung als Eingangswerte für die Modellrechnungen berücksichtigt worden.

Die nachstehende Tabelle zeigt, dass für das Verhältnis zwischen den T-Werten der Bohrungen in den Deckschichten Unterkreide und Alb drei Fälle vorkommen: $T_{kru} < T_{Alb}$, $T_{kru} = T_{Alb}$ und $T_{kru} > T_{Alb}$.

	Im Verbreitungsgebiet des Hilssandstein oder an dessen Nordgrenze	Nördlich des Verbreitungsgebietes des Hilssandstein
$T_{Alb} > T_{kru}$	K101, B80	B107
$T_{Alb} = T_{kru}$	B81, B79, B321	B320, B30, B315, B303, B106
$T_{Alb} < T_{kru}$	B70, B71, B28	B67, B183, B100, B166

T_{Alb} : Bohrlochtransmissivität im Alb

T_{kru} : Bohrlochtransmissivität in der Unterkreide (kru)

Mit einer erweiterten Version der in Abschnitt 1.8.1 vorgestellten Methode zur analytischen Abschätzung des Zuflusses zur Bohrung wurde der Einfluss des Verhältnisses zwischen den Bohrlochtransmissivitäten in den Abschnitten kru und Alb untersucht. Es zeigte sich dabei, dass bei typischen Werten für die Potentiale an der Basis kru und am Top Alb und für die Mächtigkeiten von kru und Alb folgende Flüsse abgeschätzt werden können:

		Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4
T_{kru}	m^3/s	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$
T_{Alb}	m^3/s	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-10}$
Zufluss Bas.kru	l/min	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
Abfluss Top Alb	l/min	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
Verdünnung	--	61	18	10	1,0
Fliesszeit kru	a	826	928	981	1170
Fliesszeit Alb	a	15	49	90	830
Insgesamt	a	841	977	1071	2000

T_{Alb} : Bohrlochtransmissivität im Alb

T_{kru} : Bohrlochtransmissivität in der Unterkreide (kru)

In allen vier Varianten wurde die Transmissivität des Unterkreideabschnittes konstant gehalten und lediglich jene des Abschnittes im Alb variiert.

Im Fall $T_{kru} = T_{Alb}$ gelten die Werte der Variante 3, d.h. eine gesamte Fliesszeit von rund 1000 Jahren in der Unterkreide, von 100 Jahren im Alb, sowie einer Verdünnung um den Faktor 10.

Bei $T_{kru} < T_{Alb}$ (Varianten 1 und 2) nimmt die Verdünnung deutlich zu, hingegen die Fliesszeit durch das Alb in etwa demselben Masse ab, während die Fliesszeit durch die Unterkreide (infolge des unveränderten T-Wertes kru) nur wenig kürzer wird.

Bei $T_{kru} > T_{Alb}$ nimmt die Fliesszeit stark zu, was vor allem auf die längere Fliesszeit im Alb zurückgeht. Die Verdünnung sinkt auf den Wert 1. Der Abfluss aus der Bohrung am Top Alb ist gleich (für $T_{Alb}:T_{kru} = k_f(Alb):k_f(kru)$) oder kleiner als der Zufluss an der Basis kru. Auffallend ist auch, dass in allen 4 Varianten der Zufluss an der Basis kru gleich ist.

Aus diesen Zahlen kann geschlossen werden, dass auch Bohrungen, die im Alb einen geringeren T-Wert aufweisen, Beachtung zu schenken ist. In analoger Weise kann auch gezeigt werden, dass bei konstanter Gesamtmächtigkeit der Schichten kru und Alb die Annahme einer geringen Albmächtigkeit nicht konservativ zu sein braucht. Es ist jedoch anzumerken, dass die angeführten analytischen Rechnungen verschiedene Prozesse nicht berücksichtigen (nichtradiale Zuflüsse, Einfluss Hilssandstein), so dass die angeführten Werte keine weitergehende quantitative Auswertung erlauben.

2.2.3 Durchmesser

In den früheren Rechenfällen "alte Bohrungen" wurden die k_f -Werte für die ausgeschiedenen Unterabschnitte (durch-

lässige und versetzte Abschnitte) vorgegeben. Die Bohrlochtransmissivität hing damit direkt vom festgehaltenen Bohrlochquerschnitt ab. Im Rechenfall R47 wird eine vorgegebene Bohrlochtransmissivität übernommen. Diese setzt sich aus den Teiltransmissivitäten für vier verschiedene Teilflächen des Bohrloches zusammen (nominaler Bohrquerschnitt, Auskesselung, Querschnittsvergrößerung durch Nachfall, Querschnitt der Auflockerungszone), die z.T. unterschiedliche Durchlässigkeiten aufweisen.

Da von Wittke axiale Transmissivitätswerte geliefert werden, geht der Bohrlochdurchmesser noch als Parameter in die Berechnung der Fliesszeiten und in die Ausbreitungsrechnungen (Matrixdiffusion) entlang den Bohrungen ein. Damit ist lediglich der Durchmesser in den Deckschichten oberhalb der Basis Unterkreide von Bedeutung.

Für die Berechnung der Fliessgeschwindigkeit und der Fliesszeit längs der Bohrungen durch kru und Alb wird der nominale Durchmesser an der Basis der Unterkreide (WITTKKE 1991 bzw. BGR 1991) und die Potentiale und T-Werte des Modells verwendet. Auch die Transportrechnungen werden mit dem gebohrten Durchmesser an der Basis der Unterkreide durchgeführt. Dieser Durchmesser entspricht dem Wert d_1 der Tabellen E-13.3 von Wittke (vgl. Abb. 2-1).

Auf die Frage nach dem Einfluss von Bohrlochquerschnitt und Fliessgeschwindigkeit auf den Nuklidtransport bei konstant gehaltener Transmissivität wird in Abschnitt 6.4.2 näher eingegangen.

2.3 Schächte, Doggerstrecke, Nordstrecke

Die Schächte Konrad 1 und Konrad 2 erfahren im Rechenfall R47 gegenüber R35 keine Änderung, weisen also dieselben Radien und k_f -Werte ($1 \cdot 10^{-8}$ m/s in Unterkreide bis Alb und $1 \cdot 10^{-4}$ m/s oberhalb Top Alb und unterhalb Basis kru) und Radien und damit dieselben Transmissivitäten auf.

Die Radien der Schächte und der sie umgebenden Auflockerungszonen (AZ) betragen damit auch im Rechenfall R47

$$R_{\text{Schacht}} = 4,5 \text{ m}$$

$$R_{\text{Schacht+AZ}} = 8,5 \text{ m, d.h. Dicke der Auflockerungszone } 4,0 \text{ m}$$

und die entsprechenden Querschnittsflächen sind

$$A_{\text{Schacht}} = 64 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{AZ}} = 163 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Schacht+AZ}} = 227 \text{ m}^2$$

Die für den Schacht verwendeten Parameter sind in Tab. 2-3 aufgeführt.

Die Parameter der Doggerstrecke (Schacht Konrad 2) und der Nordstrecke entsprechen dem Rechenfall R35; sie sind in Tab. 2-2 (Seite 1) aufgeführt.

Im Modell verbindet der Schacht Konrad 2 den Cornbrash mit dem Oxford und dem Grubengebäude mit einer Transmissivität von $T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$.

Damit wurde gleichzeitig auch der hydraulische Kurzschluss modelliert, der durch die vom Grubengebäude in den Dogger führenden Strecken, vor allem die Strecke vom Fuss des Schachtes Konrad 2 ins Grubengebäude (Strecke D), verursacht wird. In der folgenden Tabelle sind die Grundlagen zusammengestellt, die zu den im Modell verwendeten Schachttransmissivitäten im Kimmeridge, Oxford und Dogger führen.

	K1 und K2 Oxford/Kimmeridge	K2 und Strecke D ⁽¹⁾ Dogger
Ausbruchquerschnitt [m ²]	64	K2: 64 Strecke D: 15
Dicke AZ [m]	4	4
k_f (Verfüllung) [m/s]	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
k_f (AZ) [m/s]	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-6}$
T [m ³ /s]	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$0,8 \cdot 10^{-2} \approx 1 \cdot 10^{-2}$

(1) Strecke D zwischen Fuss Schacht K2 und Grubengebäude

2.4

Unterschiede in den Parametern gegenüber den Rechenfällen R34 und R35

Gegenüber den Rechenfällen R34 und R35 unterscheidet sich der Rechenfall R47 grundsätzlich durch das Verlassen des Konzeptes der schematisch in drei Tiefenbereiche unterteilbaren Bohrlochtransmissivität: Abschnitt mit geringdurchlässigem Bohrlochversatz über 43 % der gebohrten Bohrlänge und darüber ein unversetzter Bohrlochabschnitt, unterteilt in den späteren Rechenfällen "alte Bohrungen" wie R34 (und R35) in einen infolge Nachfalls weniger durchlässigen Teil in der Unterkreide und im Alb und einen durchlässigeren Teil in der Oberkreide und im Quartär und (sofern unversetzt) unterhalb der Basis der Unterkreide. Statt dessen beruhen die für den Rechenfall R47 gewählten axialen Transmissivitäten der Bohrungen auf ei-

ner systematischen, von Prof. Wittke durchgeführten Neuabschätzung der langfristigen Verfüllungszustände der alten Bohrungen (WITTKÉ 1991). Die für den Rechenfall R47 festgehaltenen T-Werte der Bohrungen weisen gegenüber den Rechenfällen R34 und R35 zusammengefasst folgende Hauptunterschiede auf:

In der **Oberkreide** kommen Transmissivitäten von $5 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $2 \cdot 10^{-4}$ m³/s vor. (Lediglich die Bohrungen Bleckenstedt 1 und Ufingen 1 weisen geringe Transmissivitäten von $2 \cdot 10^{-9}$ m³/s auf). Diese Werte haben dieselbe Grössenordnung wie im Rechenfall R34, in dem die Oberkreideabschnitte durchgehend unversetzt und durchlässig betrachtet wurden, mit axialen Transmissivitäten zwischen $3 \cdot 10^{-5}$ m³/s bis $8 \cdot 10^{-5}$ m³/s (Vechelde 2/2a-3-4: $2 \cdot 10^{-4}$ m³/s).

In den Deckschichten **Unterkreide** und **Alb** betragen im Rechenfall R47 die Transmissivitäten der Bohrungen im allgemeinen $2 \cdot 10^{-9}$ m³/s bis $7 \cdot 10^{-9}$ m³/s. Rund vier Grössenordnungen höhere Werte wurden für die Bohrungen K101 (Unterkreide $5 \cdot 10^{-5}$ m³/s, Alb $9 \cdot 10^{-5}$ m³/s), Bleckenstedt 1 (Unterkreide $2 \cdot 10^{-5}$ m³/s) und Vechelde 3 (Alb $9 \cdot 10^{-5}$ m³/s) festgehalten. Auch in der Unterkreide weist die Bohrung Vechelde 3 mit $4 \cdot 10^{-8}$ m³/s eine etwas erhöhte Transmissivität auf, so dass diese Bohrung von allen ausserhalb des Verbreitungsgebietes des Hilssandstein liegenden Bohrungen die ungünstigsten Durchlässigkeitsverhältnisse zeigt. Im Rechenfall R34 haben die unversetzten, jedoch wenig durchlässigen Abschnitte der Deckschichten Unterkreide und Alb (vgl. Tab. 2-4 und COLENCO 1989a, Abbildungen 2-2 bis 2-11) Transmissivitäten zwischen $3 \cdot 10^{-7}$ m³/s und $8 \cdot 10^{-7}$ m³/s (Vechelde 2/2a-3-4 = $2 \cdot 10^{-6}$ m³/s). In den ausserhalb der Verbreitung des Hilssandstein liegenden Bohrungen Sauingen 1 und 2 und Ufingen 1 und 2 ist die Unterkreide allerdings teilweise oder vollständig versetzt ($T = 6 \cdot 10^{-10}$ m³/s). Damit weisen die Bohrungen Sauingen 1 und 2 sowie Ufingen 1 und 2 im Rechenfall R47 höhere Transmissivitäten auf als in R34. In der Bohrung Vechelde 3 ist im Rechenfall R47 im Alb die Transmissivität um mehr als eine Grössenordnung höher als in R34, während jene in der Unterkreide um das 50-fache niedriger ist als in R34. Da, wie in Abschnitt 1.8.2 beschrieben, der Durchlässigkeitskontrast zwischen den k_f -Werten Alb und kru in der Störungszone des Salzstockrandes bei Bohrungen auf eine Grössenordnung reduziert worden ist und die Mächtigkeitsverhältnisse von Unterkreide und Alb sich im Modell47 infolge der Revision der Bohrprofile sich in ungünstigem Sinne geändert haben, brauchen die Parameter der Bohrung Vechelde 3 im Rechenfall R47 nicht notwendigerweise günstiger zu sein als jene im Rechenfall R34.

Die Transmissivitäten der Bohrungen sind unterhalb der Basis Unterkreide klein (Ausnahme K101) und weisen dieselbe Grössenordnung auf wie im Rechenfall R34. Die hy-

draulische Bedeutung der Bohrungen unterhalb der Basis Unterkreide ist damit gering.

Für die Schächte Konrad 1 und 2 gelten dieselben Parameter wie im Rechenfall R35.

Die Parameter des Rechenfalls R47 sind in den Tab. 2-1 bis 2-3 zusammengestellt. Ein Vergleich mit den in den Rechenfällen R34 und R35 in den Aquitarden Alb, Unterkreide, Dogger, Lias und Keuper verwendeten Bohrlochtransmissivitäten ist in Tab. 2-4 enthalten.

3 ERGEBNISSE DER REGIONALEN HYDRAULISCHEN MODELLIERUNG

3.1 Potentiale

Die in den Kapiteln 1 und 2 aufgeführten Modell- und Parameteränderungen bewirken im Rechenfall R47 im Vergleich zu R35 zum Teil deutliche Änderungen der Potentiale. Die Abb. 3-1 bis 3-6 zeigen die Potentialverteilung in Schnitten, welche die Mehrzahl der Bohrungen im Abstrombereich der Grube enthalten. Neben Übersichtsdarstellungen mit der Potentialverteilung im gesamten Profil (Abb. 3-1, 3-3, 3-5 und 3-6 (Isolinienabstände 1 m oder 2 m) ist in zwei Schnitten auch ein eingeeengter Potentialbereich mit Isolinienabständen von 0,5 m bzw. 0,2 m dargestellt (Abb. 3-2 und 3-4).

Da die wesentlichen Parameteränderungen des Rechenfalls R47 hauptsächlich die Bohrlochabschnitte in den Deckschichten Alb und Unterkreide betreffen, sind Potentialänderungen vor allem in den Aquiferen Oberkreide, Kimmeridge und Oxford zu erwarten. Darstellungen der Potentialdifferenz R47-R35 finden sich in den Abb. 3-7 und 3-8 für die Basis der Unterkreide und des Kimmeridge.

Die grössten positiven und negativen Potentialdifferenzen zwischen den beiden Rechenfällen R47 und R35 sind auf der folgenden Seite für die Aquifere Oberkreide, Kimmeridge, Oxford, Cornbrash, Rhät und Oberer Muschelkalk zusammengestellt. Dabei stellen negative Differenzen eine Erniedrigung des Potentials im Rechenfall R47 dar, bei positiven Werten ist das Potential in R47 grösser als in R35.

An der Basis der Oberkreide, die im Gegensatz zu Kimmeridge/Oxford und Cornbrash ein ungespannter Aquifer ist, liegen die Potentialänderungen im Bereich von -1,65 m bis +3,25 m. Die Potentialänderungen in der Oberkreide hängen mit den Anpassungen des Grundwasserspiegels an einzelnen Bohrpunkten zusammen (vgl. Tab. 1-3) und sind nicht auf die Parameteränderungen zurückzuführen. Ihre hydraulische Bedeutung ist gering.

Die Potentialunterschiede gegenüber dem Rechenfall R35 sind im Oxford und Kimmeridge praktisch identisch (vgl. Abb. 3-7 und 3-8). Sie erreichen bis -3,4 m im Konrad-Graben, wobei sich der Extremwert in der Vergitterungszone mit der Störungszone entlang dem Salzstockrand einstellt. Diese relativ bedeutende Erniedrigung des Potentials in den Aquiferen Kimmeridge und Oxford ist eine Folge der Erniedrigung des k_f -Wertes der Unterkreide (k_{ru}) im Konrad-Graben und in Bereichen der Störungszone entlang dem Salzstockrand (vgl. Abb. 1-14 und 1-15) auf den regionalen Wert von $1 \cdot 10^{-11}$ m/s. Dadurch wird der Wasserfluss aus dem Hilssandstein durch die Unterkreide ins Kimmeridge und Oxford verringert, was eine Erniedrigung des Potentials in diesen Schichten bewirkt. Dass die stärkste Verminderung des Potentials im westlichen Teil

des Konrad-Grabens und in der Vergitterungszone mit der Störungszone entlang dem Salzstockrand auftritt, hat verschiedene Ursachen: Einerseits befindet sich das Hauptverbreitungsgebiet des Hilssandstein im Bereich des Konrad-Grabens im westlichen Teil desselben, andererseits ist um die Bohrungen B79 und B80 herum die Durchlässigkeit der Unterkreide am stärksten herabgesetzt worden (um den Faktor 60).

Eine Erniedrigung des Potentials im Gebiet des Konrad-Grabens ist auch im Cornbrash-Sandstein zu beobachten und erreicht dort am Ort der Doggerstrecke (= Schacht Konrad 2) -2,72 m: die Potentialerniedrigung im Oxford-Kimmeridge pflanzt sich über die durchlässige Doggerstrecke ($T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$) in den Cornbrash-Sandstein fort. Damit ist eine Erhöhung des Wasserflusses entlang dieser Struktur verbunden (siehe Abschnitt 3.2.1).

Die Auswirkungen der Potentialerniedrigung im Oxford/Kimmeridge sind im Rhät (-1,04 m) und im Oberen Muschelkalk (-0,78 m) deutlich geringer. Ihr Zentrum befindet sich ebenfalls im Gebiet des Konrad-Grabens und reicht bis auf die geographische Breite der Bohrungen Ufingen-Alvesse 1.

Schicht- einheit	Negative Potenti- aldifferenzen R47-R35		Positive Potenti- aldifferenzen R47-R35	
	Minimum	Gebiet	Maximum	Gebiet
Oberkreide	-1,65 m	Gebiet mit Boh- rungen	+3,25 m	Gebiet mit Boh- rungen
Kimmeridge	-3,4 m	Gruben- gebäude, Konrad- Graben	+0,04 m	Modell- grenze im Nor- den
Oxford	-3.36	idem	+0,04 m	idem
Cornbrash	-2,72 m	Schacht Konrad 2	+0,04 m	idem
Rhät	-1,04 m	Konrad- Graben, Gebiet bis Ufingen	+0,14 m	In Ve- chelde +0,04 m
Oberer Muschelkalk	-0,78 m	idem	+0.03 m	

3.2 Wasserflüsse

3.2.1 Wasserflüsse durch das Grubengebäude

Wie aus Tabelle 3-1 hervorgeht, ist der Grubendurchfluss im Rechenfall R47 mit $770 \text{ m}^3/\text{a}$ signifikant höher als in den Rechenfällen R34 und R35 ($630 \text{ m}^3/\text{a}$ bzw. $640 \text{ m}^3/\text{a}$). Diese Erhöhung wird ausschliesslich durch eine Verstärkung des Zuflusses durch die Doggerstrecke bewirkt. Wie aus nachstehender Tabelle ersichtlich ist, nimmt allerdings dieser Zufluss stärker zu als der gesamte Grubendurchfluss. Die unterschiedliche Zunahme der beiden Werte drückt sich auch in einer markanten Erhöhung des Fehlermasses für den Grubendurchfluss von 2 % bzw. 3 % in den Rechenfällen R35 und R34 auf 14 % im Rechenfall R47 aus. Die Ursache liegt darin, dass im Rechenfall R47 ein 1D-Element einen wesentlichen Anteil des Grubendurchflusses zuführt. In diesem Fall treten stark unterschiedliche hydraulische Gradienten längs des 1D-Elementes und senkrecht zu den angrenzenden 2D-Oberflächenelementen des Grubengebäudes auf, wodurch die Berechnung des Flusses durch die letzteren einen grösseren Fehler aufweisen als in den Fällen R34 und R35. Dieser Effekt tritt neben dem Rechenfall R47 z.B. auch in den Rechenfällen R29 bis R32 auf, die ebenfalls erhöhte Fehlermasse (zwischen 16 und 77 %) aufweisen und sich dadurch auszeichnen, dass der Anteil des Flusses durch 1D-Elemente am gesamten Grubendurchfluss relativ hoch ist (COLENCO 1989a, Tabelle 4-2).

Rechenfall	Grubendurchfluss [l/min]	Zunahme gegenüber R35 [-]	Zufluss durch Doggerstrecke [l/min]	Zunahme gegenüber R35 [-]
R35	1,22	-	0,23	-
R47	1,46	0,24	0,77	0,53

Die Ursache für die starke Erhöhung des Zuflusses durch die Doggerstrecke ist in der regionalen hydrogeologischen Situation zu suchen. Die beiden Aquifere Oberjura (Oxford-Kimmeridge) und Cornbrash-Sandstein weisen ausserhalb der Exfiltrationszone bei Calberlah keine Verbindung zur Oberfläche auf. Ihre südliche Verbreitungsgrenze liegt wenig südlich der Grube, wobei das Oxford etwas weiter nördlich einsetzt als der Cornbrash-Sandstein. Beide Aquifere werden im Hangenden und Liegenden von Aquitarden eingefasst. Der Oberjura von der Unterkreide im Hangenden, vom Dogger im Liegenden, der Cornbrash-Sandstein von den Tonsteinen des Dogger (oben) und Lias (unten). Beide Aquifere werden also im wesentlichen (ausser entlang Bauten wie Bohrungen und Schächten oder entlang von Störungen) durch die Aquitarden alimentiert und weisen damit zumindest an ihrer Südgrenze ein niedrigeres Potential auf als die Aquifere Oberer Muschelkalk, Rhät und Hilssandstein, die am Salzgitter Höhenzug in einem

oberflächlichen Infiltrationsgebiet ausstreichen. Die flächenhafte Alimentation durch die erwähnten Aquitarde erfolgt für den Oberjura hauptsächlich aus dem Hilssandstein (dessen nördliche Verbreitungsgrenze wenig nördlich der südlichen Verbreitungsgrenze von Kimmeridge-Oxford liegt) und sekundär aus dem Cornbrash-Sandstein. Dieser letztere wird an seiner Südgrenze, vor dem Auftreten des Oberjura, ebenfalls aus dem Hilssandstein gespiesen und erhält durch die Liastonsteine weitere, aus dem Rhät stammende Zuflüsse. Nördlich der südlichen Verbreitungsgrenze des Oberjura wird der Cornbrash nur noch von unten her alimentiert, weiter im Norden, wo das Oxford-Potential jenes des Cornbrash-Sandsteins übersteigt, überdies von oben aus dem Oxford.

Die eine Transmissivität von $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ aufweisende Doggerstrecke bringt das Oxford und Grubengebäude in hydraulischen Kontakt zum Cornbrash.

Im Rechenfall R47 ist in der Störungszone des Konrad-Grabens der k_f -Wert der Unterkreide aus den in Kapitel 1.8 aufgeführten Gründen auf den regionalen Wert von $1 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$ herabgesetzt worden. Dadurch wird, wie bereits in Kapitel 3.1 ausgeführt, die Infiltration von Wasser aus dem Hilssandstein durch die Unterkreide in den Aquifer des Oberjura verringert; das sich im Oberjura einstellende Potential ist damit geringer (bis 3,4 m gegenüber dem Rechenfall R35) als in den Rechenfällen, in denen die Unterkreide im Konrad-Graben einen k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ aufweist. Demgegenüber wird die Infiltration in den Cornbrash-Sandstein durch diese Modifikation der Unterkreide-Durchlässigkeit nicht betroffen, da sie durch diese Schicht nur südlich des Konrad-Grabens erfolgt. Aus diesem Grund herrscht im Gebiet der Grube zwischen Cornbrash-Sandstein und Oxford ein höherer Potentialunterschied als in den Rechenfällen mit Erhöhung des k_f -Wertes der Unterkreide im Gebiet des Konrad-Grabens gegenüber dem regionalen Wert. Diese Vergrößerung des Gradienten zwischen Cornbrash und Oxford ist verantwortlich für die Zuflusserhöhung entlang der Doggerstrecke, ist doch für die aufgeführten Wasserflüsse entlang der Doggerstrecke von 0,23 l/min in den Rechenfällen R34 und R35 bzw. 0,77 l/min im Rechenfall R47 eine Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Cornbrash-Sandstein und der Grube von lediglich 6 cm bzw. 19 cm erforderlich.

Wie bereits früher (MOTOR COLUMBUS 1988, Tabelle 4-5) festgestellt wurde, reagiert der Fluss durch die Doggerstrecke sehr sensibel auf Parameteränderungen. In den Rechenfällen R03 bis R05 ist in der Doggerstrecke sogar ein Abwärtsfluss verzeichnet worden³. Auch der in den meisten

3

Der Abfluss durch die Doggerstrecke erreichte in R04 und R05 Werte von rund 1 l/min. In beiden Fällen ist der k_f -Wert in der Vergitterungszone um den Faktor 500

Rechenfällen zu beobachtende Wechsel in der Richtung des Wasserflusses zwischen Cornbrash und Oxford (im Süden höheres Potential, im Norden niedrigeres Potential im Cornbrash als im Oxford) weist auf das empfindliche Gleichgewicht zwischen den beiden Aquiferen hin. Dieses Gleichgewicht und die starken Auswirkungen von Parameteränderung im Bereich der Aquitarde wird verursacht durch die "gefangene" Situation der beiden Aquifere und hängt mit dem geringen Wasserumsatz zusammen ("wenig gepuffertes" System).

Als Konsequenz ergibt sich aus diesen Resultaten die Empfehlung, dass der im Dogger gelegene Abschnitt des Schachtes ebenfalls eine abdichtende Funktion ausüben und deshalb mit Abdichtungsmaterial verfüllt werden sollte.

Es stellt sich dabei die Frage, welche Konsequenzen eine Abdichtung der Doggerstrecke auf die hydraulischen Resultate haben wird. Wegen dem Ausbleiben des Zuflusses durch die Doggerstrecke wird das Potential im Oxford etwas geringer sein als bei einer hochdurchlässigen Strecke und der Gradient zwischen Grubengebäude und der Obergrenze der Deckschichten erniedrigt sich damit geringfügig. Allerdings würde das Potential im Cornbrash etwas ansteigen und sich (im südlichen Drittel der Cornbrash-Verbreitung) der flächenhafte Fluss aus dem Cornbrash durch die Dogger-tonsteine etwas vergrößern. Generell wirkt sich die Berücksichtigung der Doggerstrecke mit einem T-Wert von $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ konservativ aus, indem Grubendurchfluss und die Abflüsse durch die Bohrungen und den Schacht Konrad 1 dadurch etwas zunehmen.

3.2.2 Wasserflüsse entlang Bohrungen

Durch die veränderten axialen Transmissivitätswerte unterscheiden sich die Wasserflüsse entlang den Bohrungen in unterschiedlichem Ausmass von den Werten des Rechenfalls R34.

Die Tab. 3-2 enthält die Wasserflüsse entlang den modellierten Bohrungen für die Rechenfälle R34 und R47. Die angeführten Werte entsprechen den Flüssen in den Schichtmitten der einzelnen geologischen Schichteinheiten. In Abb. 3-9 ist die Richtung der Wasserflüsse im Rechenfall R47 graphisch dargestellt.

erhöht worden. Damit wies die Unterkreide in der Verwitterungszone von Konrad-Graben und Störungszone entlang dem Salzstockrand einen k_f -Wert von $5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ auf, was den Abfluss von Hilssandsteinwasser durch die Unterkreide zum Oberjura erleichterte. Das Potential stieg dadurch in der Grube über jenes im Cornbrash-Sandstein an.

Die im Rechenfall R47 in der Unterkreide und im Alb zu erwartenden Wasserflüsse unterscheiden sich von jenen im Fall R34 entsprechend dem Verhältnis der Transmissivitätswerte R47:R34 (vgl. Tab. 2-4).

Da die Transmissivitäten in den Deckschichten meist markant geringer sind als im Rechenfall R34 sind für die Wasserflüsse entlang den Bohrungen in Unterkreide und Alb gegenüber R34 deutliche Änderungen zu erwarten. Spezielle Fälle stellen die Bohrungen Bleckenstedt 1, Konrad 101 und Vechelde 3 dar, die detaillierter diskutiert werden. In den übrigen Schichteinheiten sind die Unterschiede der Transmissivitäten im Vergleich zu R34 geringer. Nachfolgend werden die Flüsse in den Abschnitten Oberkreide, Alb und Unterkreide, Oxford und Kimmeridge sowie Lias und Dogger genauer beschrieben.

3.2.2.1 Oberkreide

Das Potentialfeld in der Oberkreide wird wesentlich durch die Grundwassergleichen im Quartär und damit durch die topographische Oberfläche bestimmt. Wie in Kapitel 1.9 erwähnt, ist die Lage des Grundwasserspiegels in einzelnen Bohrpunkten der Grundwassergleichenkarte angepasst worden. Die axialen Transmissivitäten der Bohrungen betragen in der Oberkreide zwischen $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ und $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$; geringere Werte weisen mit $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ die Bohrungen Bleckenstedt 1 und Üfingen 1 auf. Im Rechenfall R34 sind die Transmissivitäten der Bohrungen in der Oberkreide von derselben Grössenordnung ($3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ bis $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$). Da durch die Modellauslegung die oberflächennahen Fliesssysteme nicht im Detail belastbar wiedergegeben werden, darf auch den berechneten Wasserflüssen entlang den Bohrungen in der Oberkreide kein Gewicht zugemessen werden.

3.2.2.2 Alb und Unterkreide

Im Aquitarden des Alb ist der Fluss entlang den Bohrungen durchwegs nach oben gerichtet. Dabei handelt es sich im Verbreitungsgebiet des Hilssandstein um Flüsse aus dem Hilssandstein-Aquifer, im restlichen Gebiet um Flüsse aus den Aquiferen Kimmeridge und Oxford, welche durch Zuflüsse aus der Unterkreide und dem Alb verstärkt werden können. Infolge ihrer verhältnismässig hohen Transmissivität weist die Bohrung K101 einen grossen Wasserfluss auf. Dieser dürfte das Potential des Hilssandstein gegenüber dem Rechenfall R34 geringfügig erniedrigen und damit die abschirmende Wirkung des Hilssandstein tendenziell herabsetzen.

Wie zu erwarten ist, sind in der Unterkreide in den im Verbreitungsgebiet des Hilssandstein liegenden Bohrungen

B81, K101 und B70 die Flüsse durchwegs abwärts gerichtet (Tab. 3-2).

Nördlich der Verbreitungsgrenze des Hilssandstein kommen in den Bohrungen in der Regel Aufwärtsflüsse vor. In der Nähe der Verbreitungsgrenze wird das Potential jedoch noch stark genug vom hohen Potentialwert des Hilssandstein beeinflusst, um auch in der Unterkreide abwärtsgerichtete Flüsse zu bewirken. Diese "Fernwirkung" des Hilssandstein ist z.B. in den Abb. 3-1 und 3-2 im Gebiet zwischen der Verbreitungsgrenze und der Bohrung Bleckenstedt 1 ersichtlich. Sie ist der Grund für den Abwärtsfluss in den drei an der Verbreitungsgrenze des Hilssandstein liegenden, jedoch von diesem abgekoppelten Bohrungen B80, B28 und B321 in der Unterkreide. B79, ebenfalls mit einem Abwärtsfluss, liegt wenig nordwestlich der Verbreitungsgrenze des Hilssandstein.

Die Begründung des geringen Abwärtsflusses längs der Bohrung B30 mit Hilfe der Fernwirkung des Hilssandstein ist spekulativer, liegt doch dessen nächstes Vorkommen im Modell rund 1200 m südsüdöstlich der Bohrung. Wie die Potentialprofile Abb. 3-3 und insbesondere Abb. 3-4 zeigen, herrscht in der Bohrung Sauingen 1 ein generell nach oben gerichteter Potentialgradient, wobei jedoch lokal an der Grenze der Modellschichten Alb und kru ein schwaches Maxima auftritt. Diese Verhältnisse dürften zwar durch den Hilssandstein beeinflusst, allerdings im Ausmass wesentlich durch numerische Effekte als Folge der groben Diskretisierung verstärkt sein. Auf Grund der geographischen Lage der Bohrung Sauingen 1 wird daher auch in dieser Bohrung, wie in Sauingen 2, mit einem aufwärts gerichteten Fluss gerechnet, womit diese Bohrung ebenfalls einen potentiellen Ausbreitungsweg darstellt.

Die axiale Transmissivität entlang den Bohrungen betragen in den Deckschichten Alb und Unterkreide in den meisten Bohrungen $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ bis $9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$, sind also meist deutlich niedriger als im Rechenfall R34, in dem verschiedene Bohrungen in den Deckschichten durchgehend unversetzt sind und Transmissivitätswerte zwischen $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ und $8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ aufweisen (Bohrung Vechelde 2/2a-3-4: $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$).

Höhere Transmissivitätswerte als in R34 besitzen in R47 die Bohrungen K101 ($9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$), Bleckenstedt 1 ($2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ in der Unterkreide) und Vechelde 3 ($9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ im Alb, $4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ in der Unterkreide). Im Abstromgebiet der Grube besitzt damit die Bohrung Vechelde 3 die im Rechenfall R47 höchsten T-Werte.

Auf der folgenden Seite sind die Verhältnisse der Transmissivitäten und Flüsse entlang den Bohrungen durch die Deckschichten Unterkreide und Alb zwischen R47 und R34 in einer Tabelle zusammengestellt.

		Verhältniswerte R47/R34			
		Alb		kru	
		Trans- miss.	Flüsse	Trans- miss.	Flüsse
81		0,013	0,012	0,013/8,3 (3)	9
70	x (1)	3,3	3,5	5	15
K101	(x)	$2,3 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$
71	(x)	0,1	0,0056	6,67	-
79	x	0,013	0,011	0,013	0,0042
80	x	0,018	0,019	0,013/8,3	0,015
28		0,005	0,016	0,01/6,67	-5
67	x	0,0067	0,0071	66,7	4,2
321	x	0,01	0,011	0,01	0,02
320	x	0,01	0,010	0,01/6,67	0,014
30		0,01	0,012	0,01/6,67	0,033
183		0,01	0,01	0,013	0,0033
100		0,0038	0,0041	0,009	0,004
166		0,0075	0,078	6,67	2,5
106	(2)	- (4)	- (4)	0,0045	0,0077
107	(2)	45	0,11	0,02	0,054

- (1) Bei den ganz [x] oder teilweise [(x)] in Störungszonen gelegenen Bohrungen ist in R47 der k_f -Wert der Unterkreide auf $1 \cdot 10^{-11}$ m/s herabgesetzt worden
- (2) Vergleich mit Fluss bzw. T von Vechelde 2/2a-3-4 in R34
- (3) Erster Wert gilt für oberen Teil, zweiter Wert für unteren Teil der Schichteinheit
- (4) Im revidierten Bohrprofil kein Alb enthalten

Die Veränderung der Wasserflüsse gegenüber R34 entspricht im Alb weitgehend der relativen Veränderung der T-Werte (Ausnahmen Bohrungen B28, B71, B107).

In der Unterkreide sind die Verhältnisse komplizierter. Eine ungefähre Proportionalität der Veränderungen besteht nur für die 6 Bohrungen B79, B321, B100, B166, B106 und B107.

Fünf Bohrungen sind im Rechenfall R34 in der Unterkreide teilweise versetzt und konnten aufgrund der Diskretisierung auch so modelliert werden. Diese Bohrungen weisen im Fall R47 im unteren Teil der Unterkreide eine höhere Transmissivität auf, im oberen Teil eine geringere. Diese Bohrungen zeigen je nach Lage bezüglich Hilssandstein und Konrad-Graben unterschiedliche Veränderungen.

In zwei Hilssandstein führenden Bohrungen (B70 und K101) ist die Erhöhung des Wasserflusses etwas grösser, als aufgrund der relativen Erhöhung des T-Wertes gegenüber R34 zu erwarten wäre.

In B67 entspricht die Erhöhung des Wasserflusses in der Unterkreide bei weitem nicht der relativen Erhöhung der Transmissivität. Dies ist eine Folge der um vier Grössenordnungen geringeren Transmissivität im Alb. Der Wasserfluss ist jedoch in der Unterkreide (Schichtmitte) um mehr als das 50-fache grösser als im Alb. Dies heisst, dass das entlang dem Bohrloch nach oben aufsteigende Wasser in der Unterkreide und im Alb aus der Bohrung ins Nebengestein abfließt. In den Bohrlochabschnitten mit signifikanten Abflüssen ins Nebengestein dürfte die Matrixdiffusion den Radionuklidtransport nicht verzögern, da die Nuklidkonzentration in der Matrix bereits durch das ausgepresste Wasser erhöht ist. Diesem Umstand ist bei den Ausbreitungsrechnungen Rechnung zu tragen (vgl. Kap. 4.3.1).

In Vechelde 3 (B107) ist die Situation umgekehrt: Wegen der um mehr als drei Grössenordnungen höheren Transmissivität im Alb erhöht sich der Wasserfluss in der Unterkreide stärker als auf Grund des Verhältnisses der Bohrlochtransmissivität zu erwarten gewesen wäre.

Eine weitere Beeinflussung des Wasserflusses entlang den Bohrungen ist auf die veränderte Durchlässigkeit der Unterkreide (k_{ru}) in den Störungszonen des Konrad-Grabens und des Salzstockrandes zurückzuführen. Dieser Effekt dürfte den Wasserfluss in den Bohrungen B67, B320, B315, B303, B106 und B107 mitbeeinflussen und für die überproportionale Zunahme des Wasserflusses im Unterkreideabschnitt der Bohrungen B320, B106 und B107 (Faktor 2 bis 3) verantwortlich sein.

3.2.2.3 Oxford und Kimmeridge

Im Oxford und Kimmeridge beträgt die Transmissivität entlang den Bohrungen $0,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ bis $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ und ist damit weitgehend identisch mit den im Rechenfall R34 angewandten Werten ($4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$ bis $6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$; versetzte oder zementverfüllte Bohrlochabschnitte). Höhere T-Werte als in R34 weisen im Rechenfall R47 die Bohrungen K101 ($5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$) und Vechelde 3 (Kimmeridge $3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$, Oxford $7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$) auf. In der Bohrung Vechelde 3 ist damit die Transmissivität entlang der Bohrung im Oxford um über 4 Grössenordnungen höher als im Kimmeridge. In der Unterkreide beträgt die Bohrlochtransmissivität $4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$. Infolge der höheren Bohrlochtransmissivität in der Unterkreide und dem geringen Durchlässigkeitskontrast zwischen k_f -Wert der Bohrlochverfüllung im Kimmeridge ($1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$) und dem Kimmeridge ($5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$) erfolgt die Anströmung der Bohrung an der Basis Unterkreide radial. Damit sind für den Transportweg durch Oxford-Kimmeridge auch für die Bohrung Vechelde 3 nur die auf der geographischen Breite der Bohrung im Kimmeridge verlaufenden Fliesswege von Belang (vgl. Abschnitt 4.2.2).

3.2.2.4 Dogger und Lias

Bohrlochabschnitte im Dogger kommen lediglich in den Bohrungen K101, B80, B67, B321, B107 und B106 vor, Abschnitte im Lias nur in den beiden letztgenannten Bohrungen. Die Transmissivität der Bohrungen beträgt im Rechenfall R47 durchwegs $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ und liegt damit in derselben Grössenordnung wie im Rechenfall R34. Eine Ausnahme stellt die Bohrung K101 mit $8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dar. Der Wasserfluss entlang K101 ist mit rund $1 \text{ m}^3/\text{a}$ zwar verhältnismässig gross (für eine Bohrung), im Vergleich zum Fluss entlang der wesentlich durchlässigeren Doggerstrecke von ca. $400 \text{ m}^3/\text{a}$ (vgl. Abschnitt 3.2.1) jedoch immer noch gering.

3.2.3 Wasserflüsse entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2

Da die Schächte Konrad 1 und Konrad 2 im Rechenfall R47 dieselben charakteristischen Parameter (k_f -Werte, Querschnittsfläche von Schacht und Auflockerungszone, Transmissivität) wie im Rechenfall R35 aufweisen, erfährt der Wasserfluss entlang den beiden Schächten nur geringe Änderungen (vgl. Tab. 3-3). Die Unterschiede in den Wasserflüssen durch die Unterkreide und das Alb sind im Schacht Konrad 1 teilweise, im Schacht Konrad 2 vollständig auf das geringere Potential im Oxford-Kimmeridge zurückzuführen. Im Schacht Konrad 2 vergrössert sich der Abwärtsfluss in der Unterkreide infolge des etwas höheren Gradienten. Im Schacht Konrad 1 ist der Aufwärtsfluss infolge des niedrigeren Gradienten im Alb etwas geringer, in der Unterkreide erfährt er hingegen infolge des herabgesetzten Durchlässigkeitskontrastes zwischen Alb und Unterkreide eine Erhöhung.

4 TRANSPORTWEGE

4.1 Ergebnisse der regionalen hydrogeologischen Modellierung und Vorgehen bei der Festlegung der Ausbreitungswege

Wie im Kap. 3 gezeigt wurde, weisen die Modellergebnisse zum Grundwasserfluss wegen der mannigfaltigen Modell- und Parameteränderungen im Rechenfall R47 zahlreiche Unterschiede zu jenen der Rechenfälle R34 und R35 auf.

Da der Schacht Konrad 1 gegenüber dem Rechenfall R35 keine Veränderungen der Transmissivität erfährt, sind die Veränderungen im Wasserfluss entlang dem Schacht relativ gering. Die Radionuklidausbreitung entlang dem Schacht Konrad 1 ist nicht Gegenstand des vorliegenden Berichts.

Für die Nuklidausbreitung entlang den alten Bohrungen wurde im Rechenfall R34 ein Fliessweg entlang der Bohrung Bleckenstedt 1 (B67) als ungünstigster Weg betrachtet. Infolge der erwähnten Änderungen ist für den Rechenfall R47 die Auswahl der für die Transportrechnungen zu berücksichtigenden Bohrungen neu anzustellen.

Um entscheiden zu können, welche Bohrungen als möglicherweise relevant zu beurteilen und mit Hilfe von Nuklidausbreitungsrechnungen vertieft zu untersuchen sind, werden im Rechenfall R47 für alle Bohrungen nördlich der Grube sowie für Bleckenstedt 1 die für die Radionuklidausbreitung wesentlichen Parameter in Form einer Entscheidungsmatrix zusammengestellt.

Eingang in diese Matrix finden folgende Kriterien:

Schichteinheit	Kriterium
Oxford-Kimmeridge Unterkreide-Alb	Fliesszeit bis Bohrung Zufluss an Basis Unter- kreide, Verdünnung, Fließzeit
Oberkreide Quartär	Verdünnung Verdünnung

Die einzelnen Fliesswegabschnitte werden in den Kapiteln 4.2 bis 4.6 dargestellt. Die Entscheidungsmatrix wird in Kapitel 4.7 vorgestellt und diskutiert.

Vorgreifend sei erwähnt, dass als Ergebnis des Entscheidungsprozesses folgende Bohrungen für die Transportrechnungen festgehalten werden:

- Bleckenstedt 1
- Sauingen 1
- Synthetischer Fliessweg Üfingen 1/2 aus den Fliesswegparametern von Üfingen 1 und Üfingen 2
- Vechelde 3

4.2 Fließweg im Oxford und Kimmeridge

Die Festlegung der Fließwege zu den Bohrungen beruht auf folgenden Gegebenheiten, Annahmen und Kriterien:

- Unsicherheit, welche der berechneten Trajektorien charakteristisch und daher zu berücksichtigen sind. (Der genaue räumliche Verlauf von berechneten Trajektorien ist nicht belastbar. Die Berücksichtigung einer zeitlich langen Trajektorie, die genau zu einer Bohrung führt, anstelle einer zeitlich kurzen, die wenige hundert Meter westlich oder östlich der Bohrung vorbeiführt, würde die Aussagekraft des Modells überschätzen.)
- Infolge der geringen Transmissivität der Bohrlochabschnitte in Oxford und Kimmeridge können Fließwegtrajektorien in die Bohrungen lediglich aus dem Kimmeridge (oder aus höheren Schichten) stammen. Für die Fließwegberechnungen wurden daher nur "Kimmeridge-Trajektorien" berücksichtigt.⁴
- Fließwegberechnung mit Fließporositäten von 0,1 % in Kimmeridge und Oxford
- Fließzeit und -weg ab Austritt aus dem Grubengebäude bis auf die geographische Breite der Bohrungen
- Berücksichtigung der Kimmeridge-Trajektorien bis zu einem Lateralabstand (Abstand quer zur Fließrichtung) von 500 m zur Bohrung, damit sich die seitlichen Einflussbereiche der Bohrungen überschneiden

4.2.1 Fließweg zur Bohrung Bleckenstedt 1

Wie im Rechenfall R34 (COLENCO 1990) ist auch im Rechenfall R47 das hydraulische Potential in der Bohrung Bleckenstedt 1 an der Basis der Unterkreide höher als im nordöstlichen Teil des Grubengebäudes, (d.h. nordöstlich einer rund 500 m nördlich des Schachtes Konrad 2 durchziehenden, NW-SE verlaufenden Linie). Zudem ist der Wasserfluss im Kimmeridge und bis auf die geographische Breite des Schachtes Konrad 1 auch im Oxford nach unten gerichtet. Gegenüber dem Rechenfall R34 ist jedoch eine Verkleinerung des Gebietes mit Abwärtsfluss im Bereich von Kimmeridge und Oxford festzustellen. Dies dürfte in Zusammenhang stehen mit der Herabsetzung der Durchlässigkeit der Unterkreide im Bereich des Konrad-Grabens auf den "ungestörten" Wert von $k_f = 10^{-11}$ m/s und die damit

⁴ Der Ausdruck "Kimmeridge-Trajektorie" bzw. "Oxfordtrajektorie" bezeichnet Fließwege, die auf der geographischen Breite der betrachteten Bohrung im Kimmeridge bzw. Oxford verlaufen.

verknüpfte starke Erhöhung des Zuflusses durch die Doggerstrecke und die verringerte Infiltration von Hilssandsteinwasser durch die Unterkreide (vgl. Abschnitt 3.2.1). Es ist jedoch immer noch unwahrscheinlich, dass kontaminiertes Wasser in diese Bohrung fließen kann. Trotzdem wird angenommen, dass ein Fliessweg vom Grubengebäude zum unversetzten Abschnitt der Bohrung führt. Für die Definition dieses hypothetischen Fliessweges wird im Vergleich zu R34 vereinfachend angenommen, dass die Freisetzung bis an die Basis der Unterkreide instantan erfolgt.

4.2.2 Fliesswege zu den nördlich der Grube liegenden Bohrungen

4.2.2.1 Methodik der Auswertung

Die Fliesszeiten, die in den Berichten COLENCO (1989a, 1990) aufgeführt sind, entsprechen den Porositäten des regionalen Modells (Kimmeridge 10 %, Oxford 2 %). Die Fliesszeiten wurden ab dem Startpunkt, d.h. inklusive dem Trajektorienverlauf innerhalb des Grubengebäudes, berechnet. Bei den Transportrechnungen wird jedoch von den Fliesszeiten und Abstandsgeschwindigkeiten ausgegangen, die mit der Fliessporosität berechnet wurde. Aus diesem Grunde werden für den vorliegenden Bericht die Trajektorien mit den Fliessporositäten für Kimmeridge und Oxford (0,1 %) berechnet. Die derart berechneten Wasserfliesszeiten und die Transportzeiten für Radionuklide sind jedoch klar auseinanderzuhalten (vgl. dazu die Diskussion in Abschnitt 6.4.1).

Vergleichbare Fliesszeiten im Kimmeridge sind nach der hier verwendeten Definition um den Faktor 100, diejenigen im Oxford um den Faktor 20 geringer als nach der früheren Definition. Eine generelle und direkte Umrechnung ist jedoch nicht möglich, da manche Trajektorien Teilstrecken sowohl im Kimmeridge wie im Oxford aufweisen.

Die Fliesswege werden mit dem Programm HUNTG ausgewertet; dieses verwendet die mit dem Programm TRACK berechneten Trajektorien- und Ausgansdaten. Ausgangspunkt ist die Beobachtung (vgl. Abb. 4-5), dass die Trajektorien im interessierenden Modellabschnitt, d.h. auf der geographischen Breite der modellierten Bohrungen nördlich der Grube, im wesentlichen einen Süd-Nord-Verlauf aufweisen. Das Programm HUNTG ermittelt aus den detaillierten Trajektorien- und Ausgansdaten die Fliesszeiten ab dem Austritt aus dem Grubengebäude bis zum Rechenschritt unmittelbar südlich der geographischen Breite der betrachteten Bohrung (y -Wert bzw. Hochwert der Bohrloch-Koordinaten) und bestimmt weiter den West-Ost-Abstand (x -Koordinate bzw. Rechtswert) des Trajektorienverlaufs zur Bohrung, die kumulierte Fliesslänge ab dem Austritt aus dem Grubengebäude und die K-Klasse des Elementes, in dem sich die Trajektorie beim letzten berücksichtigten Rechenschritt befindet. Diese letzte Angabe erlaubt es, die auf der geographischen Breite der

Bohrungen im Kimmeridge verlaufenden Trajektorien von den übrigen abzutrennen und diese weiter in die Gruppe der Trajektorien, die in der Störungszone entlang dem Salzstockrand verlaufen, und die Gruppe der ausserhalb der Störungszone verlaufenden Trajektorien einzuteilen.

Gegenüber dem im Rechenfall R34 zur Ermittlung der Fliesszeit zu den Bohrungen Üfingen 1 und Alvesse 1 verwendeten Programm HUNT (COLENCO 1990) erlaubt die neueste Version HUNTG eine automatische Selektion der Trajektorien und ermöglicht damit einen Überblick über die gesamte Modellbreite.

Die Selektion der Fliesswege nach den oben aufgeführten Kriterien mit Hilfe des Programms HUNTG ergibt im Rechenfall R47 für die Bohrungen im Abstromgebiet der Grube die in den Tabellen 4-7 bis 4-9 (Entscheidungsmatrix) angeführten schnellsten Kimmeridge-Fliesswege.

Als mögliche Fliesswege zu einer Bohrung werden alle Kimmeridge-Trajektorien berücksichtigt, die innerhalb eines West-Ost-Abstandes von 500 m zur Bohrung verlaufen. Dieser Abstand wurde gewählt, weil so die Einflussbereiche der Bohrungen aneinanderstossen (z.B. Alvesse 1 - Üfingen 1) oder sich überschneiden (z.B. Sonnenberg 4 - Alvesse 1) und alle Trajektorien erfasst werden (vgl. Abb. 4-2). Von Trajektorien, die in einem seitlichen Abstand von über 500 m zur Bohrung verlaufen, wird angenommen, dass sie keinen möglichen Ausbreitungsweg zur betrachteten Bohrung darstellen können. Auf Grund des generellen Trajektorienverlaufs (Abb. 4-5) wird zudem postuliert, dass die in der Störungszone entlang dem Salzstockrand laufenden Trajektorien keinen potentiellen Ausbreitungsweg zur Bohrung Alvesse 1 darstellen. In den Tab. 4-1 bis 4-4 sind für die Bohrungen Sauingen 1, Üfingen 1, Üfingen 2 und Vechelde 3 die schnellsten Kimmeridge-Trajektorien für Abstände bis 500 m, gegliedert in Bereiche von je 100 m, zusammengestellt. Weiter werden zur Ermöglichung von Vergleichen für die Bohrungen Sauingen 1, Üfingen 1 und Vechelde 3 auch die schnellsten Trajektorien für grössere Abstände, bis zum Salzstockrand im Westen einerseits, zur Verbreitungsgrenze des Oxford im Osten andererseits aufgeführt. Eine graphische Darstellung der Fliesszeiten bis auf die geographische Breite der Bohrung Sauingen 1 findet sich beispielhaft in der Abbildung 4-1.

4.2.2.2 Fliesszeiten zu den Bohrungen

Wie aus Tab. 4-7 hervorgeht, benötigen die Kimmeridge-Trajektorien eine Laufzeit ab dem Austritt aus dem Grubengebäude von weniger als 600 Jahren (531, 487 bzw. 593 Jahre) um auf die geographische Breite der rund 0,35 bis 0,5 km nördlich des Grubengebäude gelegenen ersten Reihe von Bohrungen (Hüttenberg 1 - Sauingen 2 - Sauingen 1) zu

gelangen.

Die minimale Fliesszeit bis auf die geographische Breite der Bohrungen der zweiten Reihe (Alvesse 1, Üfingen 1 und Üfingen 2), die 2,6 bis 3,2 km nördlich der Grube liegen, beträgt für die Kimmeridge-Trajektorien zwischen 6640 Jahre für Üfingen 1, 8585 Jahre für Alvesse 1 und 11500 Jahre für Üfingen 2 (vgl. Tab. 4-8). Innerhalb eines Abstandes von 500 m zur Bohrung Alvesse 1 kommen allerdings noch schnellere Kimmeridge-Trajektorien vor. Diese verlaufen jedoch in der Störungszone entlang dem Salzstockrand und stellen damit aufgrund des allgemeinen Fliessfeldes (vgl. Abb. 4-5) keine möglichen Fliesswege zur Bohrung Alvesse 1 dar.

Bei den in der Störungszone entlang dem Salzstockrand gelegenen Bohrungen Wierthe 1, Sonnenberg 4, Vechelde 2/2a und Vechelde 3 wird erwartet, dass die in der Störungszone entlang dem Salzstockrand laufenden Fliesswege deutlich geringere Fliesszeiten als jene aufweisen, die zu den weiter südlich, aber ausserhalb der Störungszone gelegenen Bohrungen Alvesse 1, Üfingen 1 und Üfingen 2 führen. Wie aus den Tab. 4-8 und 4-9 hervorgeht, trifft dies auch zu: Die geographische Breite der Bohrungen Wierthe 1, Sonnenberg 4, Vechelde 2/2a und Vechelde 3 wird von Kimmeridge-Trajektorien in 2154, 3003, 3273 bzw. 3343 Jahren erreicht.

4.2.2.3 Festgehaltene kürzeste Fliesszeiten und -wege zu den Bohrungen Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3

Den Transportrechnungen im Kimmeridge/Oxford zu den festgehaltenen Bohrungen Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3 (vgl. Kapitel 4.7) werden die Fliesszeiten und -distanzen zugrundegelegt, die die schnellsten Kimmeridge-Trajektorien zwischen dem Rand des Grubengebäudes und der geographischen Breite der entsprechenden Bohrung charakterisieren: 8Top (593 Jahre) für Sauingen 1, 8Mid (6640 Jahre) für Üfingen 1 und 9Top (3343 Jahre) für Vechelde 3. Details zu diesen Fliesswegen sind in Tab. 4-5 enthalten.

Die Abb. 4-2 bis 4-4 vermitteln einen Überblick über die Fliesswege aller Trajektorien bis zu einer Fliesszeit von 600 Jahren ab Austritt aus dem Grubengebäude (festgehaltene Fliesszeit bis Sauingen 1 = 593 Jahre), 3300 Jahren (festgehaltene Fliesszeit bis Vechelde 3 3343 Jahre) bzw. 6600 Jahren (festgehaltene Fliesszeit bis Üfingen 1 = 6640 Jahre):

- Bei einer Fliesszeit von 600 Jahren gelangen die Oxford- und Kimmeridge-Trajektorien eindeutig über Sauingen 2 hinaus, wobei die Front der Kimmeridge-Trajektorien etwas zurückliegt. Bis zu einem seitlichen Abstand von 500 m zur Bohrung Sauingen 1 flies-

sen nur wenige Trajektorien durch, wobei die in 600 Jahren erreichte Fliessdistanz gegen Osten etwas abnimmt (Abb. 4-2).

- Bei einer Fliesszeit von 3300 Jahren gelangen Kimmeridge-Trajektorien (grün) bis auf die geographische Breite der Bohrungen Vechelde (Abb. 4-3), darunter die festgehaltene Trajektorie 9Top. Die Oxford-Trajektorien (blau) eilen den Kimmeridge-Trajektorien weit voraus.
- Bei einer Fliesszeit von 6600 Jahren eilt die Front der Oxford-Trajektorien den Kimmeridge-Trajektorien ebenfalls weit voraus und gelangt rund 1 km über Ufingen 1 hinaus. Die Kimmeridge-Trajektorien hängen zurück. Bedingt vor allem durch die unterschiedlichen Fliessweganteile im Oxford und Kimmeridge, d.h. durch einen unterschiedlich raschen Übertritt des Fliessweges aus dem Oxford ins Kimmeridge, kommen unter ihnen jedoch auch schnellere Trajektorien vor, sowohl in vertikaler als auch, wie aus der Abb. 4-4 hervorgeht, in horizontaler Richtung (West-Ost-Erstreckung). Zu den Kimmeridge-Trajektorien mit einem grossen Fliessweganteil im Oxford zählt auch die Trajektorie 8Mid, die von den im Einflussbereich der Bohrung Ufingen 1 verlaufenden Kimmeridge-Trajektorien die geographische Breite dieser Bohrung als erste erreicht (vgl. Tab. 4-5).
- Der gesamte, zeitlich unbegrenzte Verlauf der Trajektorien ist in Abb. 4-5 enthalten.

4.2.2.4 Vergleich mit dem Rechenfall R34

Wie aus Tabelle 4-2, in der die Fliesszeiten der schnellsten Fliesswege zur Bohrung Ufingen 1 zusammengestellt sind, ersichtlich ist, zeigen die Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Ufingen 1 Fliesszeiten von über 6000 Jahren und bis zu einem seitlichen Abstand von 350 m zur Bohrungen Ufingen 1 von über 7000 Jahren. Erst 1270 m westlich von Ufingen 1 kommt eine Trajektorie mit einer geringeren Fliesszeit (5729 Jahre) vor. (Die in der Störungszone verlaufenden Kimmeridge-Trajektorien > 1400 m westlich der Bohrung sind dagegen deutlich schneller.) Die Fliesszeiten bis auf die geographische Breite der etwas weiter nördlich liegenden Bohrung Alvesse 1 sind durchwegs grösser.

Die Trajektorien des Rechenfalls R34 wurden mit dem Programm HUNT und den Parametern des regionalen Modells (Oxford 2 %, Kimmeridge 10 %) berechnet, während jene des Rechenfalls R47 wie bereits in Abschnitt 4.2.2.1 angeführt mit einer Fliessporosität von 0,1 % ermittelt wurden. Die berechneten Fliesszeiten für die Kimmeridge-Trajektorien zeigen, dass die Aussage in COLENCO (1990),

wonach die Fliesszeiten für Trajektorien im Kimmeridge bis in die Nähe der Bohrungen Alvesse 1 und Üfingen 1 über 700'000 Jahre betragen, auch für den Rechenfall R47 gültig ist.

4.2.3 Verdünnung entlang dem Salzstockrand

Der Wasserabfluss aus dem Grubengebäude gelangt, wie der Verlauf der Trajektorien (Abb. 4-5) zeigt, zum Teil in die Störungszone entlang dem Salzstockrand. Der übrige Abfluss bewegt sich durch den Querschnitt zwischen der Störungszone entlang dem Salzstockrand und dem östlichen Modellrand nach Norden. Dabei stammen die nach der Störungszone abfliessenden Trajektorien aus anderen Bereichen des Grubengebäudes (westlicher und nordwestlicher Teil) als z.B. die entlang dem Ostrand des Modells verlaufenden Fliesswege.

Der Grubendurchfluss stellt die Summe der Flüsse durch die modellierten Teilflächen des Grubengebäudes dar (vgl. Abb. 4-6), wie dies bei COLENCO (1989a) erläutert wurde. Die Trajektorienanalyse zeigt, dass die in der Störungszone auf der geographischen Breite der Bohrung Vechelde 3 im Kimmeridge und Oxford verlaufenden Trajektorien durch folgende Teilflächen aus der Grube austreten:

Trajektorien	Begrenzungsflächen der Grube (vgl. Abb. 4-6)
jo-Trajektorien	4, 8, 10, 121
ox-Trajektorien	105, 121, 123, 306, 307

Wie in der nachfolgenden Tabelle angeführt ist, stellen die summierten Durchflüsse durch diese Oberflächenelemente 32 % (Trajektorien im Kimmeridge) bzw. 23 % (Trajektorien im Oxford) des Grubendurchflusses dar:

	Kimmeridge-Trajektorien	Oxford-Trajektorien
Begrenzungsflächen der Grube	4, 8, 10, 121	105, 121, 123, 306, 307
Kumulierte Exfiltration aus Grube durch die erwähnten Flächen	250 m ³ /a	175 m ³ /a
Grubendurchfluss	770 m ³ /a	770 m ³ /a
Anteil der Flächen mit jo- bzw. ox-Trajektorien an gesamter Exfiltration aus Grube	32 %	23 %

Der Gesamtfluss durch den südlich von Vechelde liegenden Querschnitt der Störungszone (W-E-Schnitt "e", Abb. 4-7) beträgt im Kimmeridge 1617 m³/a, im Oxford 935 m³/a. Bei Annahme einer vollständigen Vermischung des aus dem Grubengebäude stammenden Anteils mit dem übrigen, entlang der Störungszone nach Norden abfliessenden Wasser ergibt dies eine Verdünnung von 6,5 im Kimmeridge bzw. 5,3 im Oxford.

Dieser Fluss tritt grösstenteils südlich des E-W-Schnittes "c" (siehe Abb. 4-7) in die Störungszone ein. Weitere Zu- und Abflüsse erfolgen durch deren östliche Seitenfläche und die Deckfläche gegen die Unterkreide bzw. die Basisfläche gegen den Dogger.

Aus den im Abschnitt 3.2.2.3 angeführten Gründen stammt das in der Bohrung Vechelde 3 durch die Unterkreide nach oben abfliessende Wasser praktisch vollständig aus dem Kimmeridge und vorwiegend aus dessen oberstem Bereich.

Abzuklären bleibt noch, inwieweit sich das aus dem Grubengebäude stammende Wasser bis zum Eintritt in die Bohrung Vechelde 3 mit dem übrigen Kimmeridge-Wasser vermischt. Die südlich der Fläche "c" eintretenden Flüsse weisen bis Vechelde 3 einen Fliessweg von rund 6 km auf. Bei fester Peclet-Zahl Pe wächst die Ausdehnung einer Schadstofffahne aus einer Punktquelle - ein Mass für die Durchmischung des Grubenabflusses in der Störungszone - linear mit der Fliessdistanz an. Im Abstand von 6 km beträgt die Ausdehnung einer solchen Fahne (vgl. COLENCO 1990):

horizontal: 670 m ($Pe = 1000$)
 vertikal: 210 m ($Pe = 10'000$)

In der 500 m breiten und über 300 m mächtigen Kimmeridge-Schicht der Störungszone wird also das südlich der Fläche "c" in die Störungszone eintretende Wasser bis zu der am Rand der Störungszone liegenden Bohrung Vechelde 3 selbst bei einem relativ konzentrierten Zufluss in die Störungszone weitgehend mit dem übrigen Kimmeridge-Wasser vermischt. Für die weiter nördlich erfolgenden, sehr geringfügigen Wasserzutritte durch die Seitenflächen ist die Vermischung geringer.

Als Verdünnungsgrad für den entlang der Bohrung Vechelde 3 nach oben abfliessenden Grubenabfluss wird ein Faktor von 5 angesetzt.

4.3 Fliesswegabschnitte in Unterkreide und Alb

Die charakteristischen Parameter der Fliesswegabschnitte entlang den Bohrungen in der Unterkreide und im Alb wurden - analog wie in COLENCO (1990) - aus den berechneten Potentialprofilen entlang den Bohrungen mit linearer In-

terpolation zwischen den Knoten des Elementnetzes und unter Annahme einer Fließsporosität von 10 % bestimmt. Die Ergebnisse sind in den Tab. 4-7 bis 4-9 zusammengestellt.

Spezielle Verhältnisse weisen die Bohrungen Bleckenstedt 1, die Reihe der Bohrungen Hüttenberg 1 - Sauingen 2 - Sauingen 1 sowie Vechelde 3 auf.

4.3.1 Bleckenstedt 1

Von den Bohrungen oberhalb der Grube kommt nur die Bohrung Bleckenstedt 1 (B67) als Ausbreitungsweg in Betracht.

Im Rechenfall R47 wird der Bohrung Bleckenstedt 1 aus den in Abschnitt 2.2.2 aufgeführten Gründen in der Unterkreide eine Transmissivität von $2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, im Alb eine solche von $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ zugewiesen. Die markante, um vier Größenordnungen höhere Transmissivität des Unterkreideabschnittes der Bohrung hat zur Folge, dass der Zufluss aus dem Kimmeridge rund 50 mal grösser ist als der Abfluss aus dem Alb in die Oberkreide (vgl. Tab. 4-7).

In der Bohrung Bleckenstedt 1 ist in zwei längeren Abschnitten die Verrohrung verblieben (Abschnitte 333-398 m und 458-848 m), wobei diejenige des 390 m langen unteren Abschnittes die oberen zwei Drittel des Kimmeridge, die ganze Unterkreide (kru), sowie den unteren Teil (20 %) des Alb abdeckt und mit Dickspülung verfüllt ist.

Im Fall B von WITTKÉ (1991) reicht der hochdurchlässige Abschnitt mit $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$ von 440-642 m und beginnt damit 173 m unterhalb dem Top Alb. Der aus der Differenz zwischen dem Zufluss aus dem Kimmeridge und dem Abfluss am Top Alb resultierende Wasserverlust aus der Bohrung ins angrenzende Gestein erfolgt zu einem dominierenden Teil zwischen dem Top der unteren Verrohrung (458 m) und der Oberkante des stark durchlässigen Abschnittes (440 m). In Abschnitten mit markanten Abflüssen stellt die Matrixdiffusion keinen belastbaren Prozess dar. Auch im verrohrten Abschnitt kann keine Matrixdiffusion ins Nebengestein unterstellt werden, solange über die maximale Standzeit der Verrohrung keine gesicherten Daten verwendet werden können und ein ausschliesslicher Nuklidtransport ausserhalb der Verrohrung nicht angenommen werden darf.

Aus den angeführten Erwägungen reduziert sich in den Deckschichten Unterkreide und Alb der Abschnitt, in dem mit Matrixdiffusion gerechnet werden kann, auf die obersten 170 m des Alb. Als Durchmesser für die Berechnung der Fließzeit und Abstandsgeschwindigkeit und als Parameter für die Matrixdiffusion wurde, wie in Abschnitt 2.2.3 festgehalten, der gebohrte Durchmesser der Bohrung

verwendet (Durchmesser d_1 in Abb. 2-1, $d_1 = 0,193$ m bei 458 m am Top der Verrohrung). Die Fliesswegparameter in den Deckschichten Unterkreide und Alb für die vorstehend beschriebenen, als Grundfall bezeichneten Verhältnisse, sind detailliert in Tab. 4-7 aufgeführt.

Wie erwähnt, weist die Bohrung Bleckenstedt 1 neben der 390 m langen unteren Verrohrungsstrecke im Alb zwischen 333-398 m einen weiteren, 65 m langen Abschnitt auf, in dem die Verrohrung im Bohrloch verblieben ist. Wie Überschlagsrechnungen zeigen, erreichen auch nicht-sorbierende Radionuklide diesen Bohrlochabschnitt erst nach etwa 3000 Jahren, das sorbierende Uran erst um Größenordnungen später. Wird angenommen, dass auch nach dieser Zeit die Verrohrung intakt genug ist, um die Matrixdiffusion zu unterbinden, so verringert sich der Abschnitt der Bohrung Bleckenstedt 1 mit Matrixdiffusion auf 108 m. Es handelt sich dabei um die Abschnitte 267-333 m und 398-440 m im oberen Teil des Alb. In diesen Abschnitten weisen die Durchmesser d_1 , d_2 und d_3 (vgl. Abb. 2-1) nicht mehr dieselben Werte auf wie im verrohrten Abschnitt unterhalb 458 m. Der mittlere Durchmesser d_1 der beiden angeführten Teilabschnitte beträgt 0,24 m, der mittlere Durchmesser d_3 0,34 m (WITTKE 1991, Tabelle E-13.3/2 B). Als Variante des Fliessweges entlang Bleckenstedt 1 durch die Unterkreide und das Alb wurde ein Bohrlochabschnitt von 108 m Länge und einem mittleren wirksamen Durchmesser von 0,34 m definiert, in welchem ein advektiv-dispersiver Transport mit Matrixdiffusion erfolgt. Ausserhalb dieses Abschnittes wird instantaner Transport angenommen. Die Fliesswegparameter der Variante sind ebenfalls in Tab. 4-7 angegeben.

4.3.2 Bohrungen Hüttenberg 1 - Sauingen 2 - Sauingen 1

Wenig nördlich der Grube liegt die Reihe der Bohrungen Hüttenberg 1 (B321), Sauingen 2 (B320) und Sauingen 1 (B30).

Die Bohrung Hüttenberg 1 (B321) weist im Rechenfall R47 als Folge des Hilssandsteineinflusses wie in allen bisherigen Rechenfällen "alte Bohrungen" in der Unterkreide einen abwärtsgerichteten Fluss auf und kommt damit als möglicher Ausbreitungsweg nicht in Betracht. In der Bohrung Sauingen 2 (B320) besteht ein Aufwärtsfluss durch die Deckschichten Unterkreide und Alb, während die Bohrung Sauingen 1 (B30) in der oberen Modellschicht der Unterkreide (vgl. COLENCO 1989a, Abb. 2-10) einen abwärts gerichteten Gradienten und damit, wie in Abschnitt 3.2.2 erwähnt, in Schichtmitte Unterkreide einen geringen Abwärtsfluss aufweist. Wie bereits in früheren Rechenfällen vermutet wurde, ist dies neben einem hypothetischen Hilssandsteineinfluss vor allem numerischen Effekten zuzuschreiben (relativ grobe Modellierung bei komplexer Topologie, Existenz eines spitzwinklig auslaufenden Elemen-

tes, vgl. Abb. 1-1). Auch die Fliesswegparameter der Bohrung Sauingen 2 könnten in der Unterkreide und Alb möglicherweise durch numerische Effekte beeinflusst sein.

Um einen Vergleich der beiden Bohrungen zu erlauben und die Resultate des Regionalmodells für diese Bohrung auf ihre Plausibilität und Konservativität zu überprüfen, wurden für beide Bohrungen der Wasserfluss, die Verdünnung und die Fliesszeit durch die Deckschichten mit Hilfe des in Abschnitt 1.8.1 vorgestellten Modells analytisch abgeschätzt. Dabei wurden dem Regionalmodell die Potentiale an der Basis kru und am Top Alb und die Mächtigkeiten von kru und Alb entnommen. Die Ergebnisse dieser Abschätzung sind in nachstehender Tabelle aufgeführt.

Bohrung		Sauingen 1	Sauingen 2
Zufluss Basis kru	l/min	$1,85 \cdot 10^{-6}$	$1,37 \cdot 10^{-6}$
Abfluss Top Alb	l/min	$1,81 \cdot 10^{-5}$	$1,35 \cdot 10^{-5}$
Verdünnung		9,8	9,9
Gesamtfließzeit durch Bohrung	a	880	1451

Die aus dem Regionalmodell ermittelten Werte gehen aus der nachfolgenden Tabelle hervor.

		Sauingen 1	Sauingen 2
Zufluss an Basis kru	l/min	$2,40 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{-6}$
Abfluss Top Alb	l/min	$2,06 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$
Verdünnung	--	8,58	10,3
Fliesszeit durch kru und Alb	a	559 *	1421

* Annahme: Linearer Potentialabbau zwischen den Knoten der Mitte der unteren Unterkreide-Modellschicht und dem Knoten in Schichtmitte Alb

Für die Bohrung Sauingen 2 liegen die aus dem Regionalmodell und die analytisch ermittelten Werte nahe beieinander, während bei Sauingen 1 die Werte des Regionalmodells bei der gewählten Interpretation eindeutig ungünstiger sind. Für die Charakterisierung des Fliessweges Unterkreide-Alb werden daher die Werte des Regionalmodells verwendet, wobei für die Fliesszeitberechnung der Bohrung Sauingen 1 ein linearer Potentialabbau zwischen der Mitte der unteren Unterkreide-Modellschicht und Mitte Alb angenommen wird. Bei einem linearen Potentialabbau ergeben sich grössere Fliessgeschwindigkeiten als dies bei dem zu erwartenden nichtlinearen Profil der Fall wäre. Die getroffene Annahme ist daher auch unter diesem Gesichtspunkt konservativ.

Die vollständigen Fließwegparameter der Bohrungen Hüttenberg 1, Sauingen 2 und Sauingen 1 durch die Deckschichten Unterkreide und Alb sind in Tabelle 4-7 aufgeführt.

4.3.3 Vechelde 3

Vechelde 3 ist die Bohrung mit den ungünstigsten Transmissivitätswerten in den Deckschichten Unterkreide und Alb. Im Rechenfall R47 betragen diese im Alb $9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, in der Unterkreide $4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$.

Als massgeblicher Durchmesser wurde der Durchmesser d_1 (vgl. Abb. 2-1) an der Basis Unterkreide von 0,27 m festgehalten (Grundfall). Da jedoch die Bohrung in Unterkreide und Alb sehr unterschiedliche Durchmesser d_3 aufweist, wurde trotz der damit verbundenen Verlängerung der Fließzeit eine Variante mit einem mittleren Durchmesser d_3 von 0,4 m für die Unterkreide und 0,28 m für das Alb festgelegt.

Wie aus nachstehender Tabelle (vgl. auch Tab. 4-9) hervorgeht, erfahren dadurch die Fließzeiten durch Unterkreide und Alb ungefähr eine Verdoppelung; die Fließzeit durch das Alb beträgt jedoch nur noch 0,3 Jahre.

		Vechelde 3		
		Grundfall	Variante	
Durchmesser	m	Kru + Alb: 0,27	kru: 0,4	Alb: 0,28
Fliessquerschnitt	m ²	0,06	0,13	0,06
Fliesszeit	a	36	77,8	0,3

4.4 Ergebnisse des lokalen hydrogeologischen Modells Oberkreide

Von den in der Entscheidungsmatrix als potentielle Ausbreitungspfade betrachteten Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und 2, Alvesse 1, Üfingen 1 und 2, Wierthe 1, Sonnenberg 4, Vechelde 2/2a und 3 führen lediglich die Bohrungen Bleckenstedt 1, und die Bohrungen Sauingen und Üfingen Oberkreide. Die Gesamtmächtigkeit und die gesättigte Mächtigkeit der Oberkreide am Ort der Bohrung ist in Tab. 1-3 enthalten und wird auch in den Tabellen 4-7 bis 4-9 (Entscheidungsmatrix) aufgeführt.

Wie in den früheren Rechenfällen wird ein lokales Modell OBERKREIDE angewendet, um das Ausströmen des kontaminierten Wassers aus dem Alb in die Oberkreide genauer zu simulieren (COLENCO 1990). Ausgangspunkt der Rechnung mit

diesem Modell ist der entlang der Bohrung aus dem Alb in die Oberkreide austretende Wasserfluss.

Berechnungen mit dem Modell Oberkreide sind lediglich für die jeweils ungünstigsten Bohrungen der verschiedenen Bohrgruppen (vgl. Kapitel 4.7) ausgeführt worden, d.h. nur für die Bohrung Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und Üfingen 1. Der horizontale Fliessgradient wird der Grundwasserkarte entnommen, wobei als massgebender Ort der vermutete Austritt des kontaminierten Wassers ins Quartär gewählt wurde (siehe Tab. 4-6 und Tabellen 4-7 bis 4-9). Die festgehaltenen Gradienten werden in Abschnitt 4.5 näher diskutiert.

Bei den Trajektorienberechnungen mit dem Modell OBERKREIDE für die Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und Üfingen 1 treten alle Trajektorien (und damit die Fahne) infolge des geringen Wasserzuflusses aus dem Alb in den untersten Metern der Oberkreide aus den Bohrungen aus. In der nachstehenden Tabelle ist die Mächtigkeit der kontaminierten Fahne aus den Bohrungen an der Basis der Oberkreide (= maximale Austrittshöhe der Trajektorien aus der Bohrung) zusammengestellt. Die geringen Austrittshöhen sind auf die geringen Abflüsse aus dem Alb zurückzuführen.

Bohrung	Höhe der Fahne aus Modell OBERKREIDE
Bleckenstedt 1	1 m
Sauingen 1	3 m
Üfingen 1	5 m

Die sich dabei bildenden Fahnen mit Wasser aus dem Endlager, steigen - unter denselben Annahmen wie in COLENCO (1990) - unter einem Winkel von 30° gegen das Quartär an. Durch Querdispersion verbreitert sich die Fahne bis sie schliesslich ins Quartär eintritt. Aus dem Verhältnis zwischen dem Gesamtfluss der Fahne am Übertritt ins Quartär und dem Zufluss aus dem Alb ergibt sich die in der Oberkreide stattfindende Verdünnung.

Die berechneten Werte für die drei genannten Bohrungen sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt und sind auch in der Entscheidungsmatrix (Tab. 4-7 bis 4-8) enthalten.

	Bleckens- tedt 1	Sauin- gen 1	Üfin- gen 1
Mächtigkeit kro unterhalb GW-Spiegel [m]	261.5	274	172
Fliessdistanz [m]	520	540	340
Mächtigkeit der Fahne [m]	1	3	5
Breite der Fahne Top kro [m]	59	61	33
Gradient kro ausserhalb Bohrung [-]	0.003	0.003	0.001
Verdünnung im kro (gerundet) [-]	100	160	73

Für die übrigen in der Entscheidungsmatrix aufgeführten Bohrungen Sauingen 2 und Üfingen 2 wurden die berechneten Fahnenhöhen der Bohrungen Sauingen 1 bzw. Üfingen 1 übernommen und mit dem oben beschriebenen Vorgehen die Länge des Fliessweges, die Fahnenbreite am Übertritt ins Quartär und die Verdünnung in der Oberkreide abgeschätzt. Die Fliesswegparameter der Bohrungen Sauingen 2 und Üfingen 2 sind in der Entscheidungsmatrix (Tab. 4-7 und 4-8) ebenfalls detailliert aufgeführt.

Bei der im Rechenfall R34 untersuchten Bohrung Bleckenstedt 1 ist im Rechenfall R47 infolge des geringen Zuflusses aus dem Alb die Austrittshöhe des Wassers aus der Bohrung in die Oberkreide (= Mächtigkeit der kontaminierten Fahne) mit 1 m bedeutend geringer als im Rechenfall R34 (40 m).

4.5 Verdünnung im Quartär

Übersichtliche Verhältnisse betreffend die Fliesswege durch Oberkreide und Quartär weisen die Bohrungen in Gebieten mit flacher Topographie und einer Quartärmächtigkeit von mehreren Metern auf. Dies trifft für die Bohrung Üfingen 2 und für die Bohrungen entlang dem Salzstockrand (Wierthe 1, Sonnenberg 4, Vechelde 2/2a und Vechelde 3) zu. In diesen Fällen kann verlässlich angenommen werden, dass der Gradient in der Oberkreide ungefähr jenem im Quartär entspricht und räumlich nur wenig variiert. Dabei wurde für die Ausbreitungsrechnungen in Oberkreide und Quartär jeweils der Gradient im Quartär am Ort der Bohrung aus der Grundwasserkarte abgeschätzt. Die entsprechenden Werte für die erwähnten Bohrungen sind in Tab. 4-6 enthalten und werden auch in der Entscheidungsmatrix (Tab. 4-8 und 4-9) angeführt.

Für mehrere Bohrungen sind die Verhältnisse jedoch weniger einfach. In leicht hügeligen Gebieten ist die Quartärmächtigkeit meist sehr gering oder das Quartär

fehlt vollständig, so dass die Oberkreide an der Terrainoberfläche ansteht. In tiefer liegenden Bereichen dieser Gebiete kommen häufig quartäre Lockergesteine führende Rinnen vor. In den Hochzonen liegt der Grundwasserspiegel meist unterhalb dem Top Oberkreide; dies ist z.B. im Abstromgebiet der Grube in den Bohrungen Hüttenberg 1, Sauingen 2, Sauingen 1, Üfingen 1 sowie im Schacht Konrad 1 der Fall. Für die Abschätzung der massgebenden Quartärmächtigkeit kommt es in diesen Fällen darauf an, ob bei der angenommenen Fließsdistanz in der Oberkreide (Aufstieg des Wassers unter einem Winkel von 30°) und der der Grundwasserkarte entnommenen Fließrichtung der Austritt aus der Oberkreide in einer Rinne oder in einer Hochzone mit geringer Quartärmächtigkeit erfolgt. Als Quartärmächtigkeit wird die gesättigte Quartärmächtigkeit an der auf diese Art ermittelten Übertrittsstelle ins Quartär festgehalten. Es wird dabei durchwegs von der Existenz von mindestens 1 m gesättigtem Quartär ausgegangen.

In diesen Fällen wird für den Fließweg im Quartär und in der Oberkreide als Gradient der aus den Grundwassergleichungen an der Übertrittsstelle Oberkreide/Quartär ermittelte Gradient angesetzt. Der Vergleich der Grundwassergleichungen mit der Karte der Quartärmächtigkeit zeigt, dass die Gradienten in den Quartärablagerungen deutlich niedriger sind als in den hügeligen Zonen, in denen der Grundwasserspiegel in der Oberkreide liegt. In diesen Fällen wird der Gradient in den Quartärablagerungen als charakteristisch angesehen. Diese Vereinfachung erscheint auch für den Fließweg in der Oberkreide berechtigt, wenn man davon ausgeht, dass die orographische Beeinflussung des Gradienten ab einer Tiefe von einigen Zehn Metern nur noch gering ist und daher der semi-regionale Gradient, wie er in den quartären Lockergesteinsrinnen vorherrscht, gültig ist.

Die Gradienten für alle Bohrungen ausser Üfingen 1 und die Bohrungen entlang dem Salzstockrand wurden mit diesem Vorgehen ermittelt. Dabei wird die Situation im Abflussgebiet der Bohrungen Sauingen 1 und 2, Üfingen 2 sowie des Schachtes Konrad 1 durch die Beeinflussung der Grundwassergleichungen durch den Salzgitter-Kanal und das Schleusenbauwerk zwischen Gleidingen und Üfingen weiter kompliziert.

Die ermittelten Quartärmächtigkeiten und Gradienten sind in Tabelle 4-6 zusammengestellt. Am Ort des Austrittes der Fahne aus der Oberkreide hat die gesättigte Zone des Quartärs bei den aufgeführten Bohrungen Mächtigkeiten von 1 m und 40 m.

Der kontaminierte Wasserfluss im Quartär bestimmt als letzte Stufe des Freisetzungspfades die Verdünnung der freigesetzten Aktivität. Je geringer dieser Wasserfluss ist, umso höher ist die resultierende berechnete Aktivi-

tätskonzentration, umso geringer gleichzeitig die mögliche Zahl der betroffenen Personen. Im allgemeinen wird der kontaminierte Wasserfluss aus der berechneten Breite der Fahne, der gesättigten Quartärmächtigkeit, dem hydraulischen Gradienten und der hydraulischen Durchlässigkeit des Quartärs ermittelt. Bei fehlender Oberkreide und/oder bei sehr geringer Quartärmächtigkeit führt dieses Vorgehen auf unsinnig geringe Wasserflüsse. Als minimaler kontaminierter Wasserfluss im Quartär wird der durchschnittliche Wasserbedarf eines Einwohners der BRD von 140 l/Tag angesetzt. (Nach dem Taschenbuch der Wasserversorgung (1986, 9. Auflage) betrug der statistische mittlere Haushaltsverbrauch im Jahre 1978 137 l/Tag, 1985 165 l/Tag, während der Verbrauch im Jahre 2000 auf 204 l/Tag geschätzt wird. Die statistischen Mittelwerte für die neuen Bundesländer betragen nach dem BI-Taschenlexikon Wasser (1985) je nach sanitären Einrichtungen zwischen 60 l/Tag und 160 l/Tag.

Das Verhältnis zwischen dem Gesamtfluss im Quartär und der aus der Oberkreide bzw. aus dem Alb ins Quartär eintretenden, potentiell kontaminierten Wassermenge entspricht der Verdünnung im Quartär (nachstehende Tabelle und Tab. 4-7 bis 4-9):

Bohrung	Gesättigte Mächtigkeit des Quartärs	Gesamt- bzw. Minimalfluss (*) im Quartär		Verdünnung im Quartär
	[m]	[l/min]	[l/Tag]	
B67	8	0,85	1224	800
B320	1	0,0972	140	45
B30	10	1,1	1584	330
B183	20	0,0972	140	6300
B100	1	0,0972	140	98
B166	10	0,32	467	200
B315	40	0,0972	140	5000
B303	30	0,0972	140	4200
B106	25	0,0972	140	100
B107	30	0,0972	140	13

(*) Minimalfluss = 140 l/Tag = 0,0972 l/min

4.6 Gesamte Verdünnung zwischen Grubengebäude und Biosphäre

Die Verdünnungsfaktoren für die einzelnen Teilabschnitte des Freisetzungsweges betragen (vgl. Tab. 4-7 bis 4-9):

	Verdünnungsfaktor				
	ox, jo	kru, Alb	kro	q	insge- samt
Bleckenstedt 1	1	1.0	100	800	80000
Sauingen 2	1	10	150	45	67500
Sauingen 1	1	8.5	160	330	448800
Alvesse 1	1	9.6	-	6300	60480
Üfingen 1	1	4.4	73	98	31478
Üfingen 2	1	7.0	120	200	168000
Wierthe 1	5	16	-	5000	400000
Sonnenberg 4	5	11	-	4200	231000
Vechelde 2/2a	5	59	-	100	29500
Vechelde 3	5	70	-	13	4550

Daraus resultieren für die Transportwege entlang den in der Entscheidungsmatrix aufgeführten zehn Bohrungen sehr unterschiedliche Verdünnungsfaktoren zwischen 4550 (Vechelde 3) und rund 450 000 (Sauingen 1).

4.7 Auswahl der Bohrungen für die Transportrechnungen

Das Ergebnis der Abschätzung der Fliesswegparameter (Entscheidungsmatrix) ist in den Tabellen 4-7 bis 4-9 zusammengefasst.

Die verschiedenen Bohrungen können nach ihrer geographischen und strukturellen Lage in vier Gruppen unterteilt werden:

Gruppe	Charakterisierung	Bohrungen
1	Oberhalb Grube	B67 Bleckenstedt 1
2	Ausserhalb Störungszone, Lage wenig nördlich der Grube	B321 Hüttenberg 1 B320 Sauingen 2 B30 Sauingen 1
3	Ausserhalb Störungszone, Lage weiter im Norden	B183 Alvesse 1 B100 Üfingen 1 B166 Üfingen 2
4	In Störungszone entlang Salzstockrand	B315 Wierthe 1 B303 Sonnenberg 4 B106 Vechelde 2/2a B107 Vechelde 3

Für jede Gruppe wurde die Bohrung mit den ungünstigsten Parametern für die Ausbreitungsrechnungen festgehalten:

- Gruppe 1

Bleckenstedt 1 als einzige Bohrung dieser Gruppe

- Gruppe 2

Wie in Kapitel 4.3 gezeigt worden ist, stellen von Gruppe 2 nur die Bohrungen Sauingen 1 und 2 mögliche Ausbreitungswege dar. Da der Fliessweg durch die Deckschichten Unterkreide und Alb den wichtigsten Fliesswegabschnitt darstellt und dieser in Sauingen 1 für den Gesamtfluss, die Fliesszeit und die Verdünnung eindeutig ungünstigere Werte aufweist als in Sauingen 2, wurde trotz der für Sauingen 2 geringfügig kürzeren Fliesszeit im Fliesswegabschnitt Kimmeridge-Oxford und der markant geringeren Verdünnung im Abschnitt Oberkreide-Quartär der Fliessweg durch Sauingen 1 für die Ausbreitungsrechnungen gewählt. (Diese Wahl ist auch deshalb sinnvoll, da der Einfluss der Verdünnung linear ist und deshalb leicht abzuschätzen ist.)

- Gruppe 3

In dieser die Bohrungen Alvesse 1, Üfingen 1 und Üfingen 2 umfassenden Gruppe von Bohrungen weist die Bohrung Alvesse 1 bezüglich der Fliesswegabschnitte Unterkreide-Alb und Oberkreide-Quartär die günstigsten Eigenschaften auf. Die Fliesszeit im Kimmeridge-Oxford liegt zwischen jenen der benachbarten Bohrungen Üfingen 1 und 2. Alvesse 1 weist damit von den drei betrachteten Bohrungen insgesamt die günstigsten Parameter auf.

Beide Bohrungen Üfingen weisen Abschnitte mit ungünstigen Parameterwerten auf, so dass es schwer fällt, abzuschätzen, welche der beiden Bohrungen im Hinblick auf die Ausbreitungsrechnungen die ungünstigere darstellt. So sind die Fliesswegparameter der Abschnitte Oxford-Kimmeridge und Oberkreide-Quartär der Bohrung Üfingen 1 eindeutig ungünstiger als jene von Üfingen 2. Im wichtigen Fliesswegabschnitt Unterkreide-Alb weist Üfingen 1 einen grösseren Gesamtfluss und eine geringere Verdünnung, Üfingen 2 dagegen eine kürzere Fliesszeit auf. Für die Bohrungen Üfingen 1 und 2 ist daher aus den Fliesswegparametern der beiden Bohrungen, wie sie in Tab. 4-8 enthalten sind, ein synthetischer Fliessweg definiert worden, der die ungünstigen Eigenschaften beider Fliesswege vereinigt und damit einen für die Bohrgruppe 3 konservativen synthetischen Fliessweg darstellt.

- Gruppe 4

Das kontaminierte Wasser aus der Grube erreicht die Bohrungen der Gruppe 4 in der Reihenfolge ihrer geographischen Breite, d.h. bezüglich dem Fliessweg Kim-

meridge-Oxford liegt die Bohrung Wierthe 1 am ungünstigsten, Vechelde 3 am günstigsten. Im Quartär weisen alle vier Bohrungen ungefähr dieselben Gradienten und Mächtigkeiten auf. Da in allen vier Bohrungen keine Oberkreide vorkommt, wird wie oben angeführt, im Quartär ein minimaler kontaminierter Wasserfluss von 140 l/Tag angenommen. Die Verdünnung im Quartär hängt in diesen Bohrungen damit einzig von dem aus dem Alb (bzw. in Vechelde 2/2a der Unterkreide) ins Quartär austretenden Wasserfluss ab. Da im Fließwegabschnitt Unterkreide-Alb die Bohrung Vechelde 3 eindeutig die ungünstigsten Parameter aufweist, sind für diese Bohrung Ausbreitungsrechnungen auszuführen.

Im Rechenfall R47 sind damit für die Bohrungen

- Bleckenstedt 1 (Grundfall und Variante)
- Sauringen 1
- Synthetischer Fließweg Üfingen 1/2 aus den Fließwegparametern von Üfingen 1 und Üfingen 2
- Vechelde 3 (Grundfall und Variante)

Ausbreitungsrechnungen durchzuführen. Die für die Ausbreitungsrechnungen gültigen Fließwegparameter sind in den Tabellen 4-10 und 4-11 zusammengestellt.

B MODELLIERUNG DER RADIONUKLIDAUSBREITUNG

5 EINLEITUNG

Bei der Modellierung des Radionuklidtransportes entlang den Teilabschnitten der Fließwege

- Oxford
- Kimmeridge
- Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3 durch Unterkreide und Alb
- Oberkreide soweit vorhanden (Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und Üfingen 1/2)

werden Advektion, Dispersion, Matrixdiffusion und Sorption in der Matrix berücksichtigt.

Wie in Kapitel 4.3 erwähnt, werden für die Bohrungen Bleckenstedt 1 und Vechelde 3 zusätzlich alternative Fließwegparameter festgelegt. In beiden Fällen werden Transportrechnungen auch für die Variante durchgeführt. Die Transportparameter des synthetischen Fließweges durch Üfingen 1/2 stellen eine konservative Kombination der charakteristischen Parameter der Fließwege entlang den beiden Bohrungen Üfingen 1 und Üfingen 2 dar.

Die numerische Simulation der Radionuklidausbreitung erfolgt mit dem Computerprogramm RANCHMD (siehe COLENCO 1990, Kapitel 3.2), welches die Ausbreitung für konstante Fließweg- und Sorptionskonstanten sowie für Dispersion in Fließrichtung berechnet. Die Aktivitätsfreisetzung aus dem Endlager bildet den Quellterm für das Transportmodell. Ergebnisse der Modellrechnungen sind der zeitliche Verlauf des Aktivitätsflusses oder der Aktivitätskonzentration am Ende eines Fließwegabschnittes.

Den abschnittsweise unterschiedlichen Fließwegparametern werden durch sukzessive Anwendung des Programms RANCHMD Rechnung getragen, wobei die Resultate der Transportberechnung des ersten Abschnittes die Eingangsdaten für die Berechnung des zweiten Abschnittes bilden usw. Die Verdünnung innerhalb eines Abschnittes, hervorgerufen durch Querdispersion oder Zufluss von nicht kontaminiertem Wasser, wird am Ende des jeweiligen Wegabschnittes berücksichtigt, wobei das Verhältnis des abfließenden Aktivitätsflusses und des entsprechenden Wasserflusses die resultierende Austrittskonzentration ergibt.

Aufgrund früher ausgewerteter Rechenfälle ist es möglich, zwei repräsentative Nuklide zu wählen, die einen zuverlässigen Hinweis auf die zu erwartenden Ergebnisse einer vollständigen Ausbreitungsrechnung geben können. Als typisch für die nichtsorbierenden Nuklide wird I-129 gewählt. Dieses Nuklid weist eine der höchsten molaren Konzentrationen im Grubenabfluss auf und ist auch radioöko-

logisch signifikant. Das langlebige Uran-Isotop U-238 bestimmt den Freisetzungsverlauf seiner radioökologisch signifikanten Töchternuklide (insbesondere Ra-226) und wird deshalb als repräsentativ für die sorbierenden Nuklide betrachtet.

6 NUKLIDFREISETZUNG ENDLAGER-QUARTÄR

6.1 Nuklidfreisetzung aus dem Endlager

Für den Plan Konrad 9/86 wurde die Mobilisierung der eingelagerten Abfälle unter Berücksichtigung der Lebensdauer der Verfestigungsmatrix und der anderen technischen Barrieren, der Sorption an der Oberfläche der Materialien im Grubengebäude und der begrenzten Löslichkeit der Nuklide im Grundwasser berechnet. Eine Beschreibung des Modells ist in GSF (1986) gegeben. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen sind die zeitabhängigen, nuklidspezifischen Aktivitätsflüsse aus dem Endlager in die Geosphäre.

Ein wichtiger Parameter des Modells ist der Wasserfluss durch den Endlagerbereich, welcher die Freisetzungsraten sowie den Verlauf der Freisetzung der Nuklide bestimmt. Die Freisetzungsraten hängen für löslichkeitslimitierte Freisetzung streng, für nicht löslichkeitslimitierte Freisetzung ungefähr proportional vom Wasserfluss ab. Im Fall R47 beträgt dieser Wasserfluss $770 \text{ m}^3/\text{a}$. Den im folgenden beschriebenen Transportrechnungen werden die für einen Wasserdurchfluss von $735 \text{ m}^3/\text{a}$ berechneten Aktivitätsfreisetzungsraten zugrunde gelegt (BfS 1990b). Damit wird vereinfachend die Abhängigkeit der Aktivitätsfreisetzung aus dem Endlager vom Grubendurchfluss vernachlässigt, die Freisetzungsraten unterschätzt und die Freisetzungsdauer überschätzt. Der Fehler, der durch die Vereinfachung entsteht, beträgt ca. 5% und ist im Prinzip nicht konservativ. Da die Dauer der Freisetzung aus dem Endlager jedoch kurz ist im Vergleich zur gesamten Transportzeit, ist nur das gesamte freigesetzte Inventar und nicht der Zeitverlauf der Freisetzung wesentlich.

Da jeweils nur ein Teil des Grubendurchflusses entlang der jeweils betrachteten Bohrung abfließt, wird als Quellterm für die Modellrechnungen der Anteil der gesamten Aktivitätsfreisetzungsraten verwendet, welcher dem Verhältnis des Wasserflusses entlang der betrachteten Bohrung an der Basis der Unterkreide und des fallspezifischen Grubendurchflusses von $770 \text{ m}^3/\text{a}$ entspricht.

6.2 Definition der Transportparameter

Die postulierten Transportwege verlaufen teilweise durch Kluftgesteine. Sie führen zwischen dem Grubengebäude und den betrachteten Bohrungen durch unterschiedliche Abschnittslängen im Oxford und Kimmeridge und verlaufen anschliessend entlang den Bohrungen durch Unterkreide und Alb. Aufgrund der kurzen Fliessdistanz durch Oxford und Kimmeridge und der hohen Transmissivität und Fliessgeschwindigkeit in der Unterkreide und im unteren Teil des Alb wird für den Fliessweg durch die Bohrung Bleckenstedt 1 angenommen, dass das kontaminierte Wasser aus dem Grubengebäude ohne Zeitverzug und unverdünnt die Basis des

wenig durchlässigen Fliesswegabschnittes im Alb erreicht (170 m im Grundfall, 108 m in der Variante unterhalb Top Alb). In den Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und Üfingen 1/2 tritt der Fliessweg anschliessend in die Oberkreide über, während er in der Bohrung Vechelde 3 direkt aus dem Alb ins Quartär gelangt. Der Fliessweg entlang den Bohrungen durch Unterkreide und Alb verläuft durch toniges Verfüllungsmaterial; bei diesem handelt es sich um ein poröses Medium.

Die hydraulischen Kennwerte des angenommenen Fliessweges sind in den Tab. 4-10 bis 4-12 zusammengefasst. Diese die Ausbreitungsrechnung bestimmenden Kennwerte wurden zum Teil schon in Teil A dieses Berichtes diskutiert und werden im folgenden ergänzend kommentiert.

Aufgrund des Streubereichs der nutzbaren Porosität für Oxford, Kimmeridge und Oberkreide (0,1 - 22,5 %) wird eine Matrixporosität von 10 % für die drei Formationen angesetzt. Für die Schichten Unterkreide und Alb mit einem Streubereich von 8 - 30 % wird eine Matrixporosität von 15 % angenommen. Dieser Wert unterscheidet sich von dem bis anhin verwendeten Wert von 20 %, wobei die Änderung in bezug auf die Wirkung der Matrixdiffusion konservativ ist.

Die berücksichtigten Bohrungen Bleckenstedt 1, Üfingen 1/2, Sauingen 1 und Vechelde 3 sind in der Unterkreide und im Alb durch Zementbrücken, Sedimentfüllung und Nachfall gefüllt. Der advektive Transport erfolgt also in einem porösen, teilweise tonigen Medium. Für die Fliessporosität der Bohrlochverfüllung wird ein Wert von 10 % angenommen.

Wie in PTB (1986a) wird für die Berechnung des Retentionsfaktors der Nuklide in allen Schichten eine mittlere Gesteinsdichte von 2600 kg/m^3 verwendet.

Die Modellierung der Nuklidausbreitung in der Oberkreide wurde schon in Kapitel 4.4 diskutiert. In dieser Formation wird für die Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und Üfingen 1/2 die Abstandsgeschwindigkeit entsprechend dem Gradienten der Grundwassergleichen im Quartär (= Gradient in der Oberkreide), dem k_f -Wert der Oberkreide und einer mittleren Kluftweite von 0,02 mm bei einem mittleren Kluftabstand von 0,1 m festgelegt. Dies ergibt für Bleckenstedt 1 eine horizontale Geschwindigkeit von 47,3 m/a. Unter der Annahme, dass der schräg ansteigende Wasserfluss durch die Oberkreide die derart bestimmte Horizontalkomponente aufweist, beträgt die Fliesszeit 9,5 Jahre für die 520 m lange Strecke bei Bleckenstedt 1. Analog erhält man für Sauingen 1 eine Fliesszeit von 9,9 Jahren. Der niedrige Gradient in der Nähe von Üfingen 1 ergibt demgegenüber eine horizontale Abstandsgeschwindigkeit von nur 15,8 m/a, was für den 340 m langen Fliessweg einer Fliesszeit von 18,7 Jahren entspricht.

Während des Transportes entlang den verschiedenen Fliesswegabschnitten dehnt sich eine Nuklidwolke als Folge der Dispersion zunehmend aus. Dabei muss zwischen der Dispersion längs der Ausbreitungsrichtung und quer dazu (horizontal und vertikal) unterschieden werden. Die entsprechenden Parameter, die Dispersionskonstanten (Dimension m^2/s), werden üblicherweise als Produkt der Abstandsgeschwindigkeit und der sogenannten Dispersionslängen (Dimension m) dargestellt. Der Quotient des Transportweges und einer Dispersionslänge wird mit Peclet-Zahl bezeichnet.

Die Peclet-Zahl für die Dispersion in Richtung des Wasserflusses (Längsdispersion) wird aufgrund von Felddaten aus der Literatur auf 10 geschätzt (LEVER et al. 1988, GELHAR et al. 1985) und stimmt damit mit dem in PTB (1986a) und COLENCO (1990) verwendeten Wert überein. Für den Transport entlang Bohrlochabschnitten wird $Pe = 20$ verwendet.

Die Längsdispersion ist wesentlich grösser als die Dispersion quer zur Fliessrichtung. Aufgrund von Feldbeobachtungen, welche allerdings vorwiegend in oberflächennahen Lockergesteinsschichten erfolgten, wird für das Verhältnis der Dispersionslänge in Stromrichtung zu jener quer dazu der Wert 100:1 angenommen. Als Peclet-Zahl für die (horizontale) Querdispersion wird also 1000 eingesetzt. Für die Peclet-Zahl der vertikalen Querdispersion wird ein Wert von 10 000 angenommen.

Die Diffusion von Radionukliden aus den Klüften oder der Bohrung in die Gesteinsmatrix wird durch zwei Parameter quantifiziert: die Diffusionskonstante in der Matrix und die maximale Diffusionstiefe (= Matrixtiefe).

Die Diffusion durch ein poröses, wassergesättigtes Medium wird durch die "effektive Diffusivität" D_e beschrieben:

$$D_e = \varepsilon_m \cdot D_w / G = \varepsilon_m \cdot D_m$$

Die effektive Diffusivität ist gegenüber der Diffusionskonstante im Wasser, D_w , um die Porosität ε_m und einen Faktor G , welcher die Geometrie der Poren beschreibt, reduziert.

Typische Werte für die sogenannte Porendiffusivität D_m sind $8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ für Granit mit einer Porosität von 0,25 % und $2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ für Bentonit mit einer Porosität von 41 % SKBF/KBS (1983). Für die Porendiffusivität wird für alle Gesteinstypen der Wert

$$D_m = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$$

angesetzt.

Als Matrixtiefe wird für den Radionuklidtransport durch die Schichten Oxford, Kimmeridge und Oberkreide der jeweilige halbe mittlere Kluftabstand verwendet. Für die Matrixdiffusion aus dem Bohrloch in die Unterkreide und das Alb wird eine unbegrenzte Matrixtiefe angenommen. Aus numerischen Gründen muss ihr jedoch ein endlicher Wert zugewiesen werden; aufgrund von Testrechnungen für Bleckenstedt 1 und Üfingen 1 muss dieser Wert im vorliegenden Rechenfall R47 mindestens 250 m betragen. Die kürzere Fließzeit durch Vechelde 3 würde einen kleineren Wert erlauben, vergleichbar mit dem Wert von 100 m, wie er in den früheren Rechenfällen "alte Bohrungen" verwendet wurde. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird jedoch für alle Bohrungen der gleiche Wert von 250 m angewandt.

6.3 Sorptionsparameter

Die Nuklidfreisetzung aus dem Endlager bildet den Quellterm für den Nuklidtransport durch die Geosphäre. Unter der Annahme, dass sich der freigesetzte Aktivitätsfluss gleichmässig mit dem gesamten Grubenwasserdurchfluss mischt, ergeben sich die Nuklidkonzentrationen im Porenwasser an der Grenze zwischen Endlager und Geosphäre.

Die Sorption der Radionuklide in der Matrix wird als lineare oder abschnittsweise lineare Gleichgewichtssorption modelliert. Wie im einleitenden Kapitel 5 erwähnt, werden Transportrechnungen nur für die zwei repräsentativen Nuklide I-129 und U-238 durchgeführt.

Das Element Jod wird als nichtsorbierend angenommen.

Die Konzentration der Uranisotope ist für die Festlegung der Sorptionskonstanten (K_d -Werte) massgebend. Sie wird als Quotient der Freisetzungsrates (vgl. Kapitel 6.1) und des tatsächlichen Wasserflusses durch das Endlager gemäss der hydraulischen Modellrechnung (d.h. für R47: $770 \text{ m}^3/\text{a}$) ermittelt. Der K_d -Wert von Uran hängt nur von der Nuklidkonzentration ab. Für Uran ist die maximale Nuklidkonzentration im Grubenwasser geringer als 1% der in den K_d -Tabellen in PTB (1986b) aufgeführten Bezugskonzentration, so dass für alle Abschnitte des Fließweges der jeweils grösste angegebene K_d -Wert verwendet werden kann. (Diese Bedingung ist auch erfüllt, falls die Urankonzentration mit dem Grubendurchfluss von $735 \text{ m}^3/\text{a}$ berechnet wird, der für die Modellierung der Uranfreisetzung aus dem Endlager Anwendung fand.)

6.4 Ergebnisse der Berechnung der Nuklidausbreitung mit RANCHMD

Die berechneten maximalen Aktivitätskonzentrationen der beiden repräsentativen Nuklide I-129 und U-238 für die sechs alternativen Fließwege sind in Tab. 6-1 zusammen-

gestellt. Der zeitliche Verlauf der Konzentrationen an den verschiedenen Schichtgrenzen ist in den Abb. 6-1 bis 6-4 dargestellt. Die dazugehörigen Zeitpunkte der maximalen Aktivitätskonzentrationen an ausgewählten Punkten der Fließwege sind in Tab. 6-2 aufgeführt.

6.4.1 Nuklidtransport durch Oxford und Kimmeridge

Für den Fließweg durch die Bohrung Bleckenstedt 1 wird angenommen, dass das kontaminierte Wasser aus dem Grubengebäude ohne Zeitverzug und unverdünnt die Basis der Unterkreide erreicht.

Die Fließwege zu den übrigen Bohrungen führen durch das Oxford und das Kimmeridge, die beide als Kluftwasserleiter mit einer Fließporosität von 0,1 %, einem (mittleren) Kluftabstand von 1 m und einer durch Diffusion erreichbaren Matrixporosität von 10 % modelliert werden (vgl. Tab. 4-12). Die aus dem Endlager freigesetzten Radionuklide bewegen sich somit advektiv in den Klüften und dringen aus diesen diffusiv in das stagnierende Porenwasser der umgebenden Matrix ein (Matrixdiffusion). Bei der begrenzten Matrixtiefe und der relativ langen Dauer der Radionuklidfreisetzung aus dem Endlager erreicht die Radionuklidkonzentration in der gesamten Matrix jedoch nach verhältnismässig kurzer Zeit ungefähr den gleichen Wert wie in der Kluft. Diese Bedingung bezeichnet man als "rasche Sättigung der Matrix". Sie bewirkt, dass die Radionuklidausbreitung zu den gleichen Durchbruchkurven am Ende des Ausbreitungsweges führt wie die Ausbreitung mit der gleichen Filtergeschwindigkeit durch ein poröses Medium, dessen Porosität gleich ist wie die durch Diffusion erreichbare Matrixporosität des Kluftwasserleiters (hier 10 %). Die Begründung dieser Äquivalenz ist in COLENCO (1990) gegeben. Der Transport durch einen Kluftwasserleiter bei rascher Sättigung der Matrix entspricht also dem Transport durch einen Porenwasserleiter bei stark reduzierter Abstandsgeschwindigkeit.

Für den Transport vom Endlager zu den übrigen, nördlich der Grube gelegenen Bohrungen bringen der oben diskutierte Prozess, die Sorption und die Längsdispersion eine Verzögerung der Freisetzung in die Bohrung und eine Verminderung der dort auftretenden maximalen Konzentrationen. Da U-238 sorbiert, ist die Transportzeit für dieses Nuklid deutlich länger und die Konzentrationsverminderung damit deutlich stärker als bei I-129: Das Gesamtinventar von I-129 ist geringer als jenes von U-238; trotzdem übersteigt die Konzentration von I-129 jene des Uranisotops im Zufluss zu diesen Bohrungen um mehr als eine Grössenordnung.

Eine Konzentrationsverminderung als Folge der Querdispersion, d.h. als Folge einer seitlichen Vermischung mit nichtkontaminiertem Wasser, kann für die Bohrungen Sauin-

gen 1 und Üfingen 1/2 nicht belastbar angenommen werden. Die dispersive horizontale Ausdehnung einer Schadstoffahne aus einer Punktquelle beträgt im Abstand von 3000 m (ungefähre Fliessdistanz vom Endlager zu Üfingen 1) rund 300 m, also wesentlich weniger als die Querausdehnung des Endlagers. Dieses gilt noch ausgeprägter für die näher liegende Bohrung Sauingen 1. Es muss also konservativerweise angenommen werden, dass sich eine relativ breite Front von Radionukliden, die sich alle entlang ungefähr parallel verlaufenden Trajektorien ausbreiten, bildet. Dies wird in den Abb. 4-5 für die Kimmeridge-Trajektorien deutlich illustriert. Ein dispersiver Konzentrationsabbau quer zur Ausbreitungsrichtung kann unter solchen Umständen nur am seitlichen Rand der Front erfolgen und wird erst wirksam, wenn die charakteristische Ausdehnung der Querdispersion gross gegenüber der ursprünglichen Frontbreite ist.

Andere Verhältnisse liegen beim Transport zur Bohrung Vechelde 3 vor. Der Wasserfluss entlang der Störungszone am Salzstockrand stammt nicht vollumfänglich aus dem Endlager. Für den Fliessweg nach Vechelde 3 gibt es deshalb einen quantifizierbaren Verdünnungseffekt, der den negativen Einfluss der kürzeren Fliesszeit zu diesen Bohrungen gegenüber jener zu Üfingen 1/2 kompensiert. Die Verdünnungsvorgänge in der Störungszone entlang dem Salzstockrand wurden in Abschnitt 4.2.3 ausführlich diskutiert.

Beim Eintritt in die Bohrungen Üfingen 1/2 und Vechelde 3 weisen die Konzentrationen ähnliche Grössen auf. Die Konzentration des Zuflusses zu Sauingen 1 liegt etwa eine Grössenordnung höher, ist aber immer noch um einen Faktor 80 unter der Konzentration im Grubenabfluss.

6.4.2 Nuklidtransport durch Unterkreide und Alb

Die Matrixdiffusion radial aus den Bohrungen verzögert die Freisetzung der Nuklide und reduziert deren maximale Konzentration für alle sechs Fliesswege. Die Stärke dieses Effektes hängt vorwiegend, aber ausgeprägt nicht-linear, von der Fliesszeit durch die Bohrungen und ihrem Durchmesser ab.

Beim Fliessweg durch die Bohrung Bleckenstedt 1 ist die Konzentration des nichtsorbierten I-129 beim Austritt aus dem Alb etwa um den Faktor $1,7 \cdot 10^{10}$ geringer als im Grubenwasser und erreicht ein Maximum nach $2 \cdot 10^4$ Jahren. Die maximale Konzentration von U-238 am Top des Alb liegt um den Faktor $1,4 \cdot 10^{11}$ unter der Konzentration im Grubenwasser und wird erst nach $5 \cdot 10^6$ Jahren erreicht. Die Wirksamkeit der Matrixdiffusion in Bleckenstedt 1 ist, wegen der etwa 10-fach längeren Fliesszeit, viel stärker als im Rechenfall R34.

Wegen der sehr langen Fliesszeiten durch Sauingen 1 (560 Jahre) und Üfingen 1 (870 Jahre) hat die Matrixdiffusion in diesen Bohrungen einen noch stärkeren Effekt auf die maximalen Konzentrationen am Top Alb als in der Bohrung Bleckenstedt 1 (rund 100 Jahre). In beiden Fällen sind die maximalen Konzentrationen unbedeutend.

Die Fliesszeit durch Vechelde 3 ist andererseits kürzer als diejenige durch Bleckenstedt 1. Die Matrixdiffusion hat dadurch in dieser Bohrung einen geringeren Einfluss auf die Konzentrationen.

Ein weiterer Grund für die geringere Wirksamkeit der Bohrung Vechelde 3 gegenüber Bleckenstedt 1 (ausgedrückt als Reduktionsfaktor für die Konzentrationsmaxima) ist jedoch auch auf den unterschiedlichen zeitlichen Verlauf des Zuflusses an der Basis der Unterkreide zurückzuführen: Während der Zufluss zu Bleckenstedt 1 nur kurz dauert, aber hohe Konzentrationen aufweist, erstreckt sich der Zufluss zur Bohrung Vechelde 3 nach dem Transport durch das Oxford und Kimmeridge über einen wesentlich längeren Zeitraum mit entsprechend tieferen Konzentrationen. Nun wird jedoch, selbst bei gleichen Verhältnissen im Bohrloch, die Maximalkonzentration eines kurzen "Pulses" während des Transportes entlang dem Bohrloch um einen grösseren Faktor reduziert als jene eines langdauernden Zuflusses.

Für die Variante der Fliesswegparametrisierung durch die Bohrung Bleckenstedt 1 ist die Fliesszeit mit 189 Jahren bedeutend länger als im Grundfall (104 Jahre). Dagegen ist der Bohrlochdurchmesser in der Variante mit 0,34 m etwas grösser als im Grundfall (0,2 m).

In Vechelde 3 unterscheiden sich Grundfall und Variante ebenfalls im Bohrlochdurchmesser und in der Fliesszeit. Im Grundfall, bei einem Durchmesser von 0,27 m beträgt die Fliesszeit 36 Jahre, während in der Variante, bei einem mittleren Durchmesser von 0,4 m in der Unterkreide und 0,28 m im Alb sich die gesamte Fliesszeit mehr als verdoppelt (78,1 Jahre), wobei allerdings der Fluss durch das Alb sehr rasch erfolgt (0,3 Jahre). Der Transport durch das Alb hat daher vorwiegend über den Verdünnungseffekt durch zufließendes Wasser einen Einfluss auf die Konzentrationen.

In der Fliesswegvariante durch Bleckenstedt 1 hat die Verdreifachung des Fliessquerschnittes gegenüber dem Grundfall einen grösseren Effekt als die damit korrelierte Verlängerung der Fliesszeit, die sich beinahe verdoppelt. In Vechelde 3 sind die Verhältnisse umgekehrt. Dort bewirkt die Verdoppelung der Fliesszeit und des Fliessquerschnittes eine Erniedrigung der Konzentrationen gegenüber dem Grundfall um den Faktor 2.

Der gegenläufige Einfluss der zwei massgebenden Parameter, Fliesszeit und Bohrlochdurchmesser, ist in Abb. 6-5 dargestellt. Die beiden Kurven zeigen den Zusammenhang zwischen der Wasserfliesszeit und der maximalen Konzentration im Abfluss für zwei Durchmesser. Als Basis für diese Kurven dienen die Parameter für den Grundfall und die Variante des Fliessweges entlang Bleckenstedt 1 und für das Radionuklid I-129. Ob die Fliesszeit durch eine geänderte Geschwindigkeit oder die Fliessdistanz variiert wird, hat nur einen geringen Effekt auf die Ergebnisse. Zu bemerken ist, dass die zwei Kurven eine konvergierende Tendenz und einen wachsenden Gradienten in Richtung kürzerer Fliesszeiten aufweisen. Das heisst, dass bei kurzen Fliessdistanzen oder hohen Geschwindigkeiten der Bohrlochdurchmesser weniger, die aktuelle Fliesszeit dagegen mehr Einfluss auf die Abflusskonzentration ausüben. Ebenfalls eingetragen in Abb. 6-5 sind die Ergebnisse für die Bohrung Vechelde 3, Grundfall und Variante, wobei hier im Zufluss zur Bohrung der gleiche zeitliche Konzentrationsverlauf wie in jenem zur Bohrung Bleckenstedt 1 angenommen wurde.

6.4.3 Nuklidtransport durch die Oberkreide

Die Freisetzung der Nuklide aus den Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1 und Üfingen 1/2 an der Basis der Oberkreide erfolgt über einen so langen Zeitraum, dass die Matrix der Oberkreide relativ rasch gesättigt wird. Der Transport durch die Oberkreide bewirkt keine spürbare weitere Reduktion der Konzentration durch Matrixdiffusion. Die Reduktion der maximalen Konzentration ist praktisch vollständig auf die Verdünnung durch Zufluss von nichtkontaminiertem Wasser zurückzuführen. Dies würde auch für Sauingen 1 gelten, jedoch sind in dieser Bohrung die Konzentrationen schon auf $< 10^{-20}$ Bq/m³ (Untergrenze des durch RANCHMD erfassten Wertebereiches) abgesunken.

In der Bohrung Vechelde 3 fehlt die Oberkreide; das kontaminierte Wasser tritt damit aus dem Alb direkt ins Quartär aus.

6.4.4 Konzentrationen im Quartär

Die berechneten maximalen Konzentrationswerte im Quartär sind für alle sechs untersuchten Fliesswege entlang Bohrungen in den untersten zwei Zeilen der Tab. 6-1 zusammengestellt.

Die Austrittsfläche des kontaminierten Wassers aus der Bohrung Bleckenstedt 1 ins Quartär weist eine durch laterale Dispersion und Ausbreitung des abströmenden Wassers verursachte maximale Breite von 59 m auf. Im Austrittsgebiet beträgt die gesättigte Mächtigkeit des Quartärs rund 8 m. Der Wasserfluss durch diesen Querschnitt

beträgt 0,85 l/min und ergibt einen Verdünnungsfaktor von 800 gegenüber der kontaminierten Fahne in der Oberkreide. Für das Wasser aus der Bohrung Üfingen 1/2 (Werte der Bohrung Üfingen 1) ist die Fahnenbreite etwa 33 m und der Verdünnungsfaktor beim angenommenen Minimalwert des kontaminierten Wasserflusses im Quartär von 140 l/Tag (vgl. Kap. 4.5) rund 98.

Das kontaminierte Wasser aus der Bohrung Vechelde 3 tritt punktförmig ins Quartär über. Um die Verdünnung im Quartär zu berechnen, wird, wie in Kap. 4.5 erläutert, ein kontaminierter Wasserfluss von 140 l/Tag (0,0972 l/min) angenommen. Mit diesem Wert reduziert sich die Radionuklidkonzentration gegenüber jener in der Oberkreide um den Faktor 13.

Von den sechs betrachteten Fließwegen weist derjenige entlang Vechelde 3 (Grundfall) die geringste Gesamtverminderung der maximalen Konzentration auf. Nach rund $3 \cdot 10^5$ Jahren erreicht die Konzentration von I-129 einen Maximalwert von $2,4 \cdot 10^{-3}$ Bq/m³. Das Isotop U-238 weist rechnerisch eine maximale Konzentration von $6,4 \cdot 10^{-5}$ Bq/m³ nach rund $2 \cdot 10^7$ Jahren auf.

Als Folge der postulierten direkten Verbindung zwischen dem Grubengebäude und der Bohrung Bleckenstedt 1 bis zur Untergrenze des wenig durchlässigen Bohrlochabschnittes im oberen Teil des Alb tritt für diesen Fließweg die maximale Konzentration am frühesten ein, nach rund $2 \cdot 10^4$ Jahren für I-129 und $5 \cdot 10^6$ Jahren für U-238, also etwa zehnmal schneller als für den Ausbreitungsweg entlang der Bohrung Vechelde 3. Der Fließweg entlang Bleckenstedt 1 weist jedoch eine um rund fünf Grössenordnungen stärkere Verringerung der Konzentrationen auf als jener entlang Vechelde 3.

Im Vergleich zum Referenzfall Tiefbohrungen R34 (COLENCO 1990), in dem die Freisetzung entlang Bleckenstedt 1 berechnet wurde, sind die Konzentrationsmaxima im Quartär im vorliegenden Rechenfall (R47) für den Freisetzungspfad Vechelde 3 um rund einen Faktor 2 kleiner.

	Radionuklidkonzentration im Quartär	
	I-129 [Bq/m ³]	U-238 [Bq/m ³]
R47 Vechelde 3	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$
R47 Bleckenstedt 1	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-10}$
R34 Bleckenstedt 1	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$

LITERATURVERZEICHNIS

BfS (1990a): Kurzfassung Plan Konrad 4/90, Stratigraphie der Schächte Konrad 1 und Konrad 2

BfS (1990b): Radionuklidfreisetzung aus dem Grubengebäude für eine Durchströmungsrate von $735 \text{ m}^3/\text{a}$. - Bericht in Vorbereitung

BGR (1988a): Tiefenlinienpläne Anl. 1-6, 10-15 und 29 mit Störungszonen a bis e, i, k, h und v. - 8.1.1988

BGR (1988b): Revision von Tiefbohrungen, Band 1. Geologischer Bericht. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/1, Tgb.-Nr. 12505/88, Dezember 1988

BGR (1988c): Revision von Tiefbohrungen, Band 2. Blatt 3528 Meinersen, Blatt 3529 Gifhorn. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/2, Tgb.-Nr. 12505/88, 15.11.1988

BGR (1988d): Revision von Tiefbohrungen, Band 3. Blatt 3628 Wendeburg. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/3, Tagebuch-Nr. 12505/88, 15.11.1988

BGR (1988e): Revision von Tiefbohrungen, Band 4. Blatt 3629 Braunschweig-Nord. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/4, Tgb.Nr. 12505/88, 15.11.1988

BGR (1988f): Revision von Tiefbohrungen, Band 5. Blatt 3728 Braunschweig-West. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/5, Tgb.Nr. 12505/88, 15.11.1988

BGR (1988g): Revision von Tiefbohrungen, Band 6. Blatt 3827 Lebenstedt-West, Blatt 3828 Lebenstedt-Ost. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/6, Tgb.-Nr. 12505/88, 15.11.1988

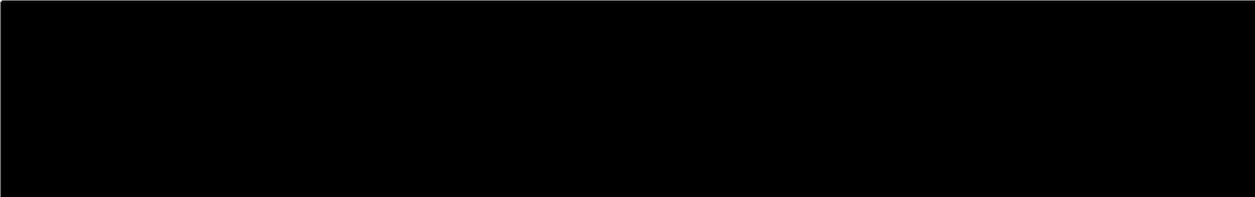
BGR (1988h): Revision von Tiefbohrungen, Band 7. Blatt 3928 Salzgitter. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/7, Tgb.-Nr. 12505/88, 15.11.1988

BGR (1988i): Revision von Tiefbohrungen, Anlagenband. - Gerardi J., 15.11.1988

BGR (1989): Nachträge zum Bericht: Revision von Tiefbohrungen. Ergänzungen und Korrekturen. - Gerardi J., Archiv Nr. 100 547/8, Tgb.-Nr. 11390/89, 22.6.1989

BGR (1991): Darstellung der Verfüllungszustände von ausgewählten Tiefbohrungen im Nahbereich des hydrogeologischen Modellgebiets Konrad. - Gerardi J., Archiv Nr. 108445, Tgb.-Nr. 11163/91, 15.5.1991

- BI-TASCHENLEXIKON WASSER (1985). - Busch K.-F. (Hrsg.), Leipzig, VEB Bibliographisches Institut Leipzig
- COLENCO (1989/90): Schachtanlage Konrad, Salzgitter. Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell:
- (1989a): Auswirkungen der bestehenden Tiefbohrungen. Band I: Textteil, Band II: Tabellen und Abbildungen. - 17.8.1989
- (1989b): Rechnungen zum Schachtverschluss. - 17.8.1989
- (1990): Modellierung der Radionuklidausbreitung. Band I: Textteil, Band II: Tabellen und Abbildungen. - 11.1.1990
- GELHAR L.W., MANTOGLU A., WELTY C. & REHFELDT K.R. (1985): A Review of Field Scale Physical Solute Transport Processes in Saturated and Unsaturated Porous Media. - Research Project 2485-5, EPRI EA-4190, EPRI, Palo Alto, California
- GSF (1986): Langzeitsicherheitsanalyse des Endlagers KONRAD: Radionuklidausbreitung in der Nachbetriebsphase. - TA-Nr. 2242.03, November 1986
- LEVER D.A., NOVAKOWSKI K.S., EVANS G.V. & RAVEN K.G. (1988): Hydrodynamic Dispersion in a single Fracture: Final Report on CRNL Experiment. - Commission of the European Communities, EUR 11454 EN
- MOTOR COLUMBUS (1988): Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell, Schlussbericht. - 15.11.1988
- NLFB (1989a): Tiefenlinienpläne, Stand 30.10.1989. - 14 Pläne, 30.10.1989
- NLFB (1989b): Aktualisierter Tiefenlinienplan oberer Muschelkalk, Stand 17.11.1989. - 1 Plan, 17.11.89
- NLFB (1990): Hydrogeologische Vorgaben für Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit (Modellgebiet Grube Konrad), Stand 5.10.1990 - H. Eckl, G. Goldberg, M. Neuss, Archiv-Nr. 107447, Tgb.-Nr. N 3.2-7399/90, 5.10.1990
- PTB (1986a): Plan, Endlager für radioaktive Abfälle. Schachtanlage Konrad, Salzgitter. - Stand September 1986
- PTB (1986b): Ableitung von Sorptionsdaten aus experimentellen Untersuchungen. - PTB-SE-IB-7, November 1986



PTB (1989): Plan, Endlager für radioaktive Abfälle. Schachtanlage Konrad, Salzgitter. - Stand März 1989

SKBF/KBS (1983): Final Storage of Spent Nuclear Fuel. - KBS-3, Vol. III Barriers, SKBF Stockholm

TASCHENBUCH DER WASSERVERSORGUNG (1986). - Stuttgart, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, 9. Auflage

WITTKÉ W. (1991): Endlager Konrad, Schachtverfüllung/Alte Bohrungen. Bericht Teil D: Nachweis der Machbarkeit der Schachtverfüllung (Mineralische Abdichtung und Stützsäule). - August 1991 (Entwurf)

SYSTEM	SERIE	STUFE	ABK. IN DEN SCHNITTEN	SCHICHT- MÄCHTIGKEIT in m	VORHERRSCHENDE GESTEINSART ODER SCHICHTBEZEICHNUNG	WASSERWEGSAMKEIT	Von WITTKÉ (1991) zusammengefasste Abschnitte
QUARTÄR		.	q	0 - 100	Sande, Kiese, Geschiebemergel	Porenwasserleiter	
TERTIÄR			t	0 - 150	tonige Sande	Porenwasserleiter	
KREIDE	Oberkreide	Santon	} E kro	0 - 500	Emscher Mergel mergelige Tone und Mergel Plänerkalke a.d. Basis 40 m, Mergelkalke	} Geringleiter Kluftwasserleiter	Oberkreide (OBKR)
		Coniac Turon Cenoman		0 - 300			
	Unterkreide	Alb	} MI kru	25 - 35 150 - 300 0 - 100	Flammenmergel Ton- und Mergelsteine Milsandstein	} Nichtleiter Porenwasserleiter	höhere Unterkreide (UKR2)
Apt Barrême Hauterive Valendis Wealden	175 - 400	Ton- und Mergelsteine		Nichtleiter	} tiefere Unterkreide (UKR1)		
JURA	Malm	Portland (Münder Mergel)		} jo		200 - 900	Ton- und Mergelsteine.
		Kimmeridge	Ton- und Mergelsteine mit Anhydrite				
	Oxford	ox	0 - 150	Kalkstein, Kalkoolith Tonmergelsteine, Eisenoolith Kieselige Kalke	} geringdurchläss. Kluftwasserleiter		
	Dogger	Callovium Bathonium	} c	60 - 400 30	Ton- und Mergelsteine Cornbrash-Sandstein	} Nichtleiter Wasserleiter z.T. klüftig	Dogger (DOGG)
Bajocium Aalenium	Tonmergelsteine Sandsteinhorizont Ton- und Mergelsteine	Nichtleiter					
	Lias			200 - 900	Ton- und Mergelsteine an der Basis Feinsandsteine	Nichtleiter	Lias (LIAS)
TRIAS	Keuper	Oberer Keuper (Rhät)	} ko	60	Sandsteine	} Porenwasserleiter	Keuper (KEUP)
		Mittlerer Keuper			Ton- und Mergelsteine mit 20-25 m Feinsandstein		
	Unterer Keuper	60 - 600	Mergel				
	Muschelkalk	Oberer Muschelkalk	mo	60	Kalksteine	Kluftwasserleiter	

Tabelle 1-1 Überblick über die stratigraphische und hydro-geologische Schichtfolge im Modellgebiet

Hilssandstein führende Bohrungen und Schächte		
Nicht angepasst	B81 B70 K101 B71	Hallendorf 1 Schacht K2 Bleckenstedt 2 Konrad 101 Bleckenstedt 3
Keinen Hilssandstein führende Bohrungen und Schächte		
Anpassungen im Bereich der Deckschichten	B28 B67 B321 B320 B30 B183 B100 B166	Bleckenstedt 4 Bleckenstedt 1 Schacht K1 Hüttenberg 1 Sauingen 2 Sauingen 1 Alvesse 1 Üfingen 1 Üfingen 2
Neu modellierte Bohrungen	B315 B303	Wierthe 1 Sonnenberg 4
Modifikationen Vechelde - separat modelliert - nicht modelliert	B106 B107 B111	Vechelde 2/2a Vechelde 3 Vechelde 4
Nicht angepasst	B79 B80	Broistedt 33 Broistedt 34
Nicht modelliert	B295 B98 B296 B307 B290 B111 B99	Sonnenberg 2 Sonnenberg 1 Sonnenberg 3 Denstorf 1 Gleidingen 1 Vechelde 4 Wettlenstedt 1

Tabelle 1-2 Rechenfall R47. Berücksichtigung der möglicherweise relevanten Bohrungen im Modell47 und Anpassungen an die revidierten Bohrprofile

	B81 Hallendorf 1	B28 Bleckenstedt 4	Schacht Konrad 2	B70 Bleckenstedt 2	K101 Konrad 101	B71 Bleckenstedt 3	B79 Broistedt 33	B80 Broistedt 34	B67 Bleckenstedt 1
Modell147, Anpassung an revidiertes Bohrprofil	nicht angepasst	angepasst	nicht angepasst	nicht angepasst	nicht angepasst	nicht angepasst	nicht angepasst	nicht angepasst	angepasst
Ref.	BGR (1988g)	BGR (1988g)	BfS (1990a)	BGR (1988g)	PTB (1987)	BGR 1988g	BGR (1988g)	BGR (1988g)	BGR (1988g)
q	26	27.5	36	14	11	3	1.5	1.5	5.5
E									
kro	319	250.5	209.8	246	239	263	--	23.5	261.5
Alb	282	237	222.9	194	206.3	166	191.5	385	244
Hils	6	--	1.35	6	3.2	12	--	--	--
kru	280.9	230	175.45	132	167.1	116	211.5	423	177
Endtiefe	1315.2	1063.5		691	1001.75	801.1	753	1198	1200.3
Höhe NN	90.17	86.5	90.25	87	87.57	94	90	96	87
Kote GW-Sp.	84.6	84.5	84.5	84	83.5	87	85	87	84.5
Gesättigte Mächtigkeit am Ort der Bohrung									
- Quartär	20.4	25.5	30.25	11	6.93	0	0	0	3
- Oberkreide	319	250.5	209.8	246	239	259	--	16	261.5

Tab. 1-3 Mächtigkeit der Deckschichten in den modellierten Bohrungen (ohne Bohrungen Vechede)
(nach BGR 1988f, 1988g) und in den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (nach BfS 1990a) - Seite 1

	Schacht Konrad 1	B321 Hüttenberg 1	B320 Sauingen 2	B30 Sauingen 1	B183 Alvesse 1	B100 Uefingen 1	B166 Uefingen 2	B315 Wierthe 1	B303 Sonnenberg 4
Modell147, Anpassung an revidiertes Bohrprofil	angepasst	angepasst	angepasst	angepasst *	angepasst	angepasst	angepasst	angepasst	angepasst
Ref.	BfS (1990a)	BGR (1988g)	BGR (1988g)	BGR (1988g)	BGR (1988f)	BGR (1988f)	BGR (1988f)	BGR (1988f)	BGR (1988f)
q	3.5	1.2	0.8	1.8	30	1	17	28	26.5
E							--		
kro	225.5	146.8	226.2	278.2	--	182	243		
Alb	271	314	266	225	340	292	263	265	198.5
Hils	--	-- (1)	--	--					
kru	299.8	423	296	251.5	253	212	182	287	329
Endtiefe		1547.5	1221.8	1099.7	1376.5	1239.3	1010.7	1274.7	1176
Höhe NN	98.51	108.2	99.4	90.3	84.4	88.6	80.6	79.8	76.5
Kote GW-Sp.	87	90.5	88	84.5	77.5	77.5	80	74.5	73.7
Gesättigte Mächtigkeit am Ort der Bohrung									
- Quartär	0	0	0	0	23.1	0	16.4	22.7	23.7
- Oberkreide	217.5	130.3	215.6	274.2	--	171.9	243	--	--

(1) Verbindung zu Hils unterbrochen

Tab. 1-3 Mächtigkeit der Deckschichten in den modellierten Bohrungen (ohne Bohrungen Vechelde)
(nach BGR 1988f, 1988g) und in den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (nach BfS 1990a) - Seite 2

Bg.Nr.	106	B106	B107	B111
Bezeichnung der Bohrung	Vecheide 2	Vecheide 2a (1)	Vecheide 3	Vecheide 4
Modell147: Knotenkolonne	568	568	565	
Bemerkung	Modell oberhalb Basis kru angepasst		neu ins Modell147 aufgenommen	nicht modelliert
Ref.	BGR 1988f	BGR 1988f	BGR 1988f	BGR 1988f
q	30	30	30	32
kro	--	--	--	
Alb	--	--	187	128
kru	508	508	388	432
jo	416	402	352	371
ox	171	245	163	162
Dogger	505 (2)	541	422	581
Cornbrash-Sst	--		52 (4)	--
Lias	117	73	236 (5)	79
Rhaet	18	46 (3)	33.4 (6)	--
Keuper	35	83		31.8
Muschelkalk	80			
Endtiefe	3590	2482	1863	1816
Hoehe NN [18]	75	75	71.3	74.5
Kote GW-Sp. [22]	72	72	71.3	72
Gesaettigte Maechtigkeit q am Ort der Bohrung (1)	27	27	30	29.5

BEMERKUNGEN

- (1) Bis 538 wie Vecheide 2
- (2) Ab Basis Bajocian Bohrprofil nicht revidiert
- (3) Davon 7 m Sandstein
- (4) Unterbathonian mit Cornbrash-Sandstein
- (5) Unterer Dogger und Lias
- (6) Davon 11 m Sandstein

Tab. 1-4 Schichtmaechtigkeiten in den Bohrungen Vecheide 2, 2a, 3 und 4

B315
BOHRUNG WIERTHE 1

B303
BOHRUNG SONNENBERG 4

TK 3728 Braunschweig-West
 Koord. R 35 95 115
 H 57 89 635
 Höhe +79,80 mNN
 Endtiefe 1274,70 m
 Revision 9/1988

3728 Braunschweig West
 R 35 95 180
 R 57 91 1800
 +76,50 mNN
 1176,00 m
 9/1988

revidierte Stratigraphie nach BGR (1988b)

- 28,0 m Quartär*	- 26,5 m Quartär*
-----	-----
- 88,0 m Oberalb	- 73,0 m Mittelalb
- 164,0 m Mittelalb	- 225,0 m Unteralb
- 293,0 m Unteralb	-----
-----	- 253,0 m Oberapt
- 310,0 m Oberapt	-----
-----	- 278,0 m Mittelapt
- 333,5 m Mittelapt	-----
- 339,0 m Unterapt	- 292,0 m Unterapt
-----	-----
- 360,0 m Oberbarrême	- 310,0 m Oberbarrême
-----	-----
- 447,0 m Mittelbarrême	- 408,0 m Mittelbarrême
- 472,0 m Unterbarrême	- 437,0 m Unterbarrême
-----	-----
- 541,0 m Oberhauterive	- 522,0 m Oberhauterive
- 580,0 m Unterhauterive	- 554,0 m Unterhauterive
-----	-----
- Unterkreide-Transgression --	- Unterkreide-Transgression --
-----	-----
- 605,0 m Serpulit	

- 648,0 m Oberer Münder Mergel mit Serpelkalk	- 564,0 m Serpulit
- 838,0 m Mittlerer Münder Mergel	-----
-----	- 606,0 m Oberer Münder Mergel
Unterer Münder Mergel und	- 750,0 m Mittlerer Münder Mergel
-----	Unterer Münder Mergel
- 899,0 m Gigas-Schichten	bis
-----	- 800,0 m Gigas-Schichten

Tabelle 1-5

Revidierte Bohrprofile Wierthe 1 und
 Sonnenberg 4

A. NICHT MODELLIERTE BOHRUNGEN		Sonnen- berg 2	Sonnen- berg 1	Sonnen- berg 3	Dens- torf 1	Glei- dingen 1	Wedtlen- stedt 1
OXFORD-KIMMERIDGE							
Distanz (in S-N-Richtung) ab Nord- rand Grubengebäude	km	4.8	5.6	5.8	7.5	8.2	9.0
UNTERKREIDE-ALB							
Mächtigkeit kru [1]	m	230	259	--	283	248	300
Mächtigkeit Alb	m	315	346	--	377	354	360
Gesamtmächtigkeit Alb+kru	m	545	605	322	660	602	660
Verhältnis Mächtigkeit Alb/kru	m	1.37	1.34	--	1.33	1.43	1.20
Axiale Transmissivität [2]							
- Unterkreide	E-9 m3/s	4.7	4.2	3.2	2.6	3.1	4.7
- Alb	E-9 m3/s	6.3	3.4	2.8	3.2	2.2	3.4
OBERKREIDE-QUARTÄR							
Mächtigkeit kro	m	148	80	184	23	80	--
Gesättigte Mächtigkeit q [3]	m	39	30	8	20	26	30

B. WEITER SÜDLICH LIEGENDE BOHRREIHE		Alvesse 1	Üfingen 1	Üfingen 2
OXFORD-KIMMERIDGE				
Distanz (in S-N-Richtung) ab Nord- rand Grubengebäude	km	3.3	2.6	2.7
UNTERKREIDE-ALB				
Mächtigkeit kru [1]	m	244	212	182
Mächtigkeit Alb	m	349	292	263
Gesamtmächtigkeit Alb+kru	m	593	504	445
Verhältnis Mächtigkeit Alb/kru	m	1.43	1.38	1.45
Axiale Transmissivität [5]				
- Unterkreide	E-9 m3/s	5	7	4
- Alb	E-9 m3/s	4	3	3
OBERKREIDE-QUARTÄR				
Mächtigkeit kro	m	--	182	243
Gesättigte Mächtigkeit q [3], [4]	m	33	-10	15

BEMERKUNGEN

- [1] Mächtigkeitsangaben kru, Alb und kro nach WITKE (1991)
 [2] Maximale axiale Transmissivität der Fälle B und C von WITKE (1991)
 [3] Gesättigte Mächtigkeit am Ort der Bohrung. Dieser Wert ist als erste Näherung zu betrachten. Für die Ausbreitungsrechnungen wird die Quartär-mächtigkeit an der Austrittsstelle in Quartär berücksichtigt.
 [4] Negativer Wert: Grundwasserspiegel unterhalb Basis q
 [5] Axiale Transmissivität im Rechenfall R47 (nach WITKE 1991)

Tab. 1-6 Quartär, Oberkreide und Deckschichten Alb/Unterkreide der nicht modellierten relevanten Bohrungen

Rechenfälle			R34	R35	R38	R47	
Bezeichnung der Fälle			(3)	(4)			
1. DURCHLAESSIGKEITEN							
K- Klasse bez.	Kurz- bezeichnung		Effektive Porosität, [%]	Durchlässigkeit [m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
10	q	Quartär	25	1E-5	x	x	x
20	t	Tertiär	25	1E-7	x	x	x
30	E	Emscher Mergel	20	1E-8	x	x	x
40	kro-N	Plänerkalke, Nordabschnitt	5	1E-6	x	x	x
140	kro-S	Plänerkalke, Südabschnitt	5	1E-7	x	x	x
50	alb	Alb	10	1E-12	x	x	x
60	H1	Hilssandstein	25	1E-5	x	x	x
70	kru	Hauterive, Barreme, Apt (= Unterkreide)	10	1E-11	x	x	x
80	jo	Münder Mergel, Kimmeridge, Wealden (= Oberjura)	10	5E-9	x	x	x
90	ox	Oxford	2	1E-8	x	x	x
160		Grubengebäude	10	1E-4	x	x	x
200	D	Doggeronsteine	10	1E-10, 1E-12 (2)	x	x	x
100	C-N	Cornbrash-Sandstein, Nordabschnitt	5	1E-6	x	x	x
130	C-S	Cornbrash-Sandstein, Südabschnitt	5	1E-7	x	x	x
400	L	Liasonsteine	10	1E-10, 1E-12 (2)	x	x	x
110	ko	Rhät	20	1E-7	x	x	x
600	K	Keupertonsteine	10	1E-10, 1E-12 (2)	x	x	x
120	mo	Oberer Muschelkalk	2	1E-7	x	x	x
170	Z	Salzstöcke	10	1E-15	x	x	x
2. MULTIPLIKATIONSFAKTOREN							
K- Index	Kurz- bezeichnung			Faktoren, um den die Durchlässigkeiten der Schicht- einheiten im Wirkungsbereich der Störungszonen ver- grössert werden (mit Ausnahme von Alb, Hilssandstein und Rhät)			
1	a	Immendorfer Stoerung		50	x	x	x
2	b(b)	Salzstockflanke Broistedt-Wendeburg-Roßsbüttel		25	x	x	x
3	b(t)	Salzstockflanke Thiede		25	x	x	x
3	b(f)	Salzstockflanke Flachstöckheim		25	x	x	x
4	c	Konrad-Graben		10	x	x	x
6	d	Störungen südlich des Konrad-Grabens		10	x	x	x
5	e	Ueberschiebung von Meine		50	x	x	x
7	#	Vergitterungszonen beiderseits des Konrad-Grabens		60	x	x	x
8	h	Störungszone Salzgitter Höhenzug		25	x	x	x
9	i,k	Störungszonen nördlich an jene des Salzgitter Höhenzuges anschliessend		25	x	x	x
K-Klasse			Effektive Porosität, [%]				
150	g	Lokale Verkarstung im obersten Oberjura	10	10	x	x	x
3. RANDBEDINGUNGEN							
Flüsse an den Seitenflächen und am Modellboden				No flow	x	x	x
Bergwasserspiegel im Salzgitter-Höhenzug				Terrainoberfläche	x	x	x
Grundwasserspiegel im übrigen Modell-Gebiet				Grundwassergleichen	x	x	x
Potential im Grubengebäude				gemäss Modellrechnung	x	x	x
Bemerkungen							
(1) x = Wert des Referenzfalles							
(2) Wenn zwei Durchlässigkeitswerte angeführt sind, so steht der erste Wert für die schichtparallele, der zweite Wert für die schichtnormale Durchlässigkeit							
(3) Referenzfall "alte Bohrungen"							
(4) Referenzfall "Schachtverschluss"							

Tab. 2-1 Parameter: Geologische Einheiten und Störungszonen, Randbedingungen

R E C H E N F A L L R47

Effektive Porosität	K-Klasse	Quer- Schnitt	K	T
[%]		[m ²]	[m/s]	[m3/s]

4. EINDIMENSIONALE ELEMENTE (Bohrungen, Strecke, Schächte)

STRECKEN

Nordstrecke	10	180	10	1E-04	1E-03
Doggerstrecke D von Schacht Konrad 2 (1)	10	190	100	1E-04	1E-02

BOHRUNGEN

vgl. Tabelle 2-2, Seite 2	10	900	-	-	5E-04
	10	901	-	-	3E-04
	10	902	-	-	2E-04
	10	903	-	-	1.5E-04
	10	904	-	-	1E-04
	10	905	-	-	9E-05
	10	906	-	-	8E-05
	10	907	-	-	7E-05
	10	908	-	-	6E-05
	10	909	-	-	5E-05
	10	910	-	-	2E-05
	10	911	-	-	4E-08
	10	912	-	-	2E-08
	10	913	-	-	7E-09
	10	914	-	-	5E-09
	10	915	-	-	4E-09
	10	916	-	-	3E-09
	10	917	-	-	2E-09
	10	918	-	-	1E-09
	10	919	-	-	5E-10
	10	920	-	-	8E-09
	10	921	-	-	9E-09

(1) Die Doggerstrecken A, B und C sind nicht modelliert. Die Doggerstrecke D wird angenähert berücksichtigt durch ein von der Basis des Grubengebäudes bis zum Cornbrash-Sandstein reichendes 1D-Element entlang dem Schacht Konrad 2

Transmissivität in m ³ /s		B81	B70	K101	B71	B79	B80	B28	B67	B321
		Hallen- dorf 1	Blecken- stedt 2	Konrad 101	Blecken- stedt 3	Broi- stedt 33	Broi- stedt 34	Blecken- stedt 4	Blecken- stedt 1	Hütten- berg 1
Quartär	q	7E-05 (5)	1E-04	2E-04	1E-04	5E-04	2E-04	1E-04	1E-04	1E-04
Oberkreide	kro	8E-05	5E-05	2E-04	8E-05	-	2E-04	5E-05	2E-09	1E-04
Alb	Alb	5E-09	2E-09	9E-05	2E-09	4E-09	7E-09	2E-09	2E-09	4E-09
Hilssandstein	Hl	5E-09	2E-09	9E-05	2E-09	-	-	-	-	4E-09
Unterkreide (1)	kru	5E-09	3E-09	5E-05	4E-09	4E-09	5E-09	4E-09	2E-05	4E-09
Oberjura (2)	jo	1E-09	5E-10	- (4)			5E-10	1E-09	5E-10	5E-10
Oxford	ox	5E-10	5E-10	5E-05			5E-10	5E-10	5E-10	5E-10
Doggertonsteine	D			8E-05			1E-09		1E-09	1E-09
Cornbrash-Sandstein	C			8E-05						

Transmissivität in m ³ /s		B320	B30	B183	B100	B166	B315	B303	B107	B106
		Sauingen 2	Sauingen 1	Alvesse 1	Uefingen 1	Uefingen 2	Wierthe 1	Sonnen- berg 4	Vecheide 3	Vecheide 2/2a
Quartär	q	6E-05	6E-05	1E-04	2E-09	7E-05	7E-05	1E-04	7E-05	2E-04
Oberkreide	kro	6E-05	6E-05	-	2E-09	5E-05	-	-	-	-
Alb	Alb	4E-09	4E-09	4E-09	3E-09	3E-09	4E-09	4E-09	9E-05	9E-09 (3)
Hilssandstein	Hl	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unterkreide (1)	kru	4E-09	4E-09	5E-09	7E-09	4E-09	4E-09	4E-09	4E-08	9E-09
Oberjura (2)	jo	5E-10	1E-09	1E-09	1E-09	5E-10	1E-09	5E-10	3E-09	1E-09
Oxford	ox	5E-10	1E-09	5E-10	1E-09	5E-10	1E-09	5E-10	7E-05	5E-10
Doggertonsteine	D								1E-09	2E-09
Cornbrash-Sandstein	C								1E-09	-
Liastonsteine	L								1E-09	1E-09
Rhät	ko								1E-09	1E-09
Keupertonsteine	K									1E-09

(1) Hauterive, Barreme, Apt

(2) Münders Mergel, Kimmeridge, Wealden

(3) Im Modell 147 2 m Alb

(4) In Bohrung B.4 m jo

(5) Transmissivität in m³/s

Tabelle 2-2

Parameter: Eindimensionale Elemente
(Bohrungen und Strecken) - Seite 2

Geologische Einheit	Por. (%)	k_f (m/s)		T (m ³ /s)
		AZ	Verf.	total
	R35, R47			
q	10	10^{-4}	10^{-4}	$2,3 \cdot 10^{-2}$
kro	10	10^{-4}	10^{-4}	$2,3 \cdot 10^{-2}$
Alb	10	10^{-8}	10^{-8}	$2,3 \cdot 10^{-6}$
H1	10	10^{-8}	10^{-8}	$2,3 \cdot 10^{-6}$
kru	10	10^{-8}	10^{-8}	$2,3 \cdot 10^{-6}$
jo	10	10^{-4}	10^{-4}	$2,3 \cdot 10^{-2}$
ox	10	10^{-4}	10^{-4}	$2,3 \cdot 10^{-2}$

Porositäten, Durchlässigkeiten k_f [m/s] der Auflockerungszone und der Schachtverfüllung und Transmissivitäten T [m³/s] der 1D-Schachtelemente. Verschlussvariante 4: Grenze Asphalt/Ton bei Top Alb, Haufwerk in ox und jo.

Tabelle 2-3 Parameter: Eindimensionale Elemente (Schächte)

Schichteinheit	A l b			U n t e r k r e i d e			D o g g e r			L i a s, K e u p e r	
Rechenfall	R34	R47		R34	R47		R34	R47		R34	R47
	T (1)	T	R47/R34	T	T	R47/R34	T	T	R47/R34	T	T
Bohrungen:											
81	4E-07	5E-09	0.0125		5E-09						
- oberer Teil				4E-07		0.0125					
- unterer Teil				6E-10		8.33					
70	6E-10	2E-09	3.3	6E-10	3E-09	5					
K101	4E-10	9E-05	2.25E+05	4E-10	5E-05	1.25E+05	4E-10	8E-05	2E+05		
71	2E-08	2E-09	0.1	6E-10	4E-09	6.67					
79	3E-07	4E-09	0.013	3E-07	4E-09	0.013					
80	4E-07	7E-09	0.0175		5E-09		6E-10	1E-09	1.67		
- oberer Teil				4E-07		0.0125					
- unterer Teil				6E-10		8.33					
28	4E-07	2E-09	0.005		4E-09						
- oberer Teil				4E-07		0.01					
- unterer Teil				6E-10		6.67					
67	3E-07	2E-09	0.0067	3E-07	2E-05	66.667	6E-10	1E-09	1.67		
321	4E-07	4E-09	0.01	4E-07	4E-09	0.010	6E-10	1E-09	1.67		
320	4E-07	4E-09	0.01		4E-09						
- oberer Teil				4E-07		0.01					
- unterer Teil				6E-10		6.67					
30	4E-07	4E-09	0.01		4E-09						
- oberer Teil				4E-07		0.01					
- unterer Teil				6E-10		6.67					
183	4E-07	4E-09	0.01	4E-07	5E-09	0.013					
100	8E-07	3E-09	0.00375	8E-07	7E-09	0.009					
166	4E-07	3E-09	0.0075	6E-10	4E-09	6.667					
315	-	4E-09		-	4E-09	-					
303	-	4E-09		-	4E-09	-					
106-107-111	2E-06			2E-06			4E-09			4E-09	
106	-	9E-09	(4)	-	9E-09	0.0045 (3)	2E-09	0.5 (3)		1E-09	
107	-	9E-05	45 (3)	-	4E-08	0.02 (3)	1E-09	0.25 (3)		1E-09 (2)	

(1) Transmissivität [T] = m³/s

(2) nur Lias

(3) Vergleich mit der Gesamttransmissivität Vechelde 2/2a-3-4 in R34

(4) Alb fehlt im revidierten Bohrprofil B106; im Modell147 aus topologischen Gründen 2 m Alb

Tab. 2-4 Rechenfälle R34 und R47: Axiale Transmissivitäten [m³/s] der Bohrungen und Verhältnis der T-Werte R47/R34 in den Aquitarden Alb, Unterkreide, Dogger, Lias und Keuper

Rechenfall	Durchfluss durch das Grubengebäude		Fehlermass	davon Fluss durch:						
	l/min	m ³ /a		%	Nordstrecke l/min	Doggerstrecke l/min	Schacht K1 l/min	Schacht K2 l/min	Bohrung 81 l/min	Bohrung 28 l/min
REFERENZFAELLE OHNE SCHÄCHTE:										
R16	1,4	740	7	-0,04	0,43	--	--	--	--	--
R34	1,2	630	3	-0,03	0,23	--	--	--	--	--
VERSCHLUSSVARIANTE 4:										
R35	1,22	640	2	-0,03	0,23	-0,13	0,01	--	--	--
R47	1,46	770	14	-0,03	0,77	-0,12	0,01	0,015	0,002	0,000

+ Zufluss, - Abfluss

Tabelle 3-1 Durchflüsse durch das Grubengebäude inkl. Flüsse entlang Schächten und Strecken

Schichteinheit	A l b		Unterkreide		D o g g e r		L i a s	Keuper
	R34	R47	R34	R47	R34	R47	R47	R47
Bohrungen:								
81	1.7	0.021	-0.002	-0.018				
70	0.002	0.007	-2E-04	-0.003				
K101	0.001	320	-7E-05	-46.7	-1E-05	0.94		
71	0.9	0.005	0.001	-				
79	0.9	0.010	-0.072	-3E-04				
80	1.0	0.019	-0.2	-0.003	1E-04	3E-04		
28	0.5	0.008	0.001	-0.005				
67	0.7	0.005	0.065	0.27	1E-05	1E-04		
321	1.1	0.012	-0.3	-0.006		5E-04		
320	0.7	0.007	0.069	0.001				
30	0.9	0.011	-0.021	-7E-04				
183	0.8	0.008	0.3	0.001				
100	1.7	0.007	0.5	0.002				
166	0.9	0.007	4E-04	0.001				
315	-	0.010	-	8E-04				
303	-	0.012	-	0.001				
106-107-111	33.7	-	1.3	-				
106	-	-	-	0.010	-7E-04	0.001	0.003	
107	-	3.78	-	0.07	-6E-04	0.002		

BEMERKUNGEN

+ aufwärtsgerichtete Flüsse

- abwärtsgerichtete Flüsse

Flüsse in m³/a

1 l/min = 525 m³/a, 1000 m³/a = 1.9 l/min

Tab. 3-2 Rechenfälle R34 und R47; Flüsse entlang den Bohrungen (Schichtmitte) in m³/a

Rechenfall	kro	Alb	kru	jo	ox
VERSCHLUSSVARIANTE 1					
SCHACHT K1					
R35	-2,81	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$	0,12
R47 *	-0,29 *	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$	0,11
SCHACHT K2					
R35	$-2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$-6,0 \cdot 10^{-3}$	$-1,3 \cdot 10^{-2}$	$-1,0 \cdot 10^{-2}$
R47	$-2,9 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$-8,7 \cdot 10^{-3}$	$-1,0 \cdot 10^{-2}$	$-8,5 \cdot 10^{-3}$

- + aufwärtsgerichteter Fluss
- abwärtsgerichteter Fluss

* Anpassung Schacht K1 an revidiertes Profil

Tabelle 3-3 Wasserflüsse (l/min) entlang den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (in Schichtmitte)

Bereich des x-Abstandes zur Bohrung	Trajektorie Nr. [1]	Schicht, in der die Trajektorie auf der Höhe der Bohrung verläuft	x-Abstand der Trajektorie zur Bohrung m [2]	Fliesszeit ab Austritt aus Grubengebäude, a Porositäten im Oxford und Kimmeridge: 0,1 %
0- 100 m	18Top	jo	- 14	2133
100- 200 m	13Top	jo	- 181	902
200- 300 m	32Mid	jo	- 282	1146
300- 400 m	8Top [3]	jo	- 351	593
400- 500 m	17Top	jo	- 466	664
500- 600 m	22Top	jo	- 525	380
600- 700 m	--	jo	--	--
700- 800 m	11Mid	jo	- 739	381
800- 900 m	106Top	jo	- 880	394
900-1000 m	6Top	jo	- 988	738
1000-1200 m	--	jo	--	--
1200-1300 m	62Mid	jo	-1219	1654
1300-1400 m	--	jo	--	--
1400-1500 m	9Top	jo	-1467	1097
1500-1600 m	5Top	jo	-1533	487
1600-1700 m	14Mid	jo	-1604	744

[1] Top, Mid, Bot = obere, mittlere und untere Startschicht der Trajektorien

[2] - westlich der Bohrung, + östlich der Bohrung

[3] Schnellster Kimmeridge-Fliessweg (= festgehaltene Fliesszeit)

Tab. 4-1 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Sauingen 1

Bereich des x-Abstandes zur Bohrung	Trajektorie Nr. [1]	Schicht, in der die Trajektorie auf der Höhe der Bohrung verläuft	x-Abstand der Trajektorie zur Bohrung m [2]	Fliesszeit ab Austritt aus Grubengebäude, a Porositäten im Oxford und Kimmeridge: 0,1 %
0- 100 m	18Top	jo	+ 3	8919
100- 200 m	--	-- [3]	--	--
200- 300 m	13Top	jo	- 248	7235
300- 400 m	8Mid [4]	jo	- 350	6640
400- 500 m	27Mid	jo	- 448	7462
500- 600 m	42Mid	jo	- 564	6460
600- 700 m	32Mid	jo	- 631	6946
700- 800 m	12Top	jo	- 836	6573
800- 900 m	--	--	--	--
900-1000 m	--	--	--	--
1000-1100 m	--	--	--	--
1100-1200 m	17Top	jo	-1181	6038
1200-1300 m	22Top	jo	-1270	5729
1300-1400 m	--	--	--	--
1400-1500 m	104Top	jo Störungszone	-1441	2131
1500-1600 m	9Bot	jo Störungszone	-1531	1745
1600-1700 m	47Bot	jo Störungszone	-1631	1679

[1] Top, Mid, Bot = obere, mittlere und untere Startschicht der Trajektorien

[2] - westlich der Bohrung, + östlich der Bohrung

[3] Nur Oxford-Fliesswege

[4] Schnellster Kimmeridge-Fliessweg (= festgehaltene Fliesszeit)

Tab. 4-2 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Üfingen 1

Bereich des x-Abstandes zur Bohrung	Trajektorie Nr. [1]	Schicht, in der die Trajektorie auf der Höhe der Bohrung verläuft	x-Abstand der Trajektorie zur Bohrung m [2]	Fliesszeit ab Austritt aus Grubengebäude, a Porositäten im Oxford und Kimmeridge: 0,1 %
0- 100 m	--	-- [4]	--	--
100- 200 m	--	-- [3]	--	--
200- 300 m	--	-- [3]	--	--
300- 400 m	66Mid [5]	jo	- 317	11500
400- 500 m	43Bot	jo	- 405	11710

- [1] Top, Mid, Bot = obere, mittlere und untere Startschicht der Trajektorien
[2] - westlich der Bohrung, + östlich der Bohrung
[3] Nur Oxford-Fliesswege
[4] Weder Kimmeridge- noch Oxford-Fliesswege
[5] Schnellster Kimmeridge-Fliessweg (= festgehaltene Fliesszeit)

Tab. 4-3 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographischen Breite der Bohrung Üfingen 2

Bereich des x-Abstandes zur Bohrung	Trajektorie Nr. [1]	Schicht, in der die Trajektorie auf der Höhe der Bohrung verläuft	x-Abstand der Trajektorie zur Bohrung m [2]	Fliesszeit ab Austritt aus Grubengebäude, a Porositäten im Oxford und Kimmeridge: 0,1 %
0- 100 m	9Top [5]	jo	- 46	3343
100- 200 m	--	-- [3]	--	--
200- 300 m	--	-- [3]	--	--
300- 400 m	8Top	jo [4]	+ 326	33810
400- 500 m	32Mid	jo [4]	+ 425	34420
500- 600 m	42Mid	jo	+ 516	33730
600- 700 m	--	--	--	--
700- 800 m	27Mid	jo	+ 700	34490
800- 900 m	--	--	--	--
900-1000 m	13Top	jo	+ 959	34130
1000-1200 m	--	--	--	--
1200-1300 m	18Top	jo	+1278	35620
1300-1400 m	27Top	jo	+1395	36940
1400-2000 m	--	--	--	--
> 2000 m	--	--	--	--

[1] Top, Mid, Bot = obere, mittlere und untere Startschicht der Trajektorien

[2] - westlich der Bohrung, + östlich der Bohrung

[3] Nur Oxford-Fliesswege

[4] Verlauf ausserhalb (östlich) der Störungszone

[5] Schnellster Kimmeridge-Fliessweg (= festgehaltene Fliesszeit)

Tab. 4-4 Rechenfall R47: Kürzeste Fliesszeiten von Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Vechede 3

	Trajektorie	x-Entfernung vom Bohrloch	Distanz			Zeit		
			ox	jo	gesamt	ox	jo	gesamt
		[m]	[m]			[a]		
Sauingen 1	8Top	-351	43	419	462	40	553	593
Üfingen 1	8Mid	-350	608	2094	2702	374	6266	6640
Üfingen 2	66Mid	-317	578	2993	3571	1763	9739	11500
Vechelde 3	9Top	- 46	59	9563	9622	66	3277	3343

Tab. 4-5 Rechenfall R47: Fliesszeit und -weg der schnellsten Kimmeridge-Trajektorien ab Ausgang Grubengebäude bis auf die geographische Breite der Bohrungen Sauingen 1, Üfingen 1, Üfingen 2 und Vechelde 3

B67	B321	B320	B30	B183	B100	B166	B315	B303	B106	B107
Blecken- stedt 1	Hütten- berg 1	Sauingen 2	Sauingen 1	Alvesse 1	Üfingen 1	Üfingen 2	Wierthe 1	Sonnen- berg 4	Vechelde 2/2a	Vechelde 3

VERHÄLTNISSE IN BOHRUNG

Kote Terrainoberfläche	[mNN]	87	108.2	99.4	90.3	84.4	88.6	80.6	79.8	76.5	75	71.3
GW-Spiegel, Kote nach GW-Karte	[mNN]	84.5	90.5	88	84.5	77.5	77.5	80.0	74.5	73.7	72.0	71.3
Quartär, gesamte Mächtigkeit	[m]	5.5	1.2	0.8	1.8	30	1	17.0	28	26.5	30.0	30.0
Quartär, gesättigte Mächtigkeit (1)	[m]	3	-16.5	-10.6	-4	23.1	-10.1	16.4	22.7	23.7	27	30
Oberkreide, Mächtigkeit in Bohrung	[m]	261.5	146.8	226.2	278.2	-	182	243	265	198.5	-	-
Oberkreide, gesättigte Mächtigkeit	[m]	261.5	130.3	215.6	274.2	-	172	243	265	198.5	-	-
Fliessdistanz bis Austritt aus Oberkreide (2)	[m]	523	261	431	548	-	344	486	459	397	-	-

ORT DES AUSTRITTES AUS OBERKREIDE BZW. ALB

Quartärmächtigkeit	[m]	> 5-10	0	> 10	23-25	1	> 10	> 40	> 30	> 25	30
Gradient	[m/km]				1.3-1.7	1	1 - 8.3			< 1.7	1
Festgehaltene Werte:											
Quartärmächtigkeit	[m]	8	1	10	10	1	10	40	30	25	30
Gradient	[m/m]	0.003	0.003	0.003	0.0015	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Bemerkungen

- (1) Negative Werte: Lage des Grundwasserspiegels unterhalb Basis kro
(2) Annahme eines mit 30° ansteigenden Fliessweges in der Oberkreide

Tabelle 4-6 Eigenschaften des Fliessweges Oberkreide-Quartär in den in der Entscheidungsmatrix aufgeführten Bohrungen

		B67		B321	B320	B30
		Bleckenstedt 1		Hüttenberg 1	Sauingen 2	Sauingen 1
		Grundfall	Variante			
OXFORD-KIMMERIDGE						
Fließporosität 0.001						
Fließzeit bis auf die geographische Breite der einzelnen Bohrungen						
- Oxford-Trajektorien	[a]	0 (2)		264	246	218
- Kimmeridge-Trajektorien (1)	[a]	0 (2)		531	487	593
UNTERKREIDE UND ALB						
Zufluss aus Kimmeridge	[l/min]	4.52E-04		Fluss	1.41E-06	2.40E-06
Abfluss aus Alb	[l/min]	9.78E-06		nach	1.43E-05	2.06E-05
Durchmesser	[m]	0.193 (3)	0.34 (4)	unten		
Fließquerschnitt	[m ²]	0.03 (3)	0.09 (4)			
Fließdistanz	[m]	170 (3)	108 (4)		562	476.5
Fließzeit	[a]	104 (3)	189 (4)		1421	559
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit	[m/a]	1.63 (3)	0.57 (4)		0.40	0.85
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	1.00			10.1	8.58
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	1.0			10	8.5
OBERKREIDE						
Mächtigkeit (unterhalb GW-Spiegel)	[m]	261.5		130.3	215.6	274.2
Fließdistanz	[m]	523			431	548
Mächtigkeit der Fahne	[m]	1			3	3
Breite der Fahne Top kro	[m]	59			48	61
Gradient in kro ausserhalb Bohrung	[-]	0.003			0.0025	0.003
Fluss	[l/min]	1.06E-03			2.16E-03	3.29E-03
Abstandsgeschw. (Fließporosität 0.0002)						
- horizontal	[m/a]	47.3			39.4	47.3
- entlang Fließweg	[m/a]	54.6			45.5	54.6
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	109			151	160
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	100			150	160
QUARTÄR						
gesättigte Mächtigkeit q am Ort des geschätzten Austrittes						
	[m]	8		1	1	10
Breite der Fahne	[m]	59				61
Gradient in q	[-]	0.003			0.0025	0.003
Fluss im Quartär	[l/min]	8.50E-01			9.72E-02	1.10E+00
	[l/d]	1224			140	1584
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	802			45.0	334
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	800			45	330
GESAMTVERDÜNNUNG						
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	87418			68630	458515
Verdünnungsfaktor (gerundet)	[-]	80000			67500	448800

Bemerkungen

- (1) Für die Ausbreitungsrechnungen sind die Kimmeridgetrajektorien massgebend
- (2) Potentiell instantaner Transport Grube-B67 durch ox/jo entlang Bohrung
- (3) Matrixdiffusion oberhalb Verrohrung (Top 458 m) und Abschnitt mit $k(f) = 1E-3$ m/s (Top = 440 m).
Massgeblicher Durchmesser = d1 oberhalb Bohrtiefe 440 m
- (4) Matrixdiffusion nur in Abschnitten ohne Verrohrung und ausserhalb Zonen mit $k(f) = 1E-3$ m/s, d.h. in den Abschnitten 267-333 m und 398-440 m. Massgeblicher Durchmesser = mittl. Durchmesser d3
- (5) Abrundung auf 2 Stellen

	B183 Alvesse 1	B100 Üfingen 1	B166 Üfingen 2	B315 Wierthe 1	B303 Sonnenberg 4	
OXFORD-KIMMERIDGE						
Fließporosität 0.001						
Fließzeit bis auf die geographische Breite der einzelnen Bohrungen						
- Oxford-Trajektorien	[a]	4865	3915	7863	1493	1619
- Kimmeridge-Trajektorien (1)	[a]	8585	6640	11500	2154	3003
Verdünnungsfaktor in Störzone entlang Salzstockrand (geschätzt)	[-]	-	-	-	5	5
UNTERKREIDE UND ALB						
Zufluss aus Kimmeridge	[l/min]	1.57E-06	3.03E-06	1.89E-06	1.16E-06	2.05E-06
Abfluss aus Alb	[l/min]	1.52E-05	1.34E-05	1.33E-05	1.94E-05	2.31E-05
Fließdistanz	[m]	593	504	445	552	527.5
Fließzeit	[a]	1204	1416	873	1644	1337
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit	[m/a]	0.49	0.36	0.51	0.34	0.39
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	9.68	4.42	7.04	16.7	11.3
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	9.6	4.4	7.0	16	11
OBERKREIDE						
Mächtigkeit (unterhalb GW-Spiegel)	[m]	0	172	243	0	0
Fließdistanz	[m]	-	344	486	-	-
Mächtigkeit der Fahne	[m]	-	5	5	-	-
Breite der Fahne Top kro	[m]	-	33	54	-	-
Gradient in kro ausserhalb Bohrung	[-]	-	0.001	0.001	-	-
Fluss	[l/min]	-	9.90E-04	1.62E-03	-	-
Abstandsgeschw. (Fließporosität 0.0002)						
- horizontal	[m/a]	-	15.8	15.8	-	-
- entlang Fließweg	[m/a]	-	18.2	18.2	-	-
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	-	73.9	122	-	-
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	-	73	120	-	-
QUARTÄR						
gesättigte Mächtigkeit q am Ort des geschätzten Austrittes	[m]	20	1	10	40	30
Breite der Fahne	[m]			54		
Gradient in q	[-]	0.0015	0.001	0.001	0.001	0.001
Fluss im Quartär	[l/min]	9.72E-02	9.72E-02	3.24E-01	9.72E-02	9.72E-02
	[l/d]	140	140	467	140	140
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	6395	98.2	200	5010	4208
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	6300	98	200	5000	4200
GESAMTVERDÜNNUNG						
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	61904	32076	171776	418335	237752
Verdünnungsfaktor (gerundet)	[-]	60480	31478	168000	400000	231000

Bemerkungen

- (1) Für die Ausbreitungsrechnungen sind die Kimmeridgetrajektorien massgebend
- (2) Potentiell instantaner Transport Grube-B67 durch ox/jo entlang Bohrung
- (3) Matrixdiffusion oberhalb Verrohrung (Top 458 m) und Abschnitt mit $k(f) = 1E-3$ m/s (Top = 440 m).
Massgeblicher Durchmesser = d1 oberhalb Bohrtiefe 440 m
- (4) Matrixdiffusion nur in Abschnitten ohne Verrohrung und ausserhalb Zonen mit $k(f) = 1E-3$ m/s, d.h. in den Abschnitten 267-333 m und 398-440 m. Massgeblicher Durchmesser = mittl. Durchmesser d3
- (5) Abrundung auf 2 Stellen

		B106 Vecheide 2/2a	B107 Vecheide 3		
				Grundfall	Variante
OXFORD-KIMMERIDGE					
Fließporosität 0.001					
Fließzeit bis auf die geographische Breite der einzelnen Bohrungen					
- Oxford-Trajektorien	[a]	1757	1792		
- Kimmeridge-Trajektorien (1)	[a]	3273	3343		
Verdünnungsfaktor in Störzone entlang Salzstockrand (geschätzt)					
	[-]	5	5		
UNTERKREIDE UND ALB					
Zufluss aus Kimmeridge	[l/min]	1.56E-05	1.03E-04		kru Alb
Abfluss aus Alb	[l/min]	9.35E-04	7.30E-03		
Durchmesser	[m]		0.27	0.4	0.28
Fließquerschnitt	[m ²]		0.06	0.13	0.06
Fließdistanz	[m]	508	575	388	187
Fließzeit	[a]	3797	36	77.8	0.3
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit	[m/a]	0.13	15.97	5.0	623
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	59.9	70.9		
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	59	70		
OBERKREIDE					
Mächtigkeit (unterhalb GW-Spiegel)	[m]	0	0		
Fließdistanz	[m]	-	-		
Mächtigkeit der Fahne	[m]	-	-		
Breite der Fahne Top kro	[m]	-	-		
Gradient in kro ausserhalb Bohrung	[-]	-	-		
Fluss	[l/min]	-	-		
Abstandsgeschw. (Fließporosität 0.0002)					
- horizontal	[m/a]	-	-		
- entlang Fließweg	[m/a]	-	-		
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	-	-		
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	-	-		
QUARTÄR					
gesättigte Mächtigkeit q am Ort des geschätzten Austrittes					
	[m]	25	30		
Breite der Fahne	[m]				
Gradient in q	[-]	0.001	0.001		
Fluss im Quartär	[l/min]	9.72E-02	9.72E-02		
	[l/d]	140	140		
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	104	13.3		
Verdünnungsfaktor (gerundet) (5)	[-]	100	13		
GESAMTVERDÜNNUNG					
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	31148	4715		
Verdünnungsfaktor (gerundet)	[-]	29500	4550		

Bemerkungen

- (1) Für die Ausbreitungsrechnungen sind die Kimmeridgetrajektorien massgebend
- (2) Potentiell instantaner Transport Grube-B67 durch ox/jo entlang Bohrung
- (3) Matrixdiffusion oberhalb Verrohrung (Top 458 m) und Abschnitt mit $k(f) = 1E-3$ m/s (Top = 440 m).
Massgeblicher Durchmesser = d1 oberhalb Bohrtiefe 440 m
- (4) Matrixdiffusion nur in Abschnitten ohne Verrohrung und ausserhalb Zonen mit $k(f) = 1E-3$ m/s, d.h. in den Abschnitten 267-333 m und 398-440 m. Massgeblicher Durchmesser = mittl. Durchmesser d3
- (5) Abrundung auf 2 Stellen

		Bleckenstedt 1		Sauingen 1
		Grundfall	Variante (4)	
OXFORD-KIMMERIDGE				
Fließporosität 0.001				
Kimmeridge-Trajektorie bis auf die geographische Breite der einzelnen Bohrungen				
- Fließzeit in ox	[a]	0 (2)		40
- Fließzeit in jo	[a]	0 (2)		553
- Fließdistanz in ox	[m]	0 (2)		43
- Fließdistanz in jo	[m]	0 (2)		419
UNTERKREIDE UND ALB				
Zufluss aus Kimmeridge	[l/min]	4.52E-04		2.40E-06
Abfluss aus Alb	[l/min]	9.78E-06		2.06E-05
Fließdistanz	[m]	170 (3)	108 (4)	476.5
Durchmesser	[m]	0.193 (3)	0.34 (4)	0.219
Fließquerschnitt	[m ²]	0.03 (3)	0.09 (4)	0.04
Fließzeit	[a]	104 (3)	189 (4)	559
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit	[m/a]	1.63 (3)	0.57 (4)	0.85
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	1		8.58
Verdünnungsfaktor (gerundet) (1)	[-]	1		8.5
OBERKREIDE				
Mächtigkeit (unterhalb GW-Spiegel)	[m]	261.5		274.2
Fließdistanz	[m]	520		540
Mächtigkeit der Fahne	[m]	1		3
Breite der Fahne Top kro	[m]	59		61
Gradient in kro ausserhalb Bohrung	[-]	0.003		0.003
Fluss	[l/min]	1.06E-03		3.29E-03
Abstandsgeschw. (Fließpor. 0.0002)	[-]			
- horizontal	[m/a]	47.3		47.3
- entlang Fließweg	[m/a]	54.6		54.6
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	109		160
Verdünnungsfaktor (gerundet) (1)	[-]	100		160
QUARTÄR				
gesättigte Mächtigkeit q am Ort des geschätzten Austrittes	[m]	8		10
Breite der Fahne	[m]	59		61
Gradient im Quartär	[-]	0.003		0.003
Fluss im Quartär	[l/min]	8.50E-01		1.10E+00
	[l/d]	1224		1584
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	802		334
Verdünnungsfaktor (gerundet) (1)	[-]	800		330
GESAMTVERDÜNNUNG				
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	87418		458515
Verdünnungsfaktor (gerundet)	[-]	80000		448800

Bemerkungen

- (1) Abrundung auf 2 Stellen
- (2) Potentiell instantaner Transport Grube-B67 durch ox/jo entlang Bohrung
- (3) Matrixdiffusion oberhalb Verrohrung (Top 458) und Abschnitt mit $k(f) = 1E-3$ m/s (Top = 440 m). Massgeblicher Durchmesser = d1 oberhalb Bohrtiefe 440 m
- (4) Matrixdiffusion nur in den Abschnitten 267-333 m und 398-440 m.
- (5) Variation Fließquerschnitt

	Bg.	Grundfall	Variante		
OXFORD-KIMMERIDGE					
Fließporosität 0.001					
Kimmeridge-Trajektorie bis auf die geographische Breite der einzelnen Bohrungen					
- Fließzeit in ox	[a]	374	Üf.1	66	
- Fließzeit in jo	[a]	6266	Üf.1	3277	
- Fließdistanz in ox	[m]	608	Üf.1	59	
- Fließdistanz in jo	[m]	2094	Üf.1	9563	
Verdünnungsfaktor in Störungszone entlang Salzstockrand (geschätzt)	[-]	-		5	
UNTERKREIDE UND ALB					
Zufluss aus Kimmeridge	[l/min]	3.03E-06	Üf.1	1.03E-04	kru Alb
Abfluss aus Alb	[l/min]	1.34E-05	Üf.1	7.30E-03	
Fließdistanz	[m]	445	Üf.2	575	388 187
Durchmesser	[m]	0.311	Üf.1	0.27	0.4 0.28
Fließquerschnitt	[m ²]	0.08	Üf.1	0.06	0.13 0.06
Fließzeit	[a]	873	Üf.2	36	77.8 0.3
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit	[m/a]	0.51		15.97	5.0 623
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	4.42		70.9	
Verdünnungsfaktor (gerundet) (1)	[-]	4.4		70	
OBERKREIDE					
Mächtigkeit (unterhalb GW-Spiegel)	[m]	172	Üf. 1	0	
Fließdistanz	[m]	340	Üf. 1	-	
Mächtigkeit der Fahne	[m]	5	Üf. 1	-	
Breite der Fahne Top kro	[m]	33	Üf. 1	-	
Gradient in kro ausserhalb Bohrung	[-]	0.001	Üf. 1	-	
Fluss	[l/min]	9.90E-04	Üf. 1	-	
Abstandsgeschw. (Fließpor. 0.0002)					
- horizontal	[m/a]	15.8	Üf. 1	-	
- entlang Fließweg	[m/a]	18.2	Üf. 1	-	
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	73.9	Üf. 1	-	
Verdünnungsfaktor (gerundet) (1)	[-]	73	Üf. 1	-	
QUARTÄR					
gesättigte Mächtigkeit q am Ort des geschätzten Austrittes	[m]	1	Üf. 1	30	
Breite der Fahne	[m]				
Gradient im Quartär	[-]	0.001	Üf. 1	0.001	
Fluss im Quartär	[l/min]	9.72E-02		9.72E-02	
	[l/d]	140		140	
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	98.2	Üf. 1	13.3	
Verdünnungsfaktor (gerundet) (1)	[-]	98	Üf. 1	13	
GESAMTVERDÜNNUNG					
Verdünnungsfaktor (ohne Rundung)	[-]	32076		4715	
Verdünnungsfaktor (gerundet)	[-]	31478		4550	

- (1) Abrundung auf 2 Stellen
- (2) Potentiell instantaner Transport Grube-B67 durch ox/jo entlang Bohrung
- (3) Matrixdiffusion oberhalb Verrohrung (Top 458) und Abschnitt mit $k(f) = 1E-3$ m/s (Top = 440 m). Massgeblicher Durchmesser = d1 oberhalb Bohrtiefe 440 m
- (4) Matrixdiffusion nur in den Abschnitten 267-333 m und 398-440 m.
- (5) Variation Fließquerschnitt

	Oxford	Kimmeridge	Unterkreide und Alb	Oberkreide
Gesteinsdichte [kg/m ³]	2600	2600	2600	2600
Kluftweite [mm]	1	1	--	0,02
Kluftabstand [m]	1	1	--	0,1
Matrixtiefe [m]	0,5	0,5	250 *	0,05
Fliessporosität [-]	0,001	0,001	0,1	0,0002
Fliessporosität Bohrlochverfüllung [-]	0,1	0,1	0,1	0,1
Matrixporosität [-]	0,1	0,1	0,15	0,1
Porendiffusivität [m ² /s]	2·10 ⁻¹⁰	2·10 ⁻¹⁰	2·10 ⁻¹⁰	2·10 ⁻¹⁰
Effektive Diffusivität [m ² /s]	2·10 ⁻¹¹	2·10 ⁻¹¹	3·10 ⁻¹¹	2·10 ⁻¹¹
Peclet-Zahl (Längsdispersion) [-]	10	10	20	10

* Begrenzung erforderlich aus numerischen Gründen

Tab. 4-12 Rechenfall R47: Parameter der Transportrechnungen für die angenommenen Fließwege

Schicht	Nuklid	Bleckenstedt 1		Sauingen 1	Üfingen 1 und 2 (synth.)	Vechelde 3	
		Grundfall	Variante			Grundf.	Variante
Grubengebäude	Durchfluss	770 m ³ /a					
	I-129	8.718E+5					
	U-238	6.386E+4					
Oxford	I-129	-	-	2.079E+5	2.749E+4	1.396E+5	1.396E+5
	U-238	-	-	8.993E+3	1.056E+3	5.714E+3	5.714E+3
Kimmeridge	I-129	-	-	1.849E+4	1.580E+3	6.160E+2	6.160E+2
	U-238	-	-	8.170E+2	7.094E+1	2.737E+1	2.737E+1
Unterkreide/Alb	I-129	5.044E-5	2.610E-3	4.196E-16	2.134E-13	3.167E-2	1.602E-2
	U-238	4.629E-7	2.396E-5	<1.0E-20	5.026E-16	8.339E-4	3.903E-4
Oberkreide	I-129	5.043E-7	2.600E-5	<1.0E-20	2.716E-15	-	-
	U-238	4.628E-9	2.395E-7	<1.0E-20	6.872E-18	-	-
Quartär	I-129	6.304E-10	3.250E-8	<1.0E-20	2.771E-17	2.436E-3	1.232E-3
	U-238	5.785E-12	2.994E-10	<1.0E-20	7.012E-20	6.415E-5	3.002E-5

Tab. 6-1 Rechenfall R47: Maximale Aktivitätskonzentrationen [Bq/m³] an ausgewählten Punkten der Ausbreitungswege entlang den Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3

Schicht	Nuklid	Bleckenstedt 1		Sauingen 1	Üfingen 1 und 2 (synth.)	Vechelde 3	
		Grundfall	Variante			Grundfall	Variante
Grubengebäude	Durchfluss	770 m ³ /a					
	I-129	3.63E+1					
	U-238	6.46E+2					
Oxford	I-129	-	-	4.00E+3	3.00E+4	6.25E+3	6.25E+3
	U-238	-	-	2.50E+5	2.00E+6	4.00E+5	4.00E+5
Kimmeridge	I-129	-	-	4.75E+4	5.25E+5	2.50E+5	2.50E+5
	U-238	-	-	3.00E+6	3.25E+7	1.50E+7	1.50E+7
Unterkreide/Alb	I-129	2.00E+4	1.50E+4	1.75E+8	1.00E+8	3.25E+5	3.50E+5
	U-238	5.25E+6	4.50E+6	1.0E+10	>1.0E+10	2.25E+7	2.25E+7
Oberkreide	I-129	2.00E+4	2.00E+4	>1.75E+8	1.00E+8	-	-
	U-238	5.25E+6	4.75E+6	>1.0E+10	>1.0E+10	-	-
Quartär	I-129	2.00E+4	2.00E+4	>1.75E+8	1.00E+8	3.25E+5	3.50E+5
	U-238	5.25E+6	4.75E+6	>1.0E+10	>1.0E+10	2.25E+7	2.25E+7

Tab. 6-2 Rechenfall R47: Zeitpunkt [a] der maximalen Aktivitätskonzentrationen an ausgewählten Punkten der Ausbreitungswege entlang den Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauingen 1, Üfingen 1/2 und Vechelde 3

r47g.xyz q.el bohr.topo 90/90

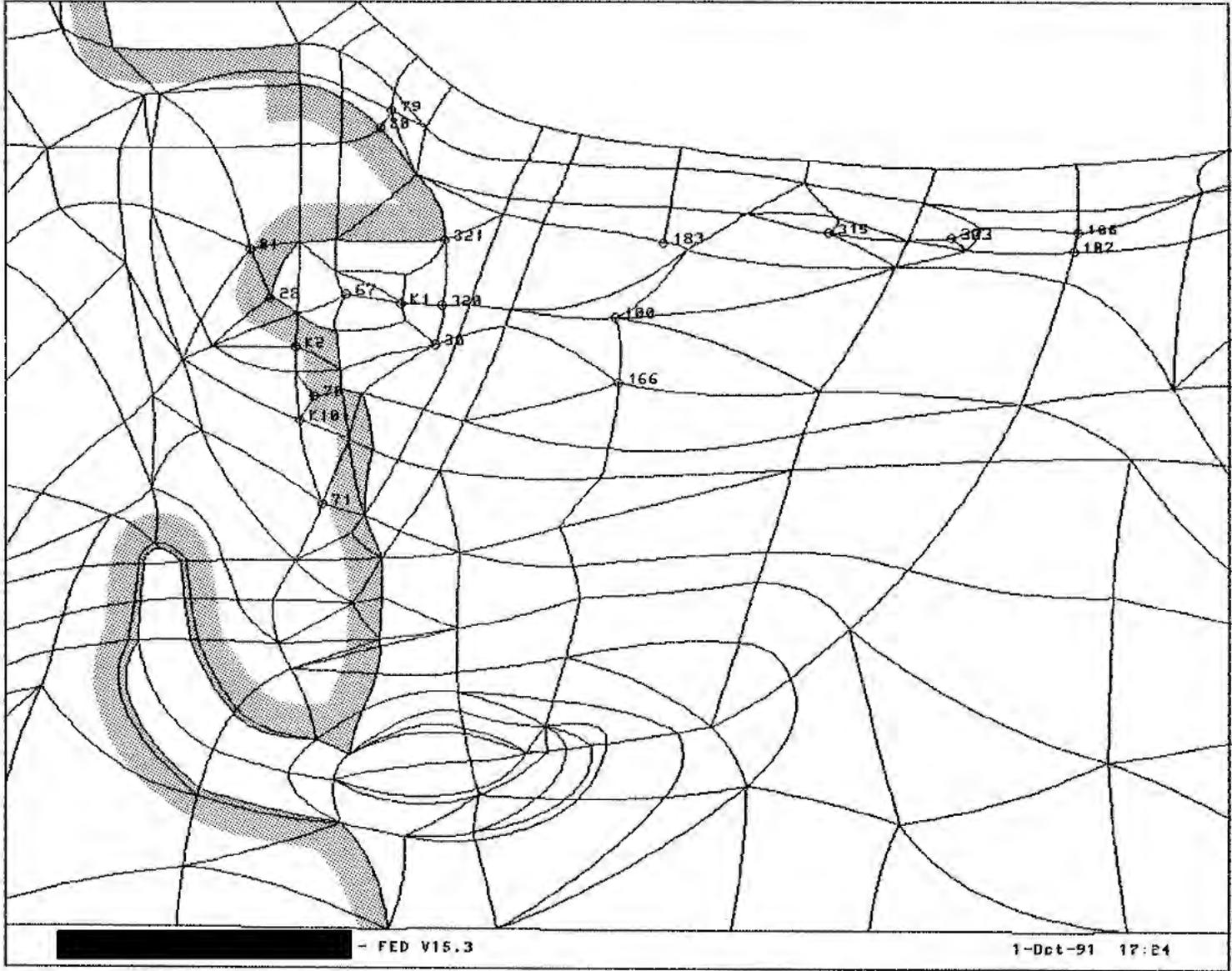
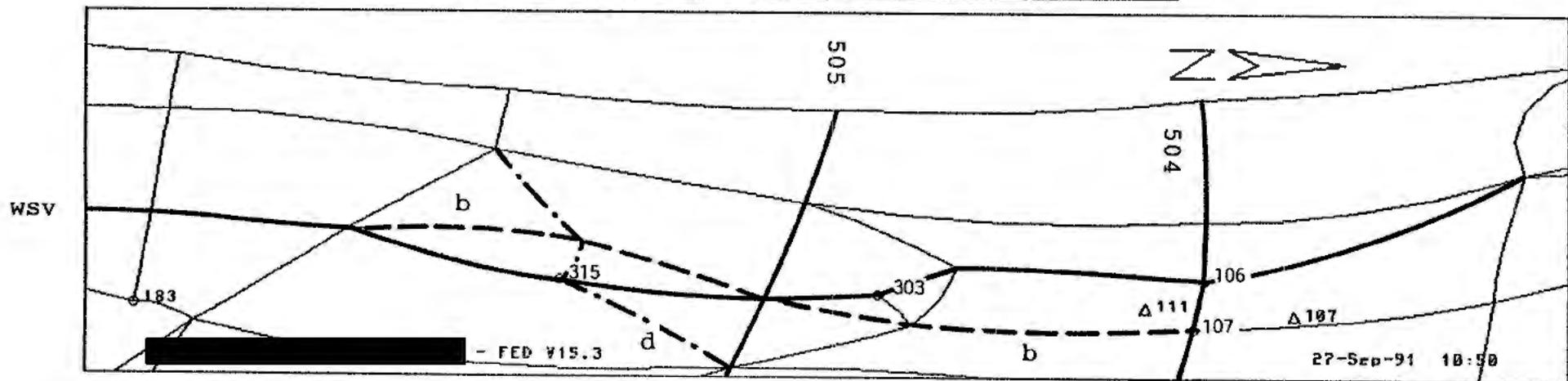


Abb. 1-2

Rechenfall R47 (Modell147): Oberflächen-Elementnetz mit Verbreitungsgrenze des Hilssandstein und modellierten Bohrungen und Schächten

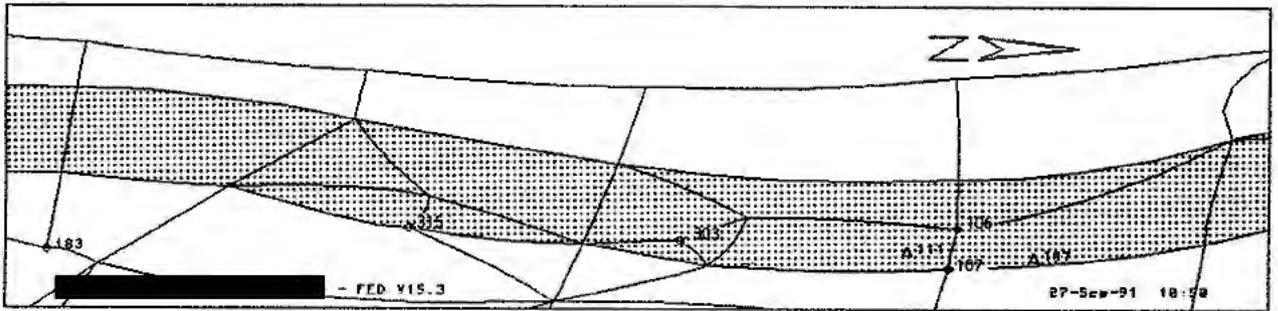
r47g.xyz q.el r47_bohr.topo 90/90

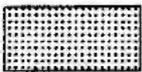


— Schnitt, siehe Abb. 1-5 bis 1-10

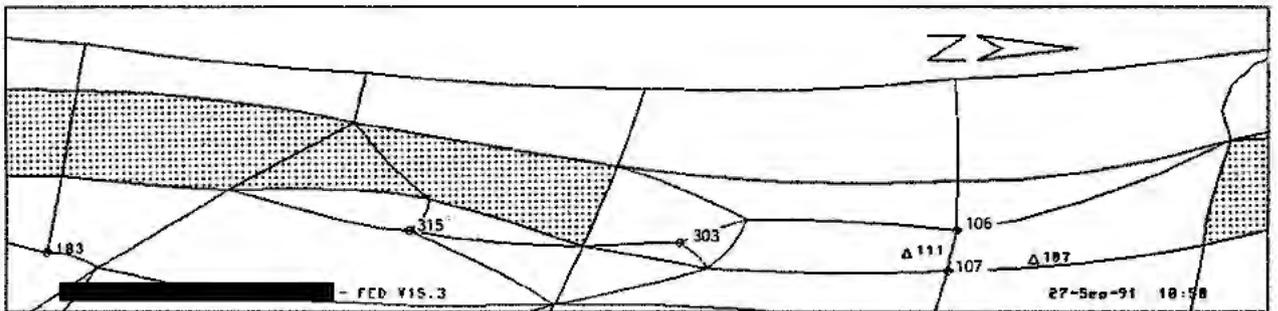
○ modellierte Bohrung
△ wirkliche Lage der Bohrung

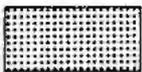
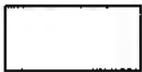
Abb. 1-3 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde.
Modifiziertes Oberflächenelementnetz



 Störungszone

a) Ausdehnung der Störungszone unterhalb der Basis Unterkreide

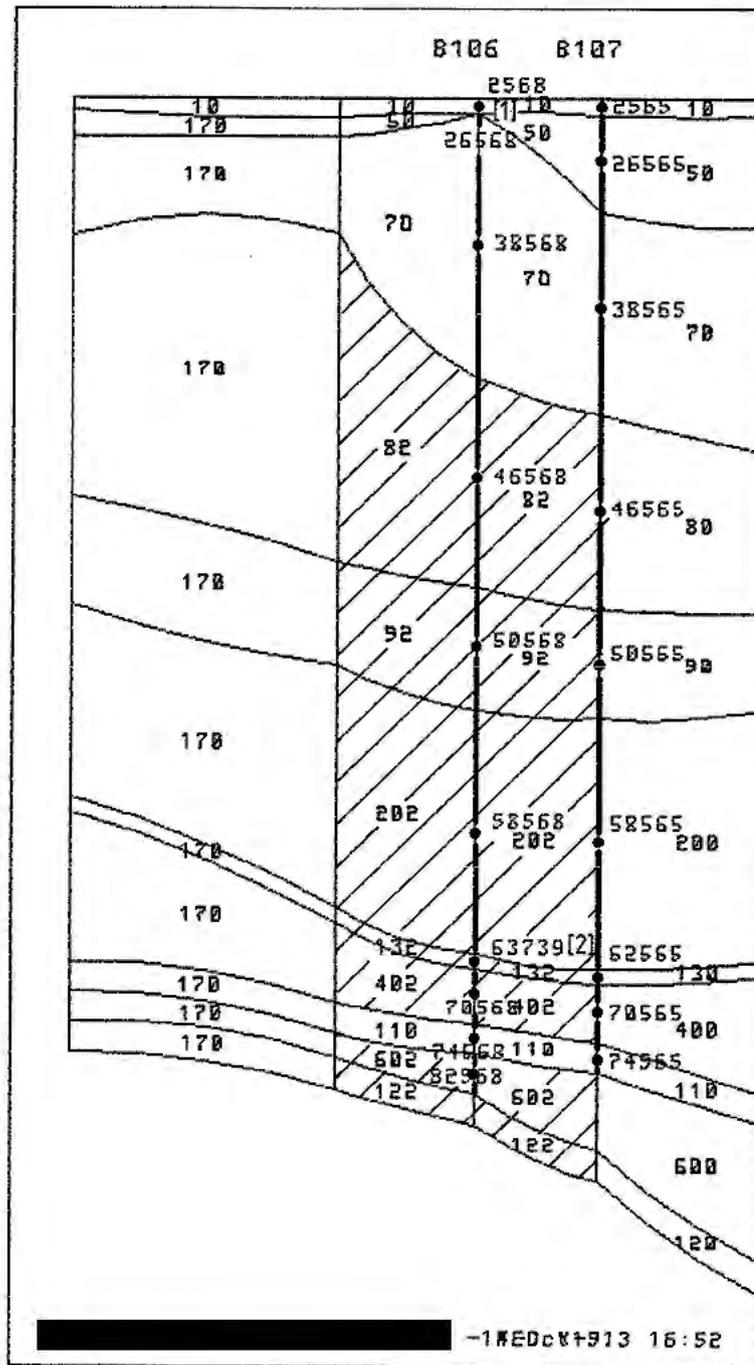


 $k_f(kru) = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$
 $k_f(kru) = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$

b) Ausdehnung der Störungszone in der Unterkreide

Abb. 1-4 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Ausdehnung der Störungszone entlang dem Salzstockrand

r47g.xyz cut504.e1 210/0



- [1] Im Modell47 2 m Alb
- [2] In B106 kein Cornbrash-Sandstein; Verbindung zum Cornbrash unterbrochen

Abb. 1-5 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt 504 mit den Bohrungen Vechelde 2/2a und 3 (mit Knotennummern)

r47g.xyz wsv.e1 240/0

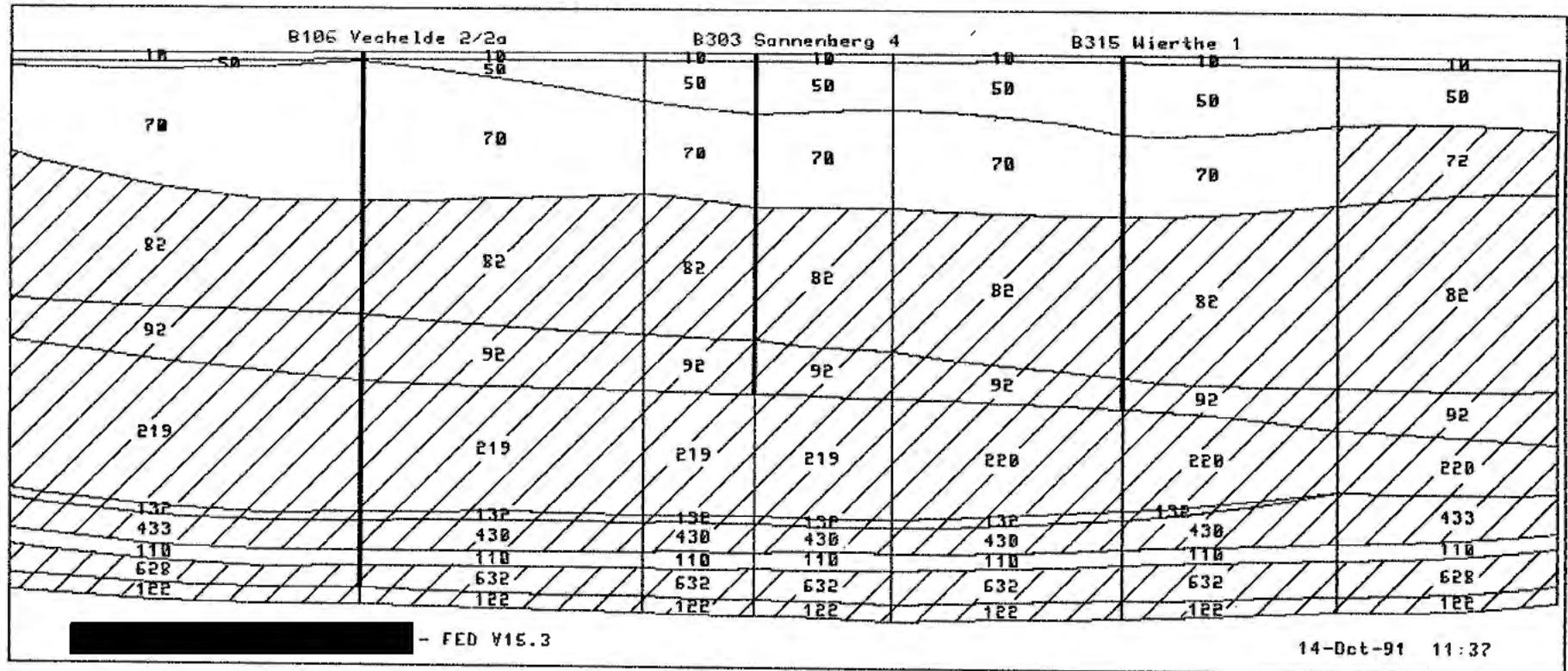


Abb. 1-6 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt wsv mit den Bohrungen Vechelde 2/2a, Sonnenberg 4 und Wierthe 1

r47g.xyz wsv.el 90/0

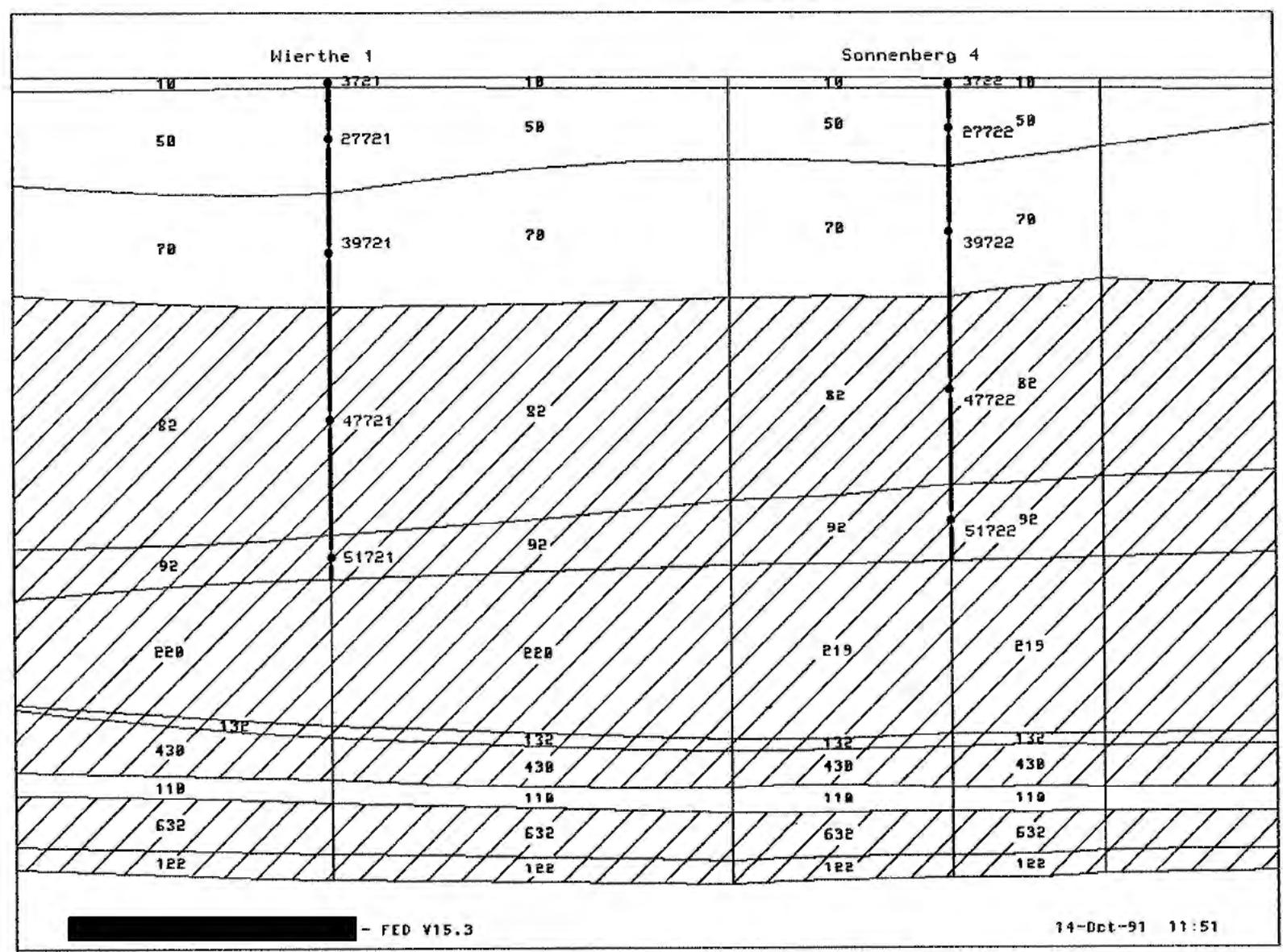
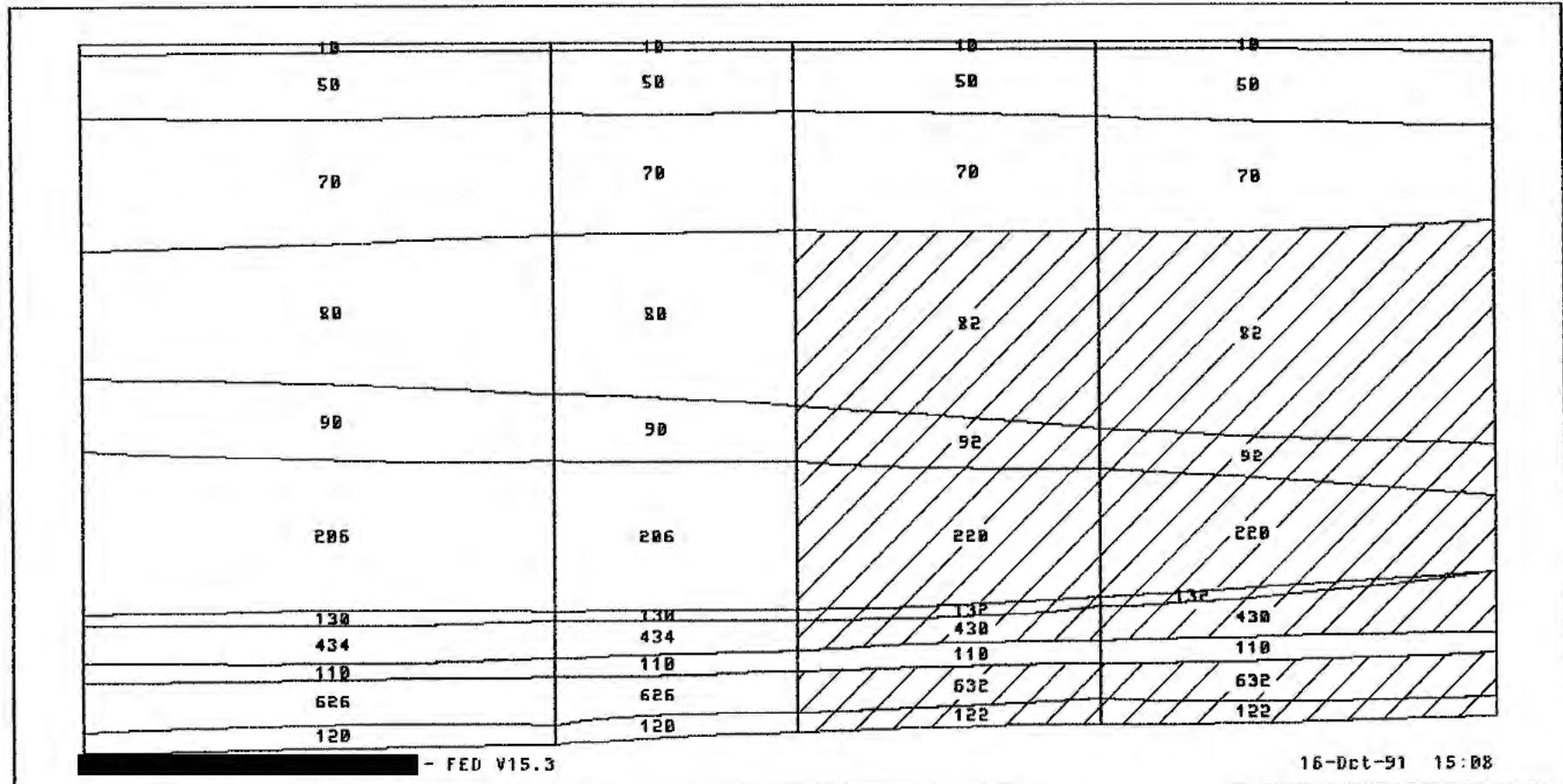


Abb. 1-7 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt wsv mit den Bohrungen Wierthe 1 und Sonnenberg 4 (mit Knotennummern)

r47g.xyz cut_b.el 450/0



Blick nach E, mit K-Klassen auf E-Seite des Schnittes

Abb. 1-8 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt b

r470.xyz cut505.e1 203/0

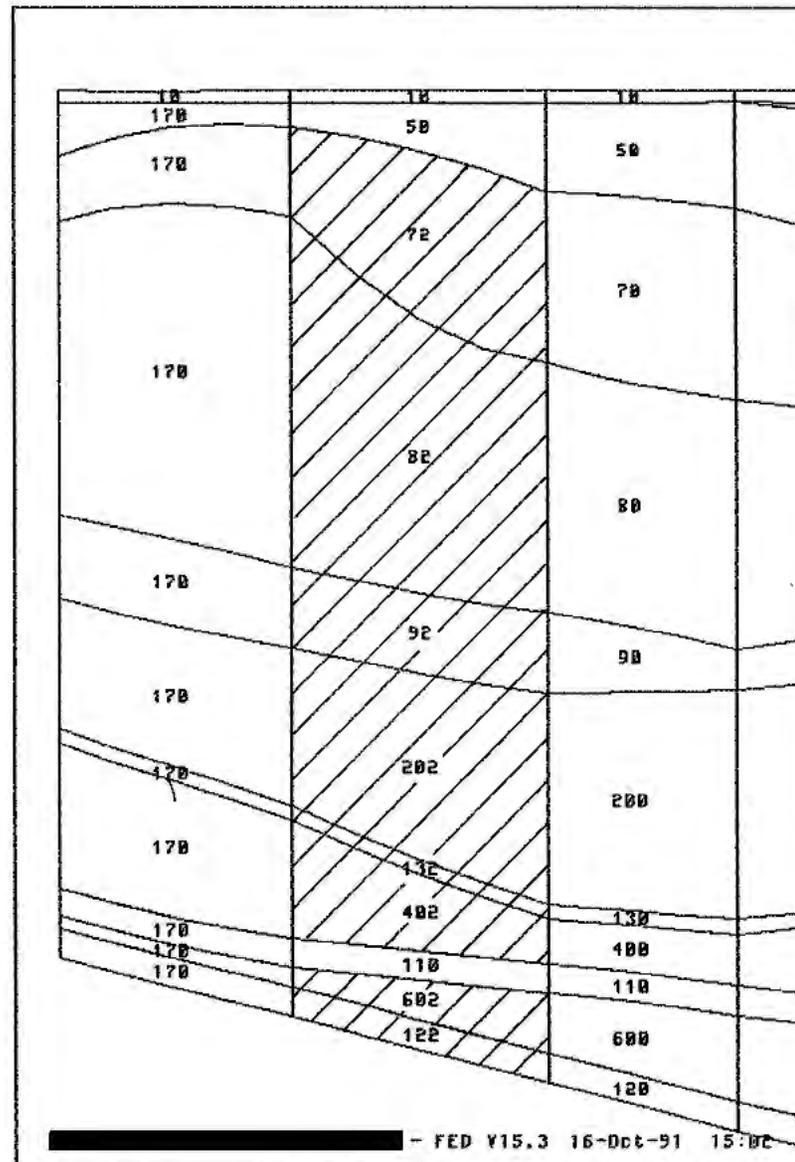
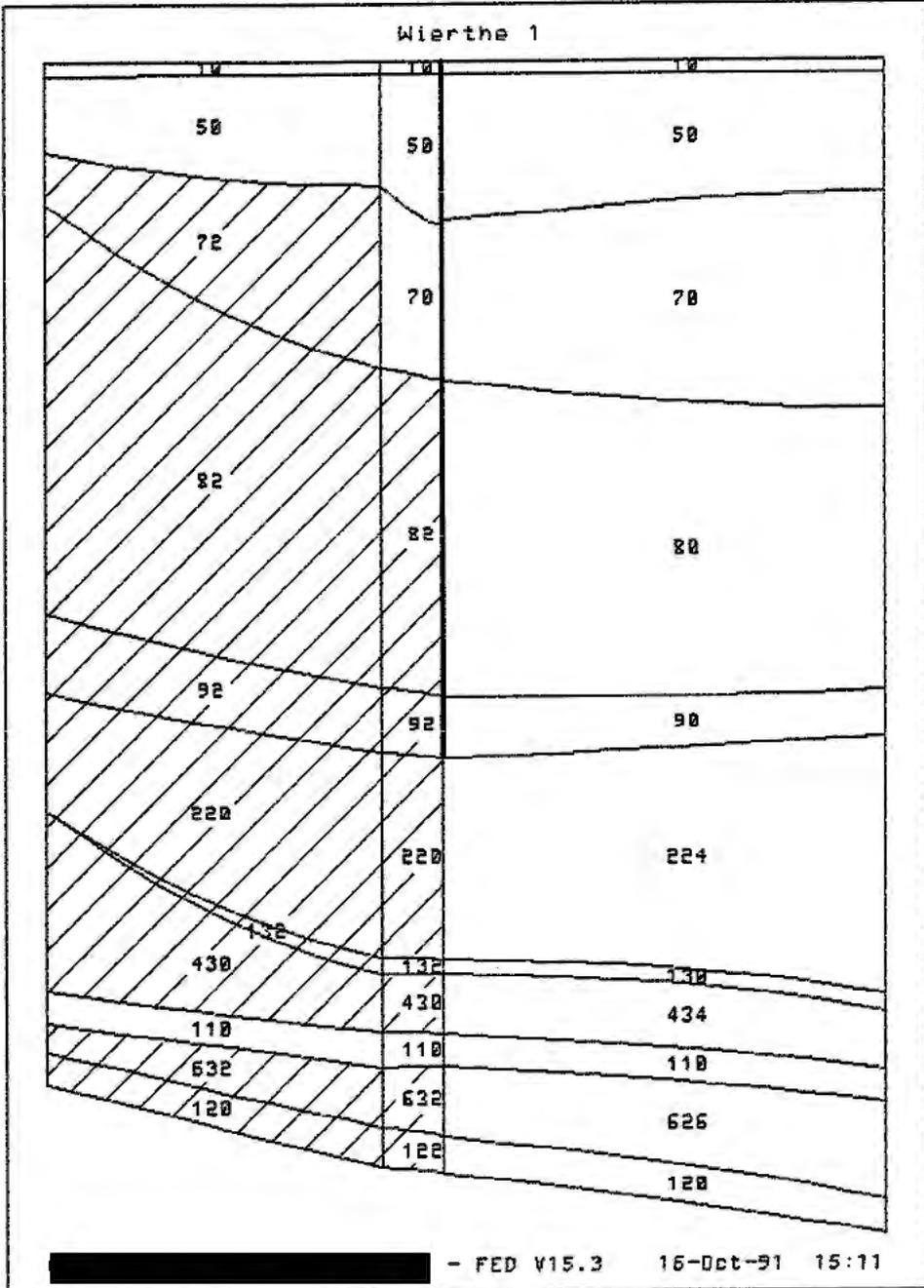


Abb. 1-9 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt 505

r47g.xyz cut_d.e1 150/0



Blick nach NW

Abb. 1-10 Modelländerung im Gebiet der Bohrungen Wierthe 1 - Sonnenberg 4 - Vechelde. Schnitt d mit Bohrung Wierthe 1

r47g.xyz cut398.el 77/0

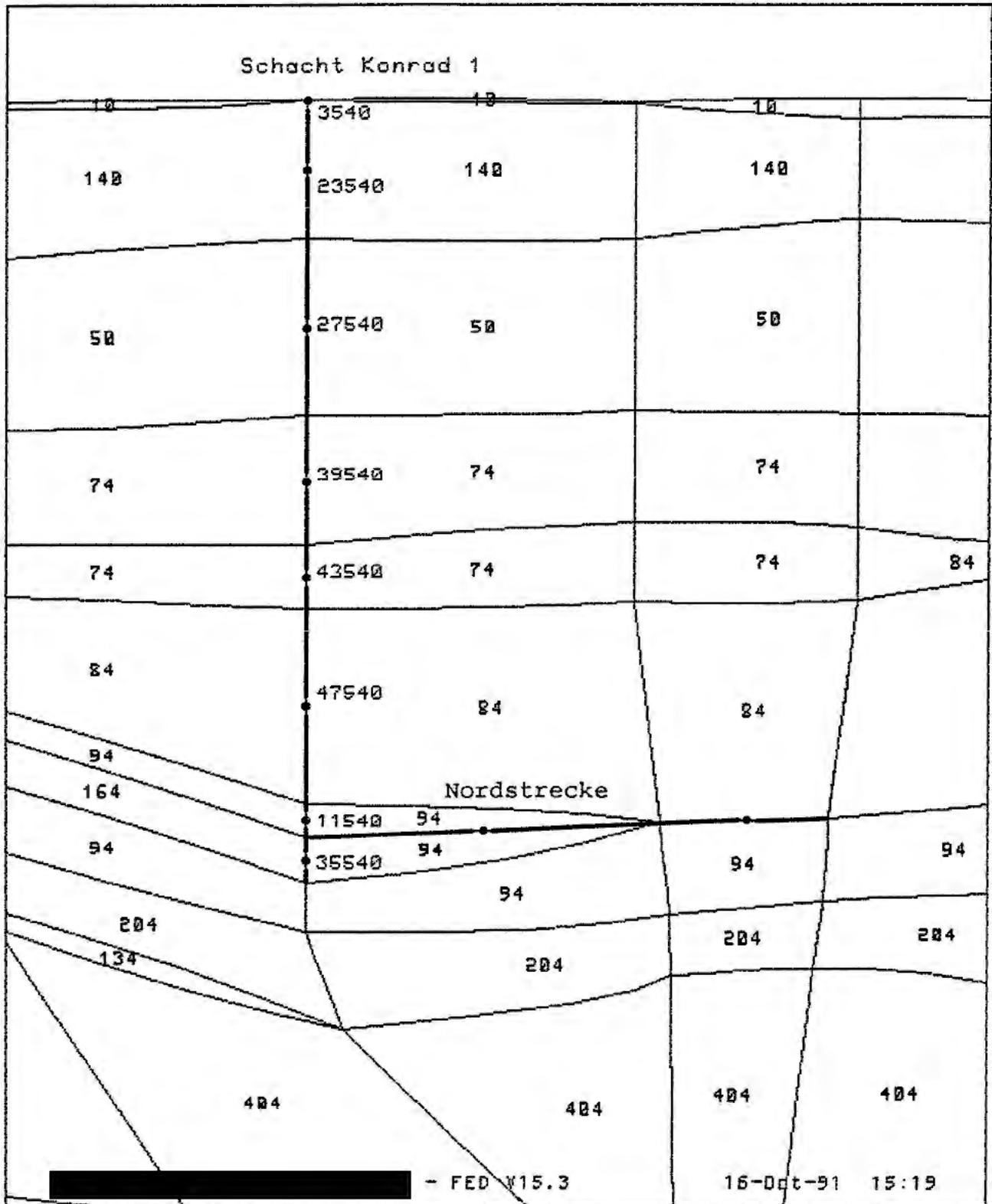


Abb. 1-11

Modellierung des Schachtes Konrad 1 und der Nordstrecke

r47g.xyz cut621.e1 100/0

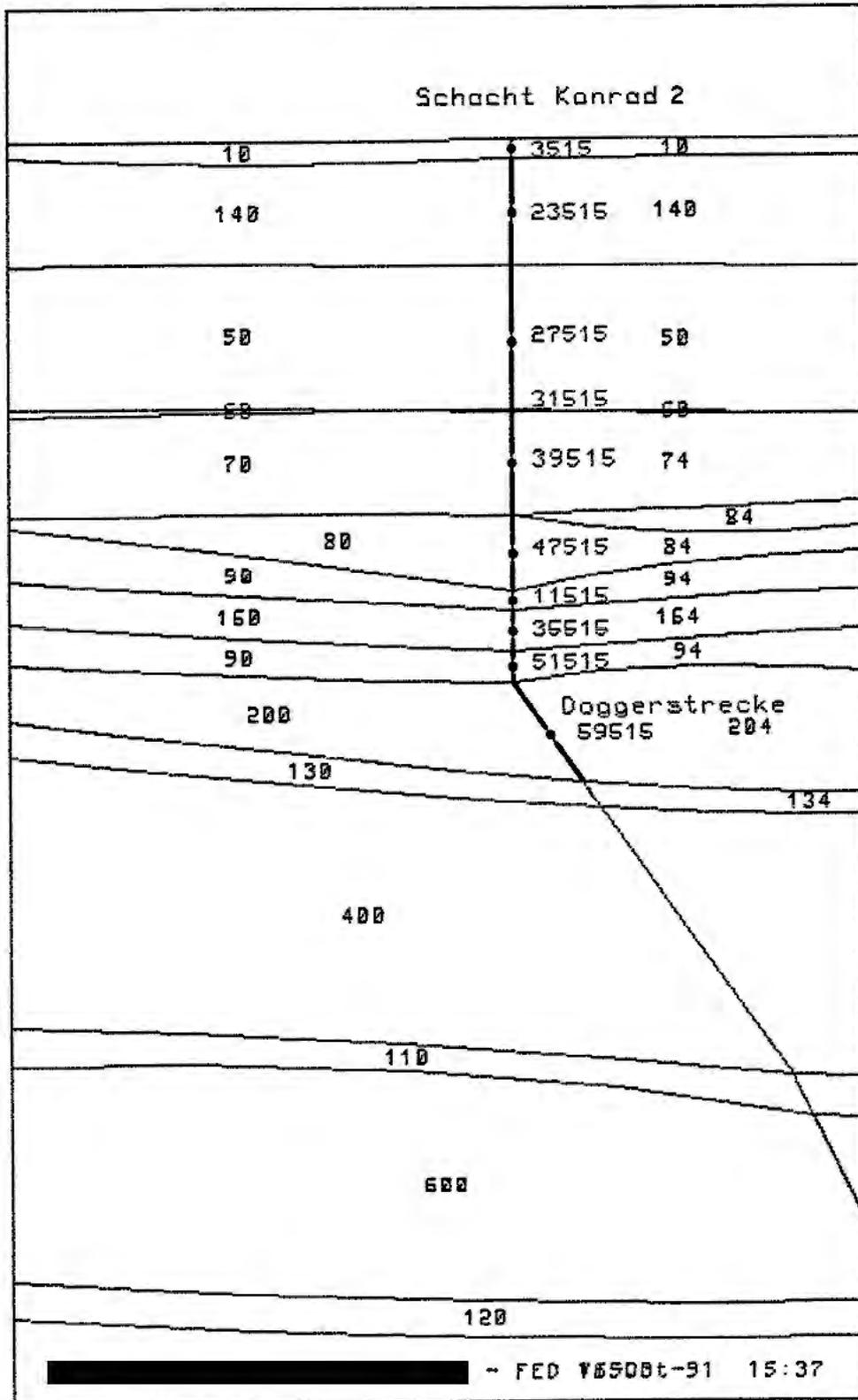
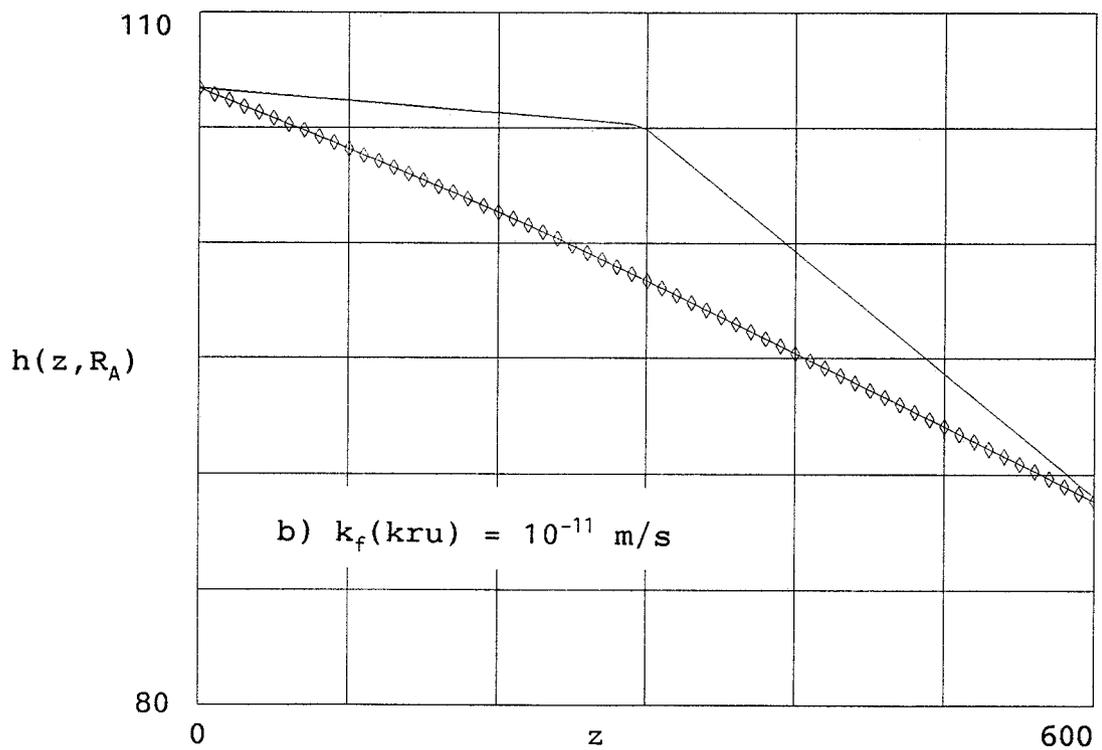
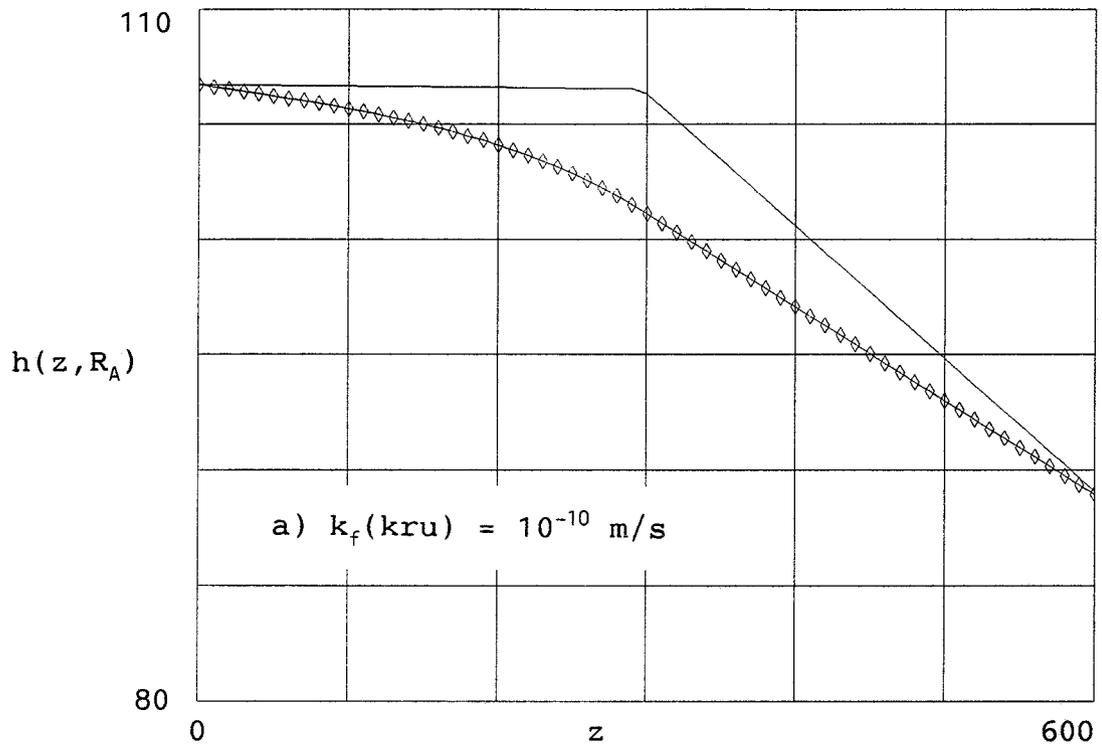
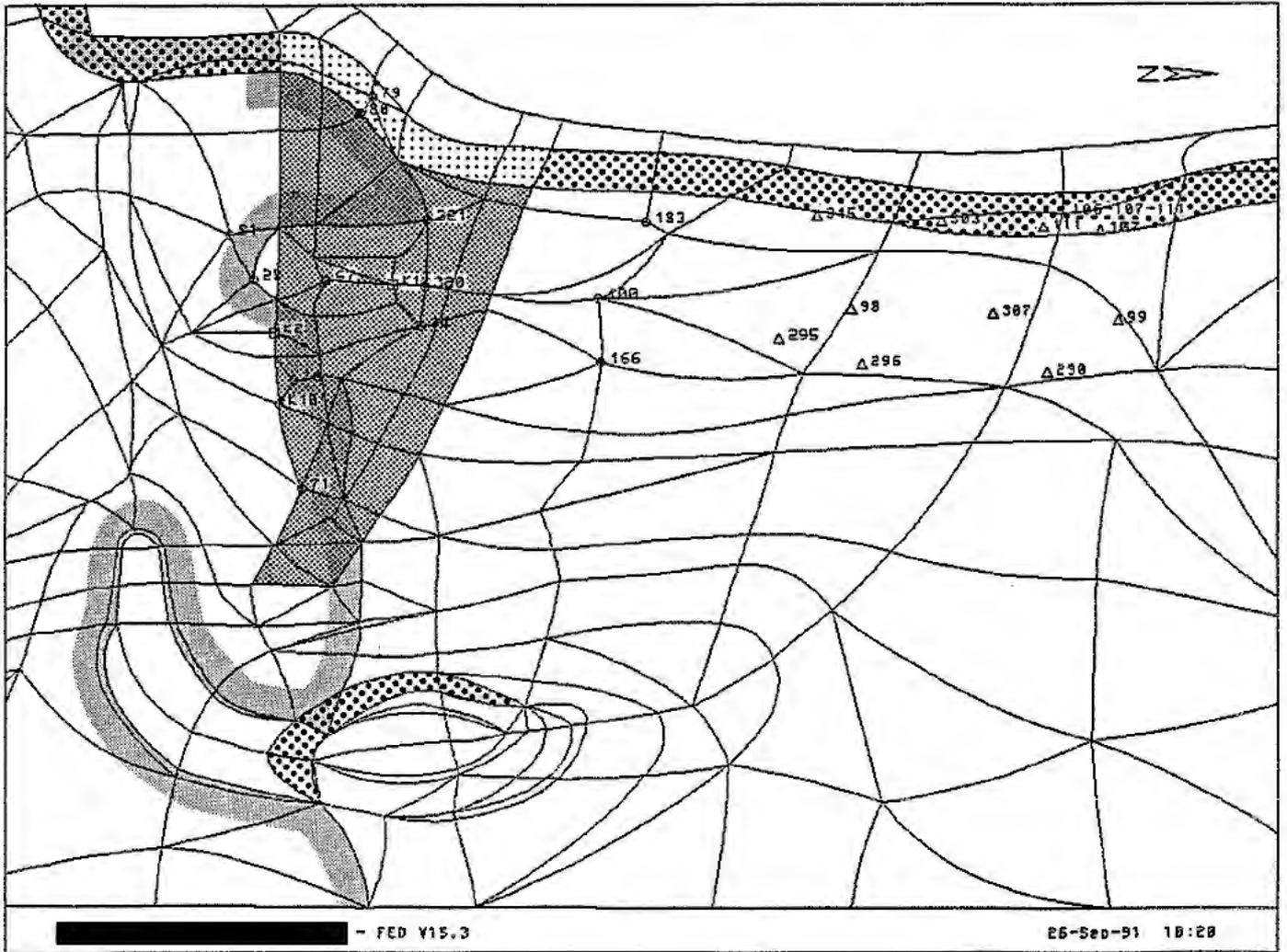


Abb. 1-12 Modellierung des Schachtes Konrad 2 und der Doggerstrecke



◇-◇-◇-◇ analytische Näherung, Profil im Schacht
 — Profil ohne Schacht

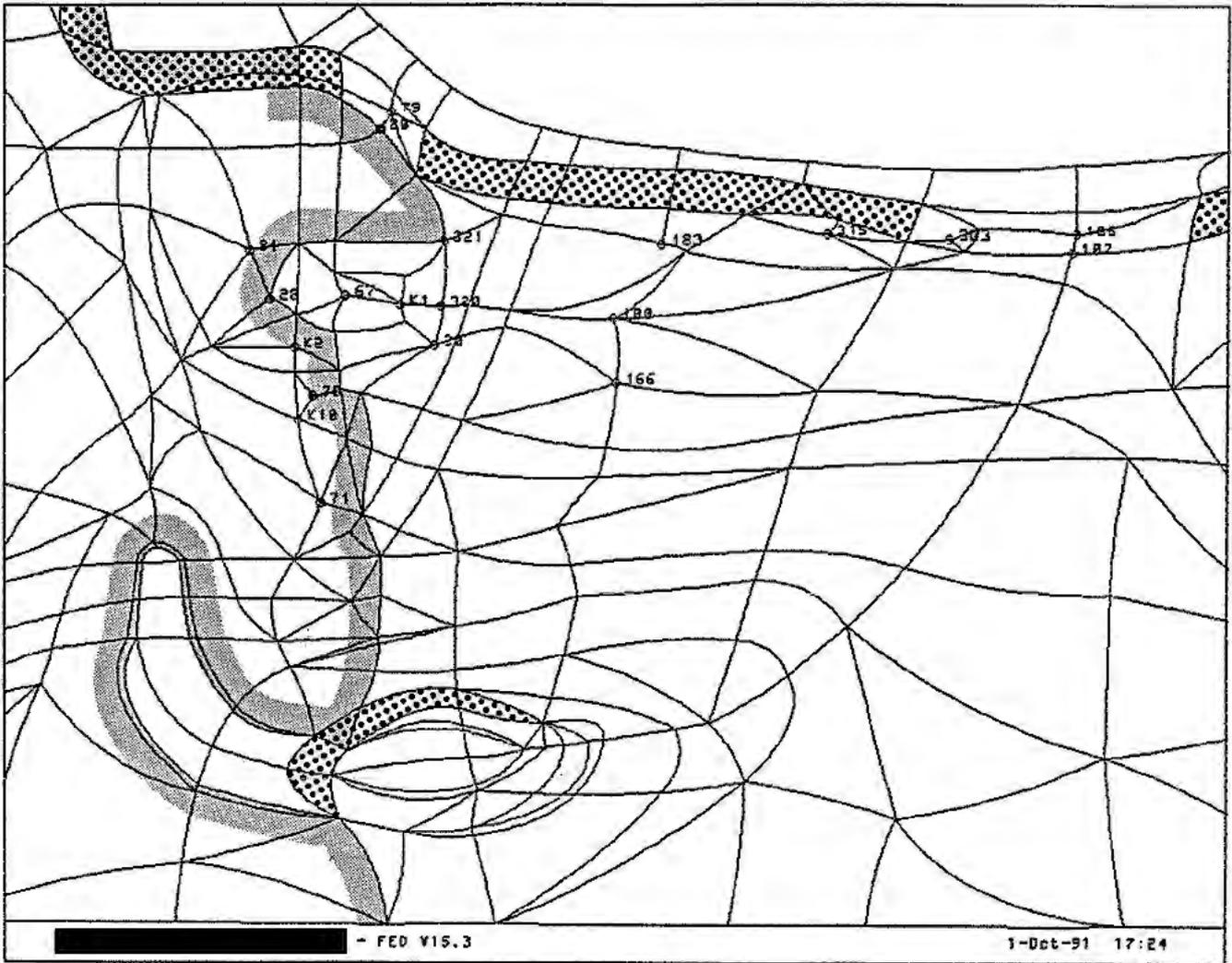
Abb. 1-13 Vertikale Potentialprofile entlang Schacht im Rechenfall R35 für k_f -Werte kru von $1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ (a) und $1 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$ (b)



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ modellierte Bohrung △ wirkliche Lage der Bohrung ■ nördliche Verbreitungsgrenze des Hilssandstein | <ul style="list-style-type: none"> ▨ Konrad-Graben
$k_f(kru) = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ ▩ Störungszone entlang Salzstockrand
$k_f(kru) = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ ▧ Vergitterungszone von Konrad-Graben und Störungszone entlang Salzstockrand, $k_f(kru) = 6 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ |
|---|---|

Abb. 1-14 Rechenfälle R34 und R35. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszone

r47g.xyz q.el bohr.topo 90/90



o modellierte Bohrung

 Störungszone entlang Salzstockrand
 $k_f(kru) = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$

 nördliche Verbreitungsgrenze
des Hilssandsteins

Abb. 1-15 Rechenfall R47. Zonen erhöhter Durchlässigkeit der Unterkreide in Störungszone

Stratigraphie		Schematische Darstellung der Durchmesser d_1 , d_2 , d_3 , und d_A	Anmerkungen
Abk.	Formationen		
QUAR	Quartär		Nachfall u. Auflockerungszone nicht berücksichtigt ($d_A = d_3 = d_2$, $d_2 \geq d_1$)
OBKR	Santon Coniac Turon Cenoman		
UKR2	Alb		Verrohrung in der Unterkreide ($d_3 = d_2 = d_1$, $d_A > d_3$)
	Apt		Nachfallbereich in der Unterkreide ($d_A > d_3 > d_2 > d_1$)
UKR1	Barreme		z.B. Sedimentfüllung (d. Unterkreide ($d_3 = d_2$, $d_2 > d_1$, $d_A > d_3$))
	Hauterive (Valangin)		
MALM	Portland Kimmeridge Oxford		Nachfall und Auflockerungszone nicht berücksichtigt ($d_A = d_3 = d_2$, $d_2 \geq d_1$)
DOGG	Dogger (ungegliedert)		
LIAS	Lias (ungegliedert)		
KEUP	Keuper (ungegliedert)		
ZECH	Zechstein (ungegliedert)		

d_1 Bohrdurchmesser bzw. Innendurchmesser verbliebener Verrohrung

E_1 Erweiterungsfaktor zur Berücksichtigung der Auskesselungen beim Bohren

$d_2 = E_1 \cdot d_1$ (in verrohrten Abschnitten : $d_2 = d_1$)

E_2 Erweiterungsfaktor zur Berücksichtigung des Nachbruchs (nach erfolgter Spülungs-sedimentation etc.) in den freien Unterkreidebereichen

$d_3 = E_2 \cdot d_2$ (in verrohrten und in gefüllten Unterkreideabschnitten sowie in allen anderen Formationen : $d_3 = d_2$)

E_A Faktor zur Berücksichtigung der Auflockerungszone in der Unterkreide

$d_A = E_A \cdot d_3$ (in den Formationen oberhalb und unterhalb der Unterkreide $d_A = d_3 = d_2$)

Ref.: WITTKÉ (1991), Abb. E-13.2

Abb. 2-1 Legende zur tabellarischen Bestimmung der mittleren Bohrlochtransmissivität bei WITTKÉ (1991)

r47g.xyz cut398.el r47g.res 90/0

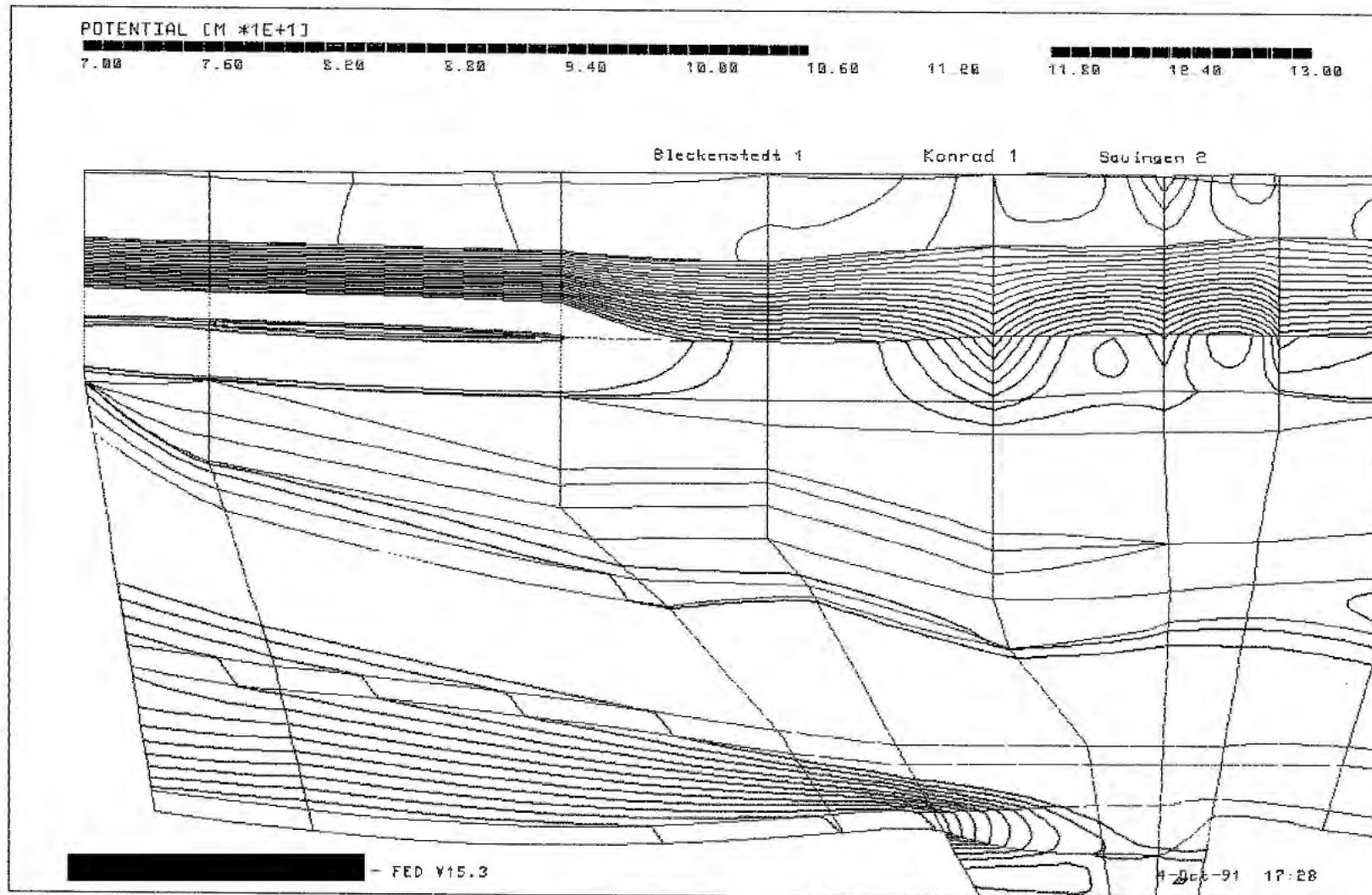


Abb. 3-1 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 398 mit Bohrung B67, Schacht Konrad 1 und Bohrung B320 (Abstand der Isolinien 1 m)

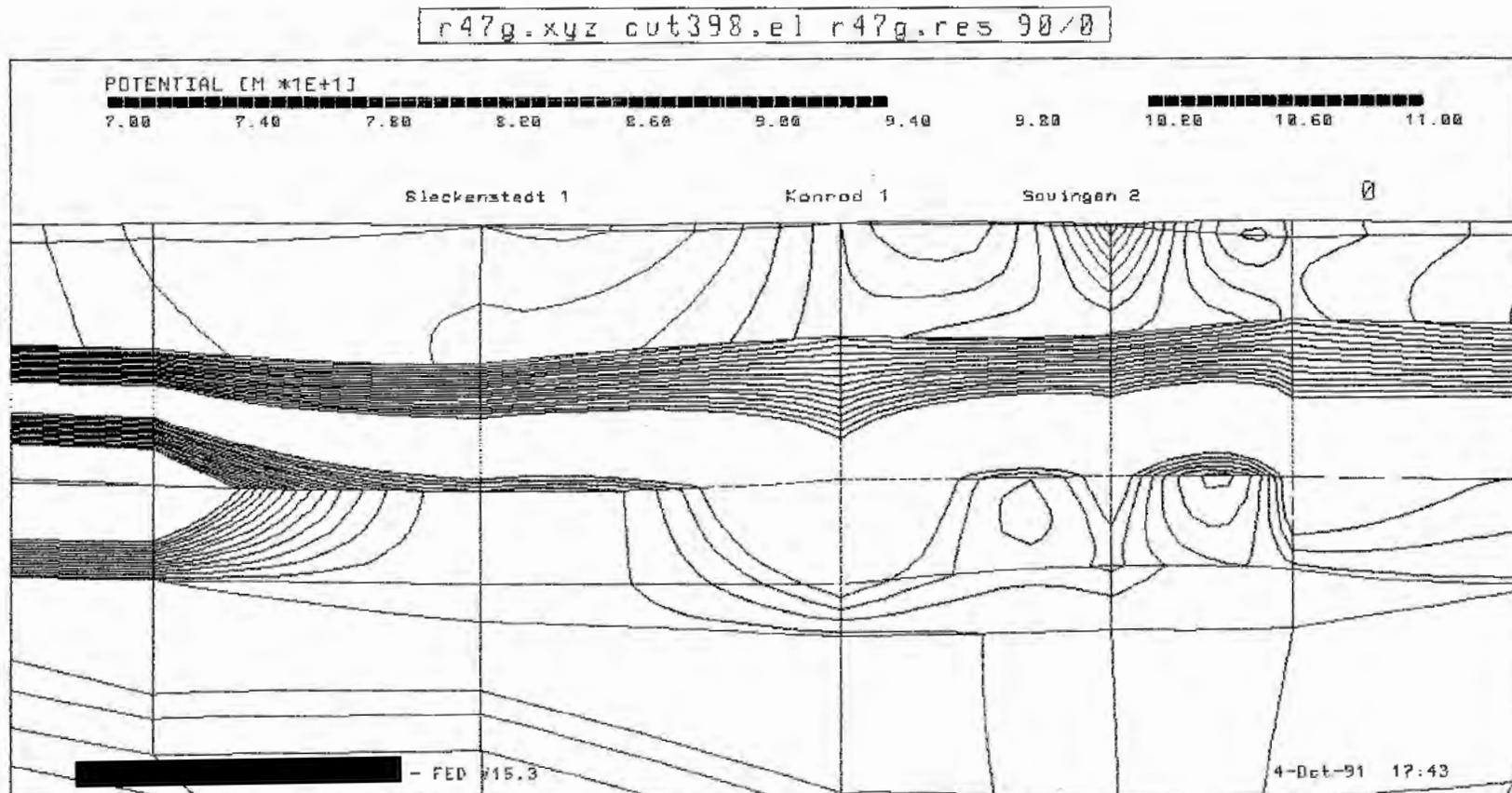


Abb. 3-2 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 398 mit Bohrung B67, Schacht Konrad 1 und Bohrung B320 (Abstand der Isolinien 0,5 m)

r47g.xyz cut312.e1 r47g.res 180/0

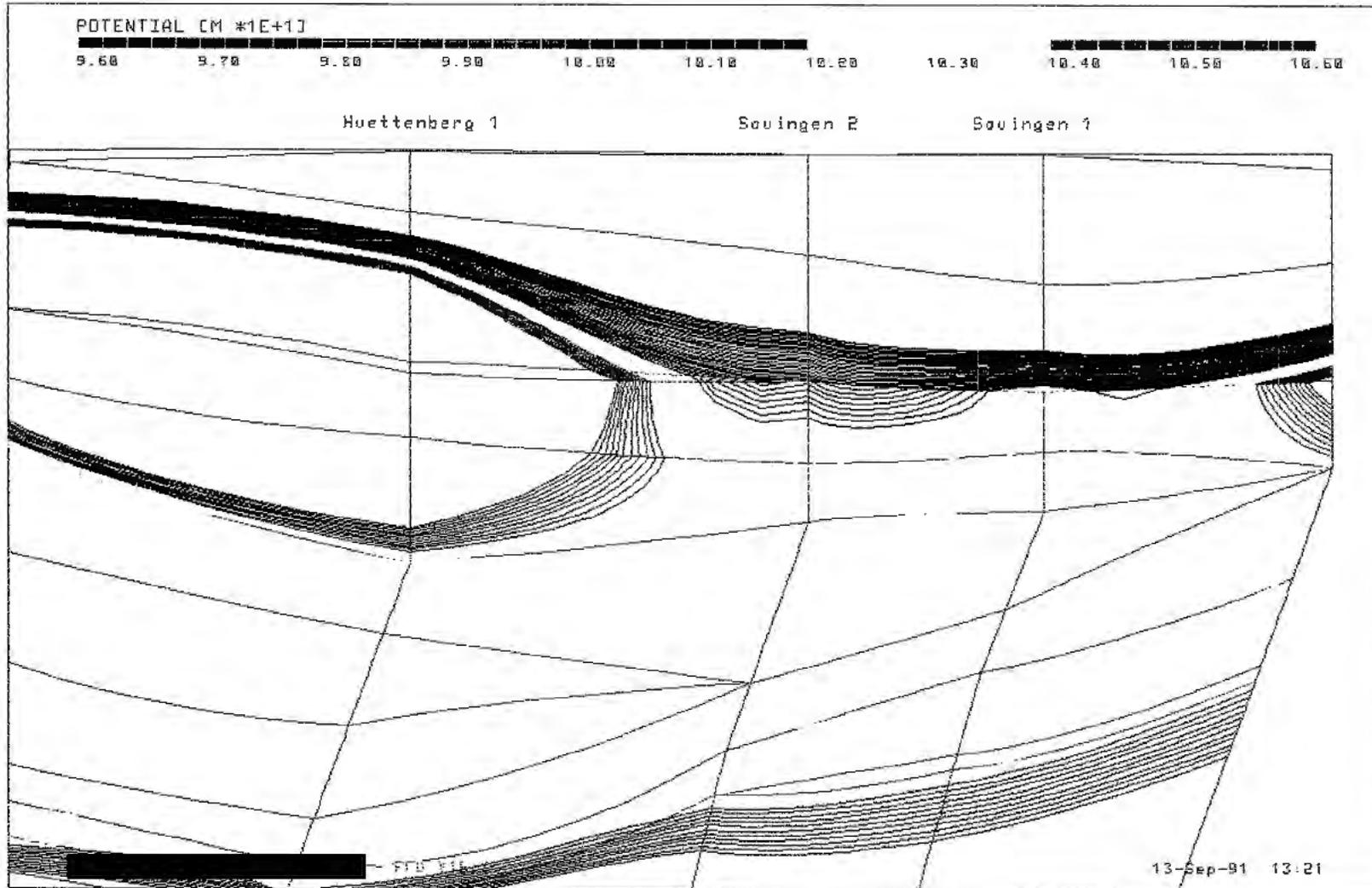


Abb. 3-4 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 312 mit den Bohrungen B321, B320 und B30 (Abstand der Isolinien 0,2 m)

r47g.xyz cut307.el(*) r47g.res 180/0

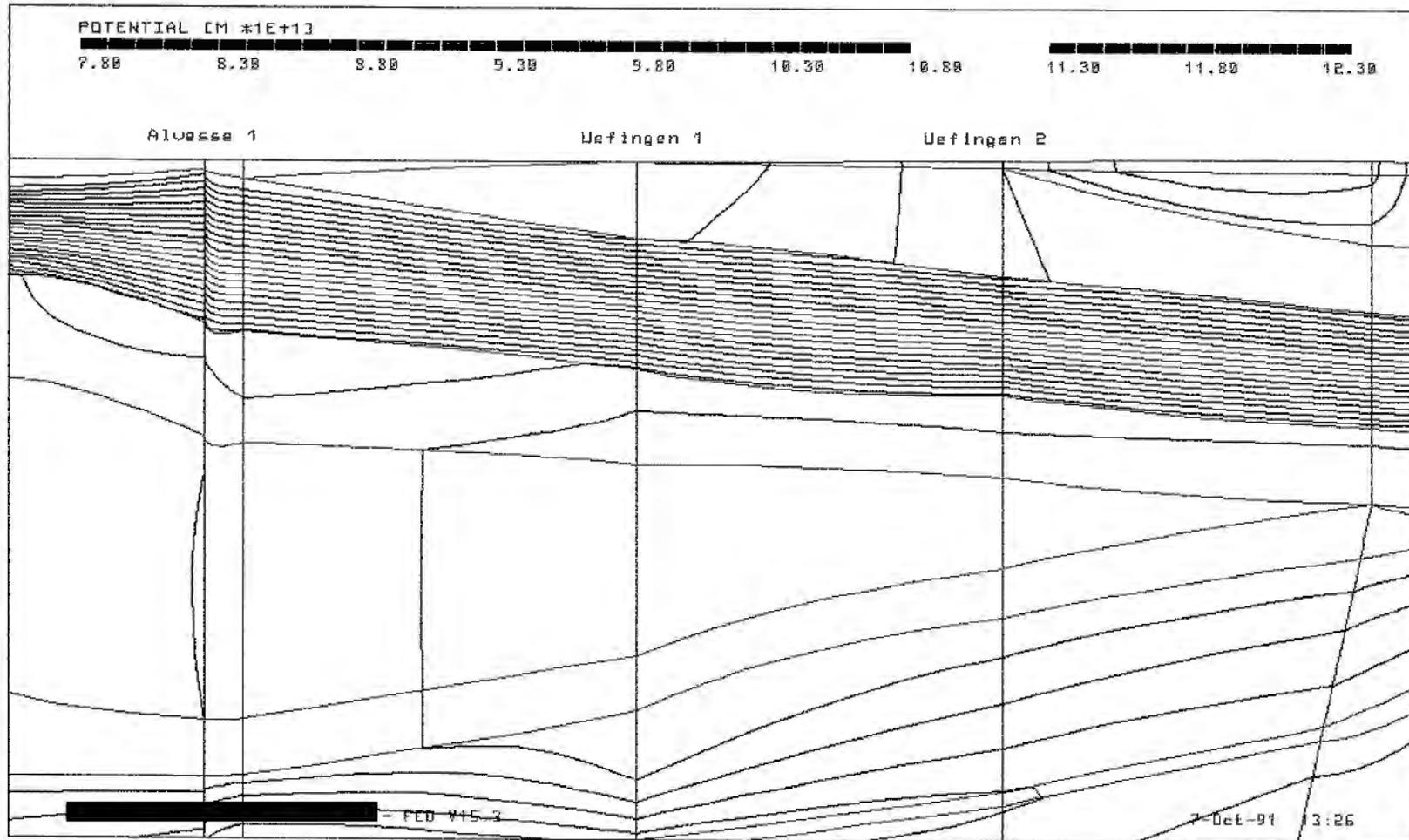


Abb. 3-5 Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt 307 mit den Bohrungen B183, B100 und B166 (Abstand der Isolinien 1 m)

r47g.xyz wsv.el r47g.res 90/0

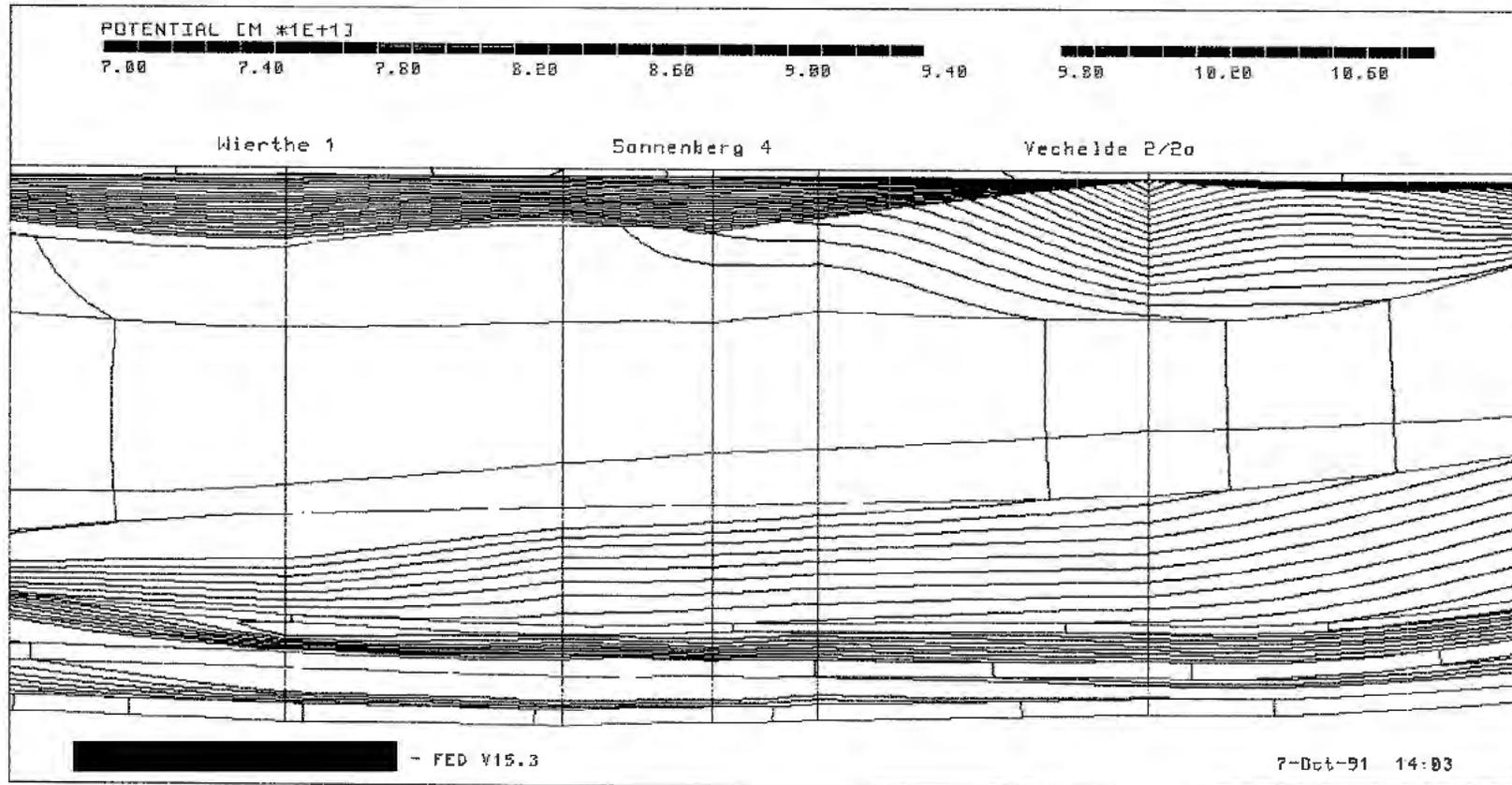


Abb. 3-6

Rechenfall R47: Potentialverteilung im Schnitt wsv mit den Bohrungen B315, B303 und B106 (Abstand der Isolinien 2 m)

r47g.xyz kru_bot.el r47g-r35.dif 90/90

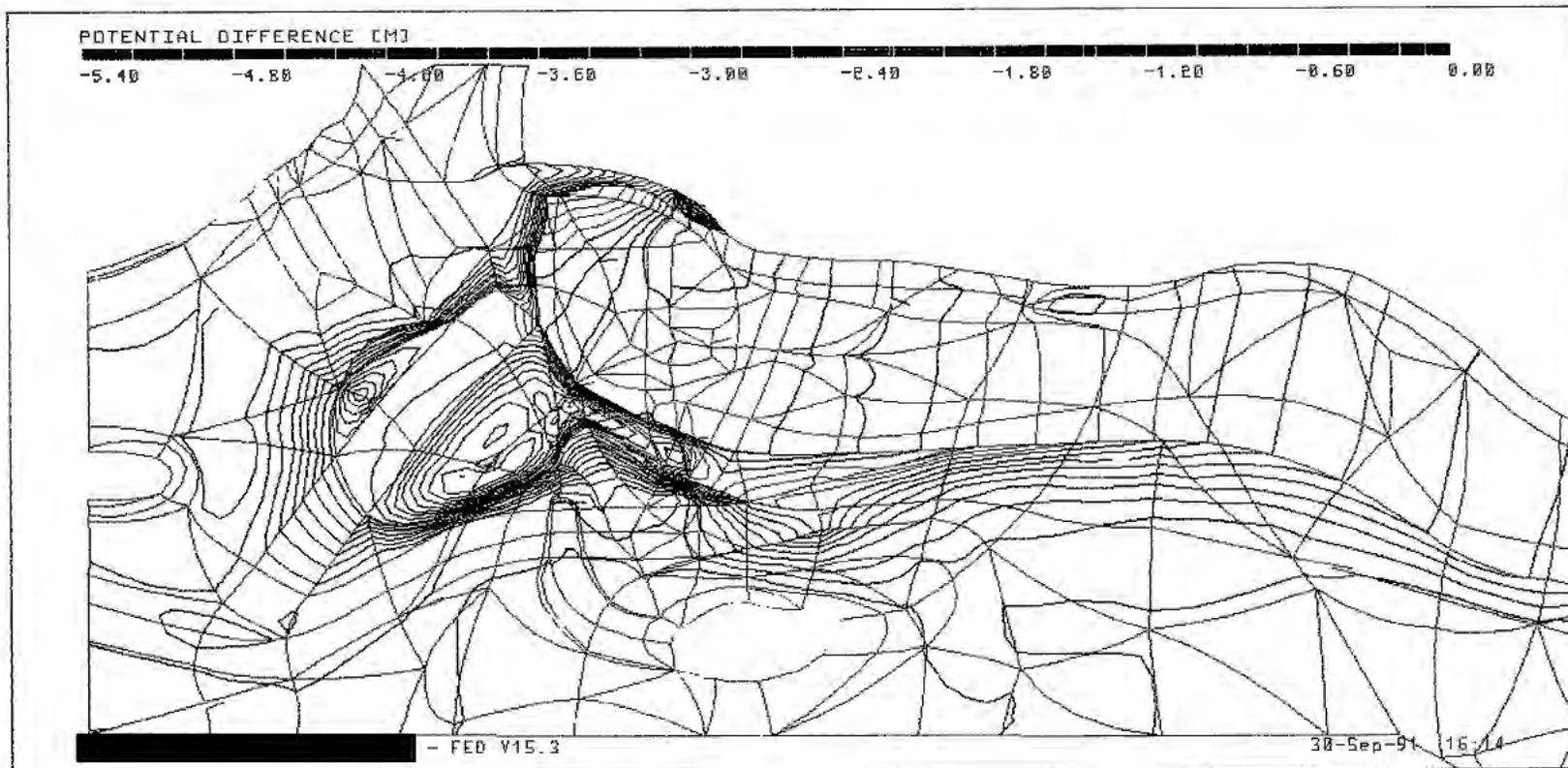


Abb. 3-7 Rechenfall R47: Potentialunterschiede R47-R35 an der Basis der Unterkreide

bfs.xyz jo_bot.el r47g-r35.dif 90/90

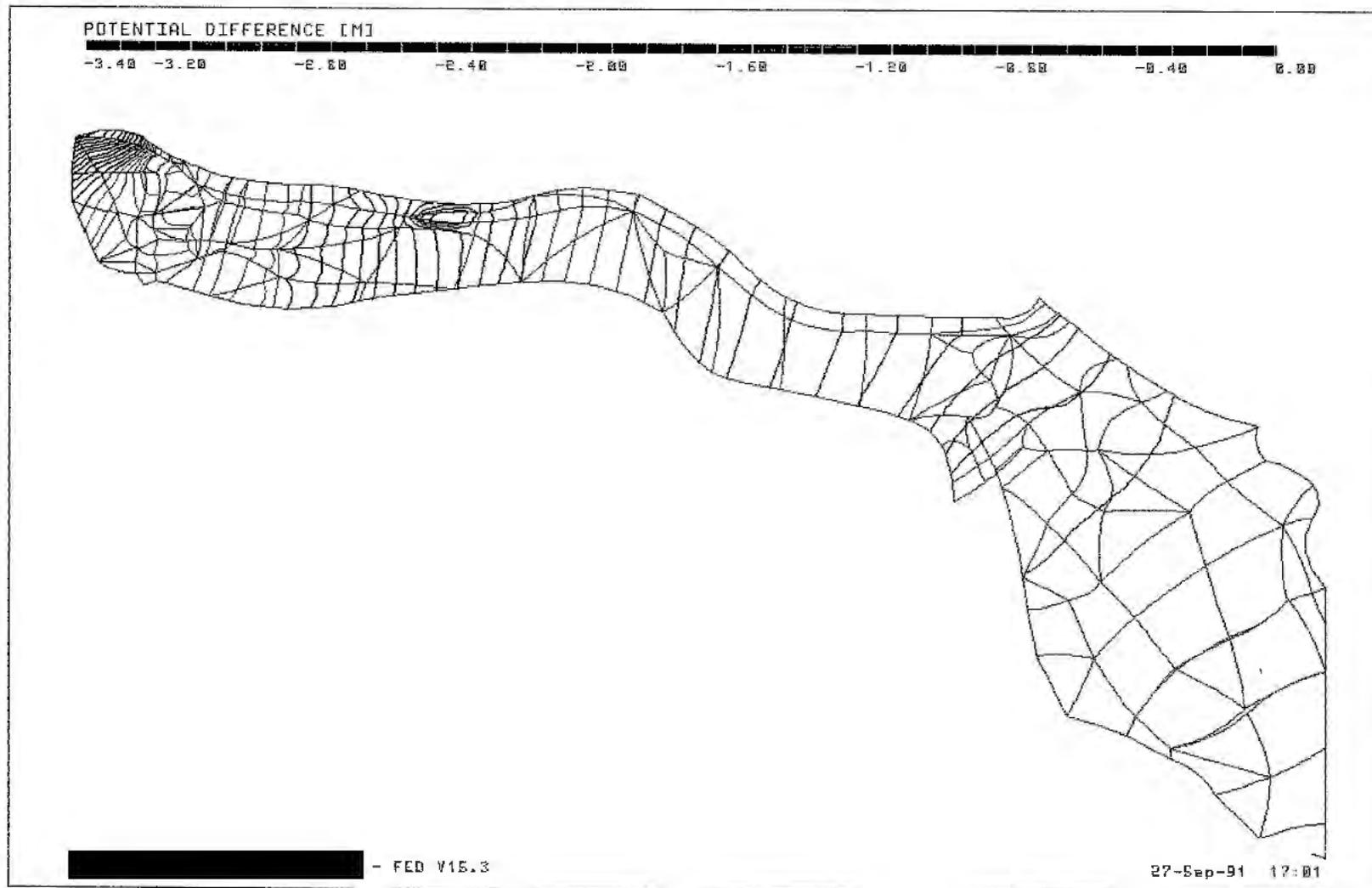


Abb. 3-8 Rechenfall R47: Potentialunterschiede R47-R35 an der Basis des Kimmeridge

R47 Tracks im Kimmeridge Sauingen 1

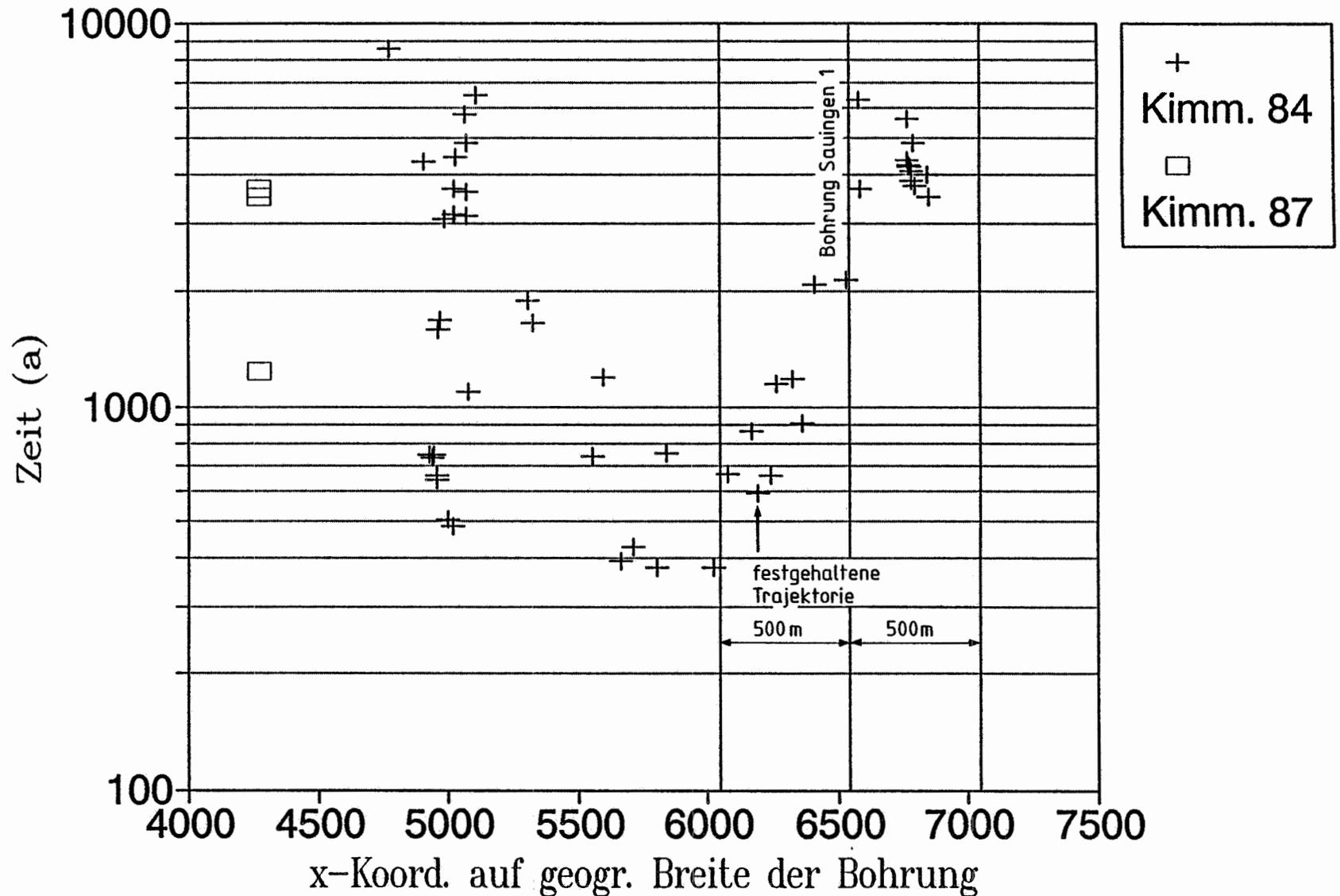
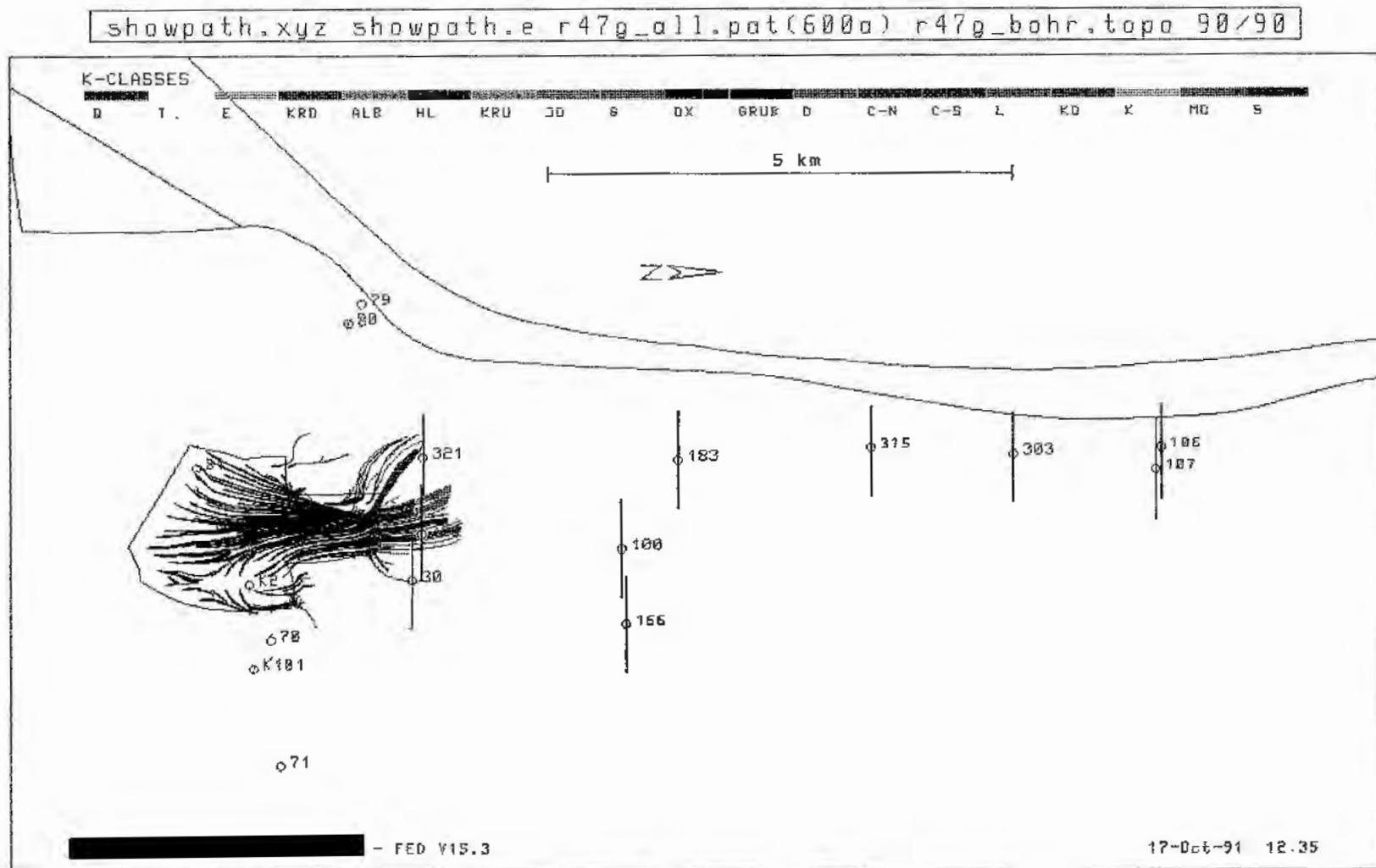


Abb. 4-1

Rechenfall R47: Kimmeridge-Trajektorien bis auf die geographische Breite der Bohrung Sauingen 1



Der West-Ost verlaufende Strich durch jede Bohrung nördlich der Grube gibt den beidseits 500 m weit reichenden Bereich an (vgl. Abschnitt 4.2.2.1)

Abb. 4-2 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf, Fließzeit 600 Jahre

showpath.xyz showpath.e r47g_all.pat(3300a) r47g_bohr.topo 90/90

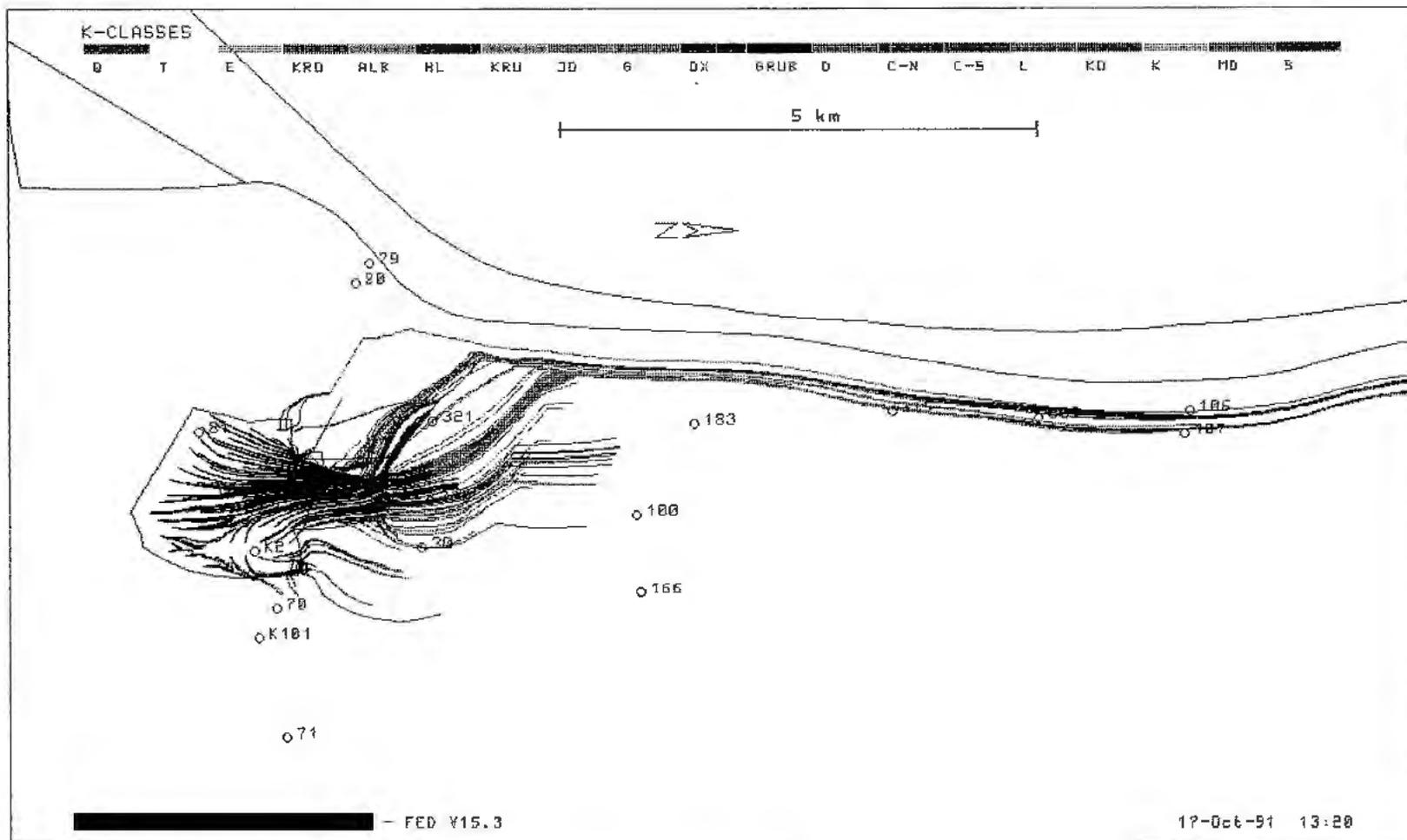


Abb. 4-3 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf, Fliesszeit 3300 Jahre

showpath.xyz showpath.e r47g_all.pat(6600a) r47g_bohr.topo 90/90

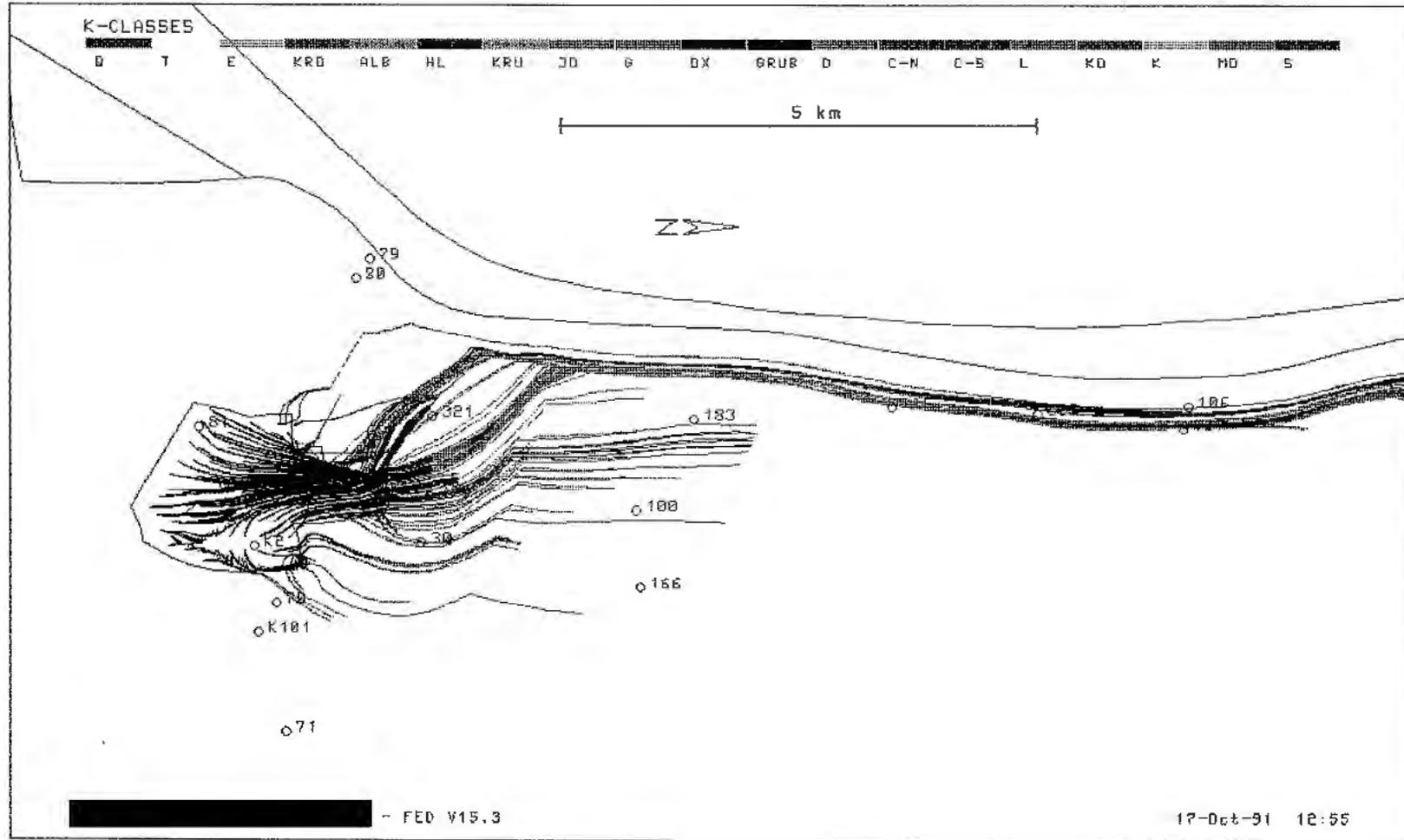


Abb. 4-4 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf, Fliesszeit 6600 Jahre

showpath.xyz showpath.e r47g_all.pat r47g_bohr.topo 90/90

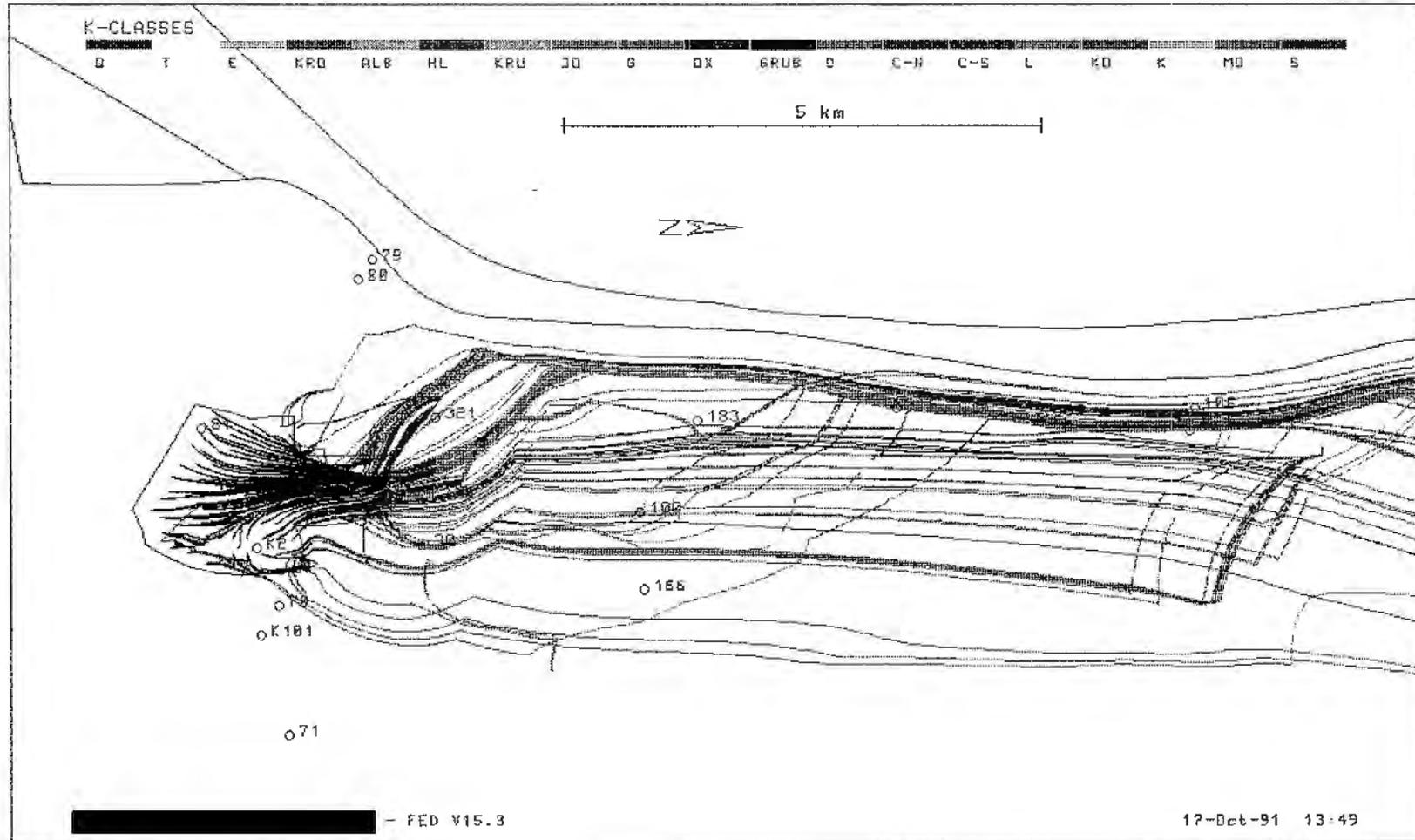


Abb. 4-5 Rechenfall R47: Trajektorienverlauf (gesamte Fliesszeit)

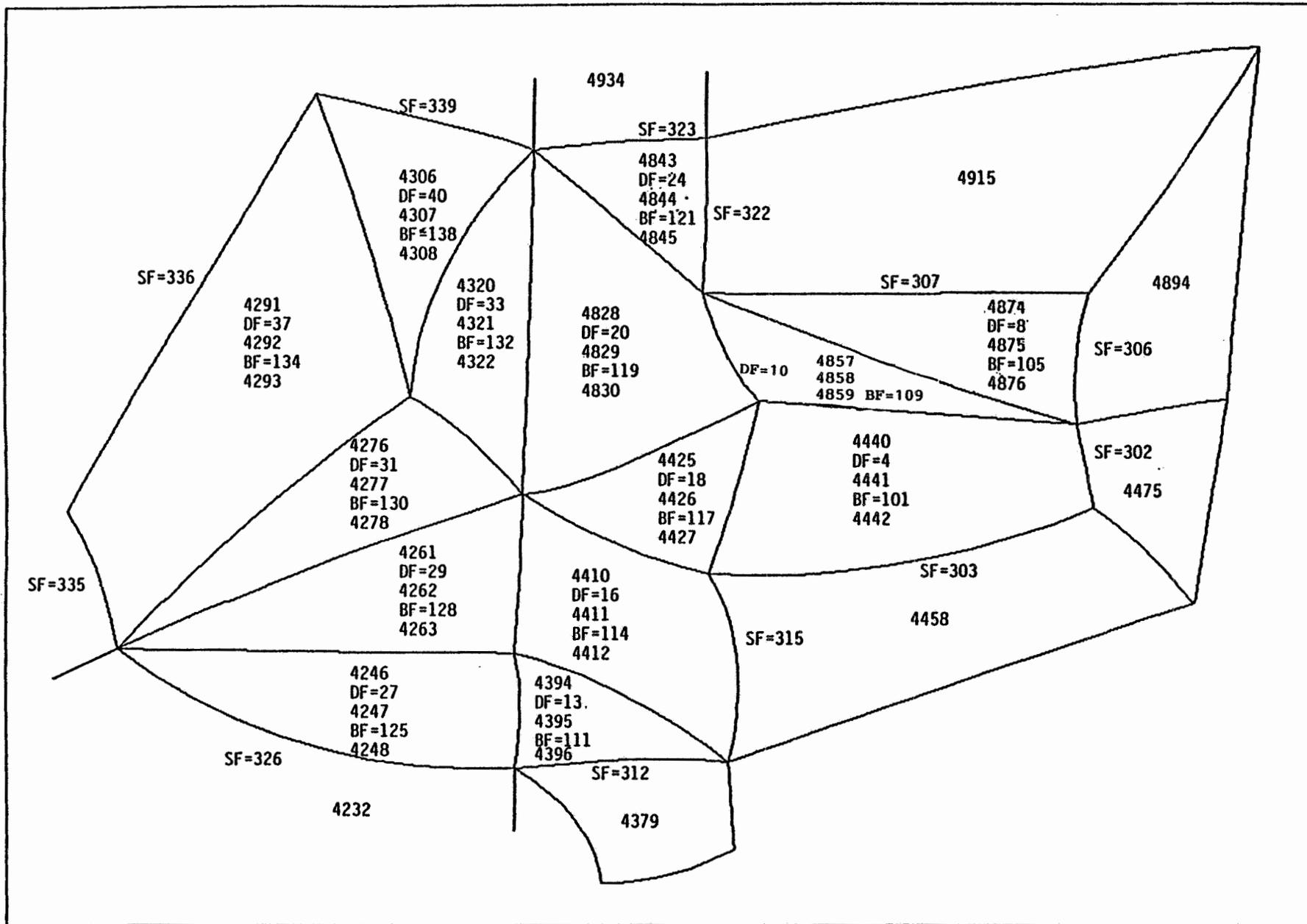


Abb. 4-6

Gruben-Elemente, Begrenzungsflächen des Grubengebäudes, an Grube anstossende Oxford-Elemente

kanal.xyz kanal.el 60/30

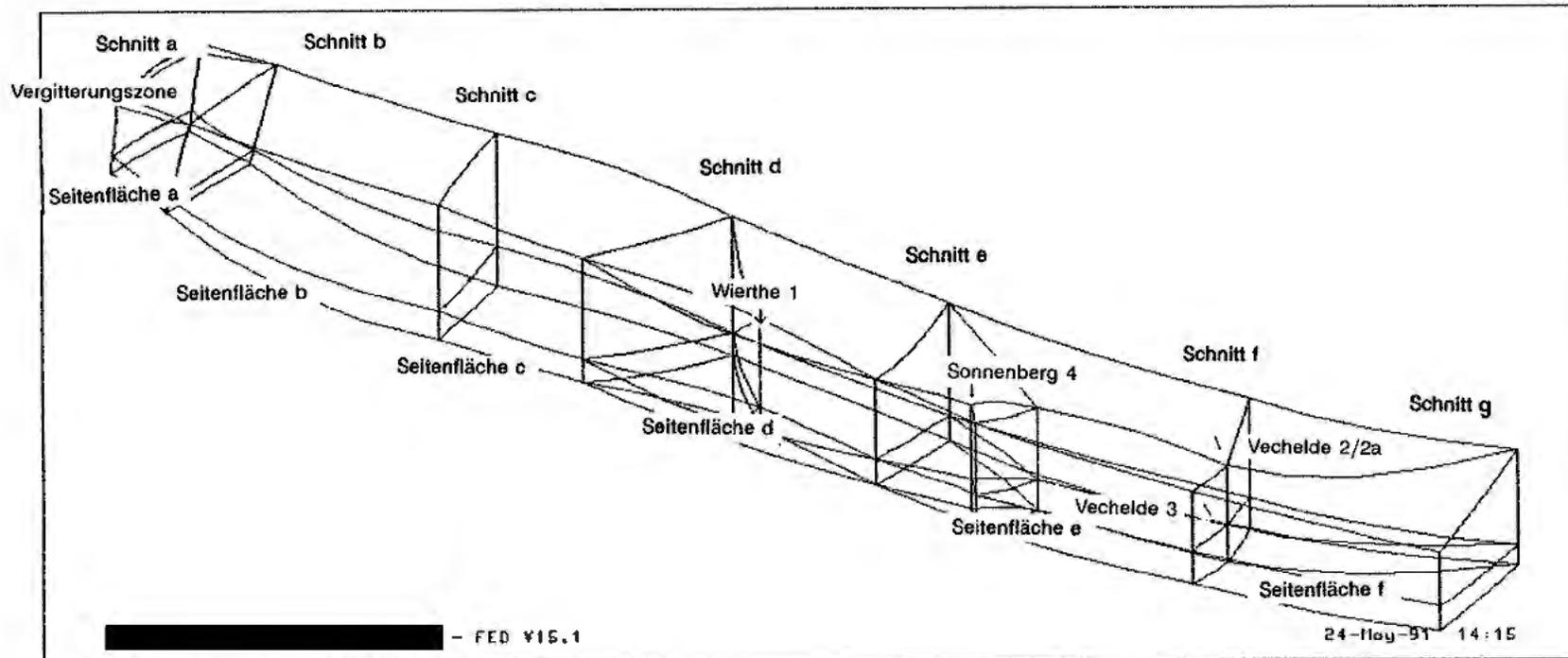


Abb. 4-7

Rechenfall R47: Verdünnung zwischen dem Grubengebäude und der Störungszone entlang dem Salzstockrand. Lage der Fliessquerschnitte

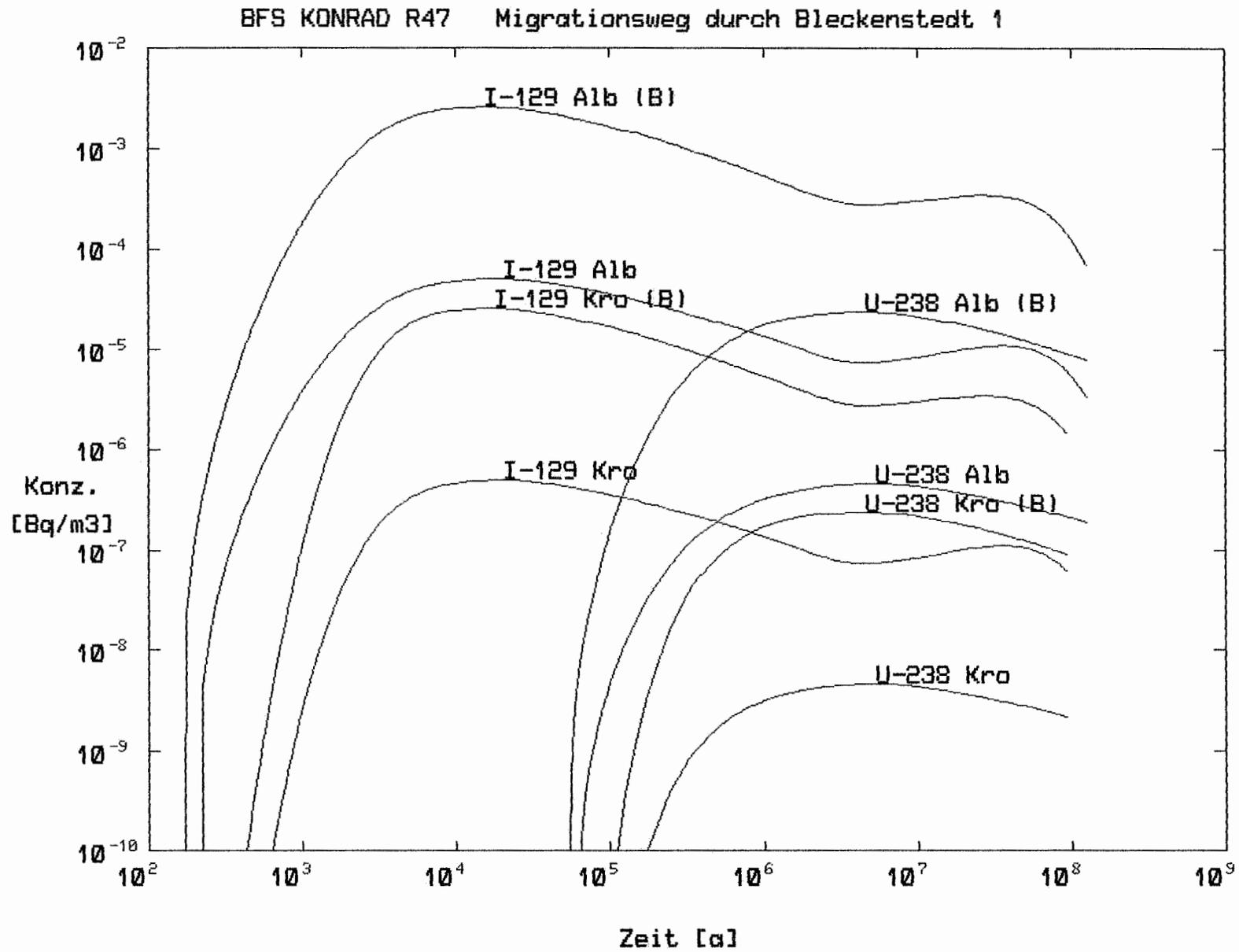


Abb. 6-1 Rechenfall R47: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fließweges durch die Bohrung Bleckenstedt 1, (B) = Variante

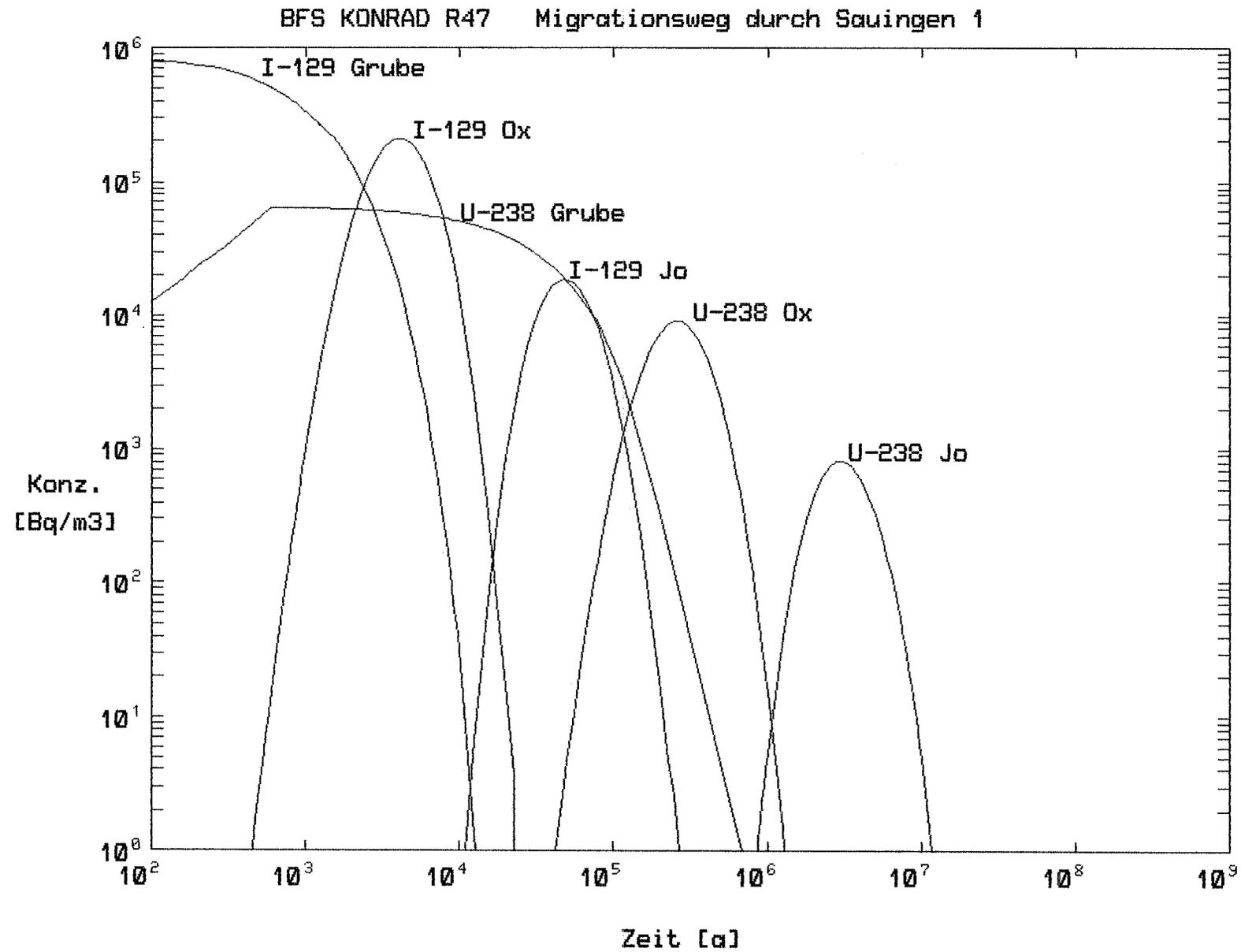


Abb. 6-2 Rechenfall R47: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fließweges durch die Bohrung Sauingen 1

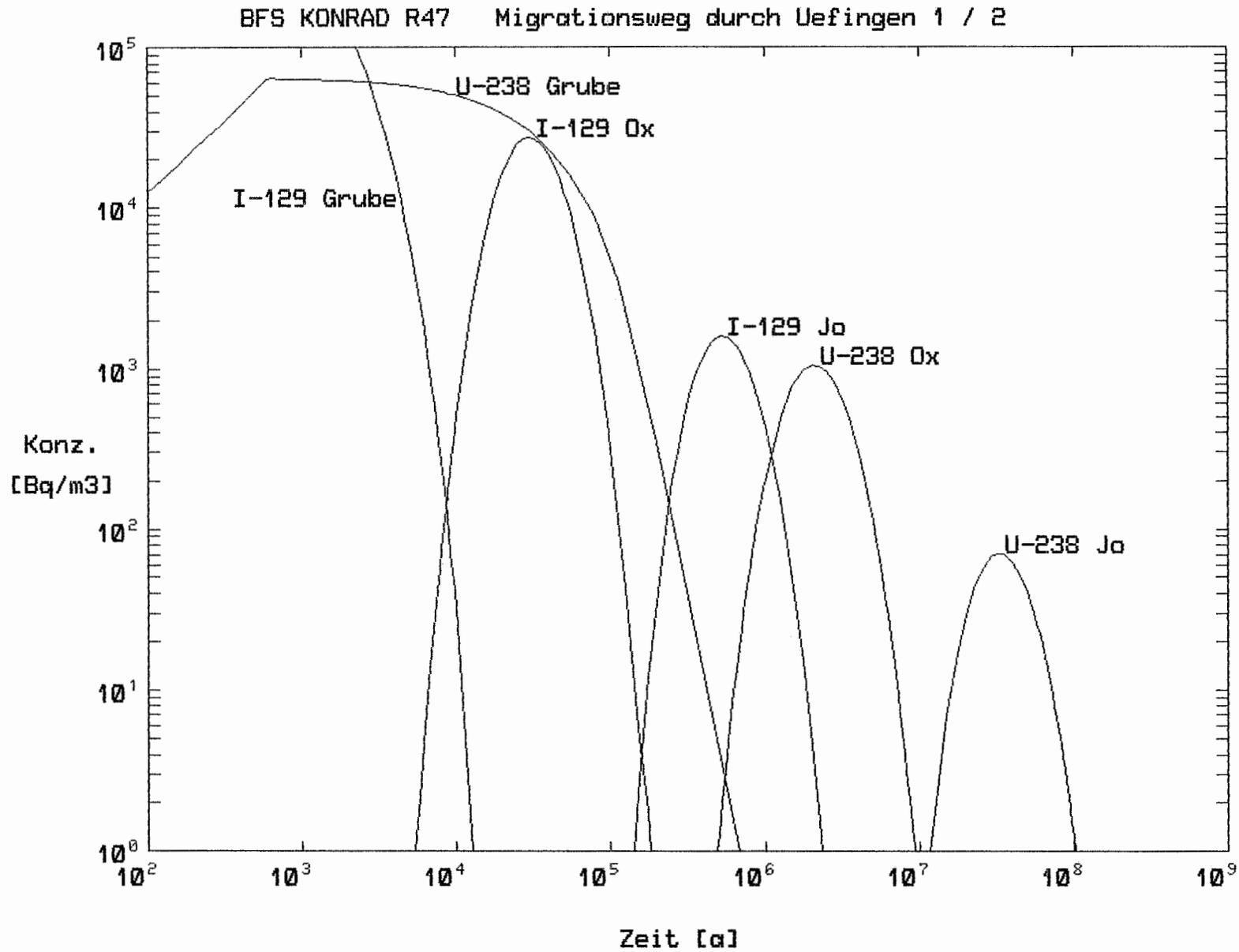


Abb. 6-3 Rechenfall R47 Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fließweges durch die Bohrung Uefingen 1/2 (synthetischer Fließweg)

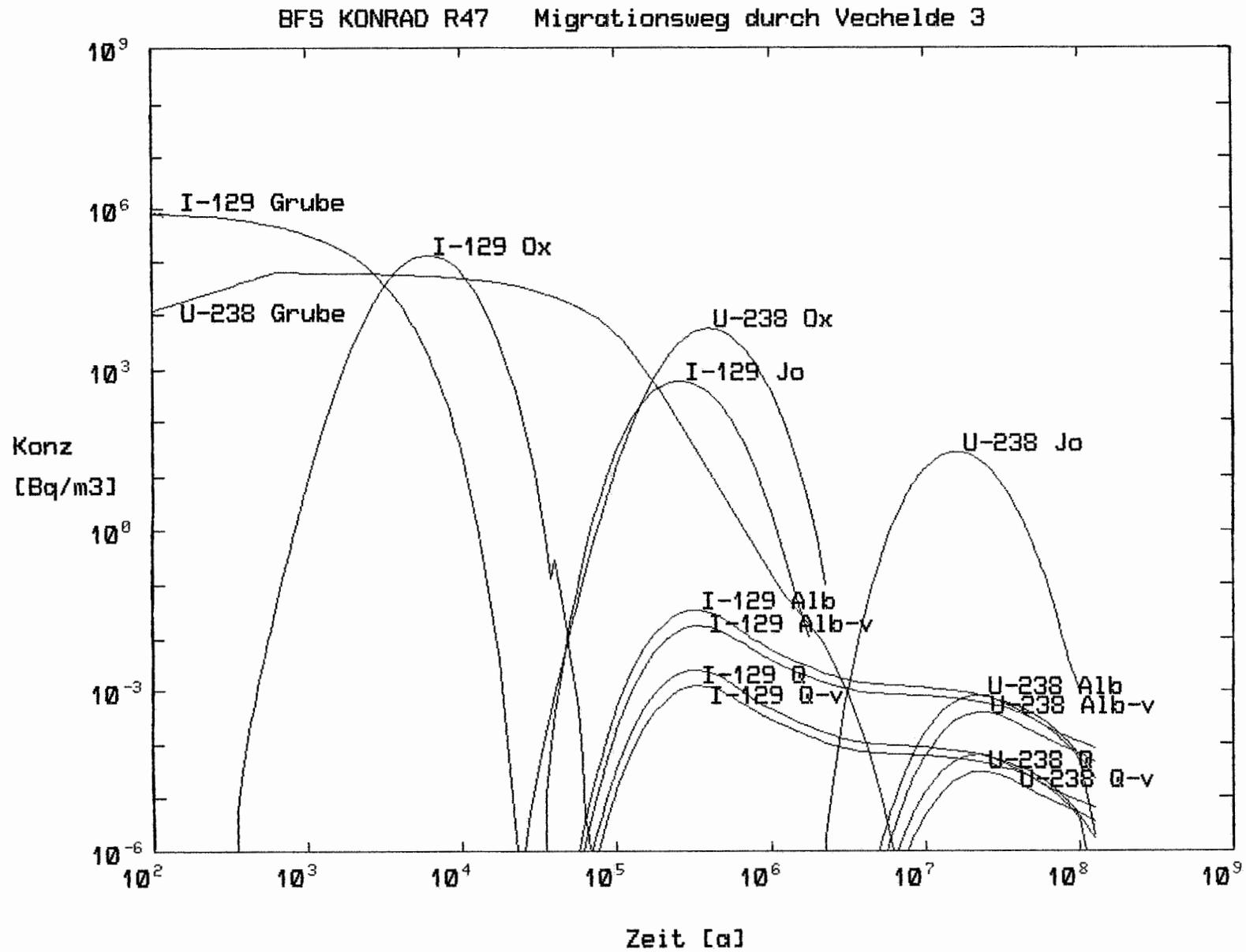


Abb. 6-4 Rechenfall R47: Zeitliche Entwicklung der Konzentrationen von I-129 und U-238 an den Hauptpunkten des Fließweges durch die Bohrung Vechelde 3 (Grundfall und Variante)

Matrixdiffusion in Bleckenstedt 1

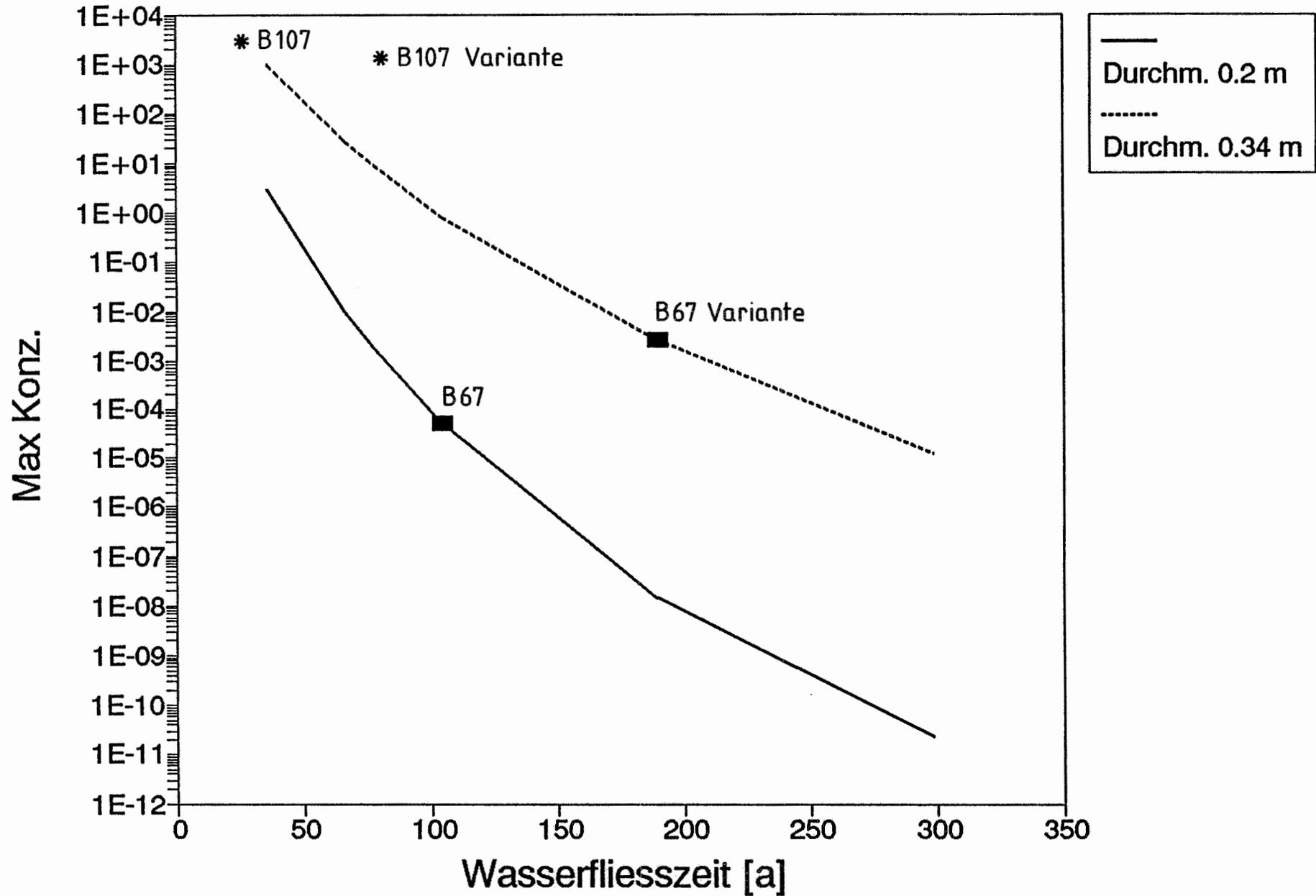


Abb. 6-5 Beeinflussung der Matrixdiffusion durch Wasserfließzeit und Bohrlochdurchmesser