

**Untersuchungen zur Langzeitsicherheit
der Grube Konrad
Analyse von Grundwasserbewegung und
Radionuklidausbreitung mit dem Rechenprogramm
CFEST auf der Basis eines tektonisch geprägten
hydrogeologischen Modells**

Bericht
für den
Technischen Überwachungsverein Hannover



Battelle-Institut e.V., Frankfurt am Main
Hauptabteilung Energie- und Verfahrenstechnik

Bericht BF-V-66.571-4

August 1989

I n h a l t

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Modellaufbau	2
2.1	Geologischer Schichtaufbau, Störzonen	2
2.2	FEM-Modell	5
3	Ergebnisse	6
3.1	Grundwasserbewegung	6
3.1.1	Potentialverteilung	6
3.1.2	Ausbreitungswege und Geschwindigkeitsverlauf	9
3.1.3	Vergleich mit SWIFT und FEM-301	12
3.2	Radionuklidausbreitung	15
3.2.1	J-129 Ausbreitung	15
3.2.2	U-238 Ausbreitung	18
3.2.3	Vergleich mit stratigraphischem Modell	19
4	Schlußfolgerungen	20
5	Literatur	21
6	Anhang: Dokumentation der Materialnummern	

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Rahmen der Begutachtung der Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers "Grube Konrad" wurden vom Battelle-Institut im Auftrag des TÜV Hannover Modellrechnungen zu Grundwasserbewegung und Radionuklid- ausbreitung in der Nachbetriebsphase mit dem Rechenprogramm CFEST durchgeführt. Grundlage dieser Untersuchungen war das von der BGR erstellte, stratigraphisch geprägte, hydrogeologische Modell der Grubenumgebung. Mögliche lokale Veränderungen der hydraulischen Leitfähigkeit an tektonischen Störzonen wurden in diesem Modell nicht berücksichtigt.

In der Zwischenzeit wurde vom NLFb als Gutachter der Genehmigungsbehörde eine explizite Berücksichtigung dieser tektonischen Störzonen mit lokal erhöhten Durchlässigkeiten bei den Modellrechnungen gefordert. In Erweiterung des ursprünglichen Auftrages wurden von Battelle zusätzliche Modellrechnungen mit einem neuen Finite-Element-Modell der Grubenumgebung durchgeführt, die die Störzonen berücksichtigen. Auf der Antragstellerseite wurden entsprechende Analysen mit den Rechenprogrammen SWIFT und FEM-301 durchgeführt.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die mit diesem Störzonenmodell durchgeführten Untersuchungen. Diese umfassen die Analyse der Grundwasserbewegung und die Berechnung der Radionuklid- ausbreitung für J-129 und U-238. Damit wird eine Vergleichsbasis zu einer unabhängigen Überprüfung der vom Antragsteller eingebrachten Analysen zur Langzeitsicherheit bereitgestellt. Darüber hinaus liefert die mit CFEST durchgeführte explizit dreidimensionale Analyse des Stofftransportproblems einen wesentlichen Beitrag zur Überprüfung der bei einfachen Ausbreitungsmodellen gemachten Annahmen über die Ausbreitungswege und der ermittelten Nuklidkonzentrationen.

2 Modellaufbau

2.1 Geologischer Schichtaufbau, Störzonen

Das für die Untersuchungen neu erstellte Finite-Element-Modell orientiert sich an den Vorgaben aus /1/, /2/, es besteht aus 14 unterschiedlichen Schichten mit dem oberen Muschelkalk als tiefster berücksichtigter geologischer Formation. Prinzipiell bestehen bezüglich Schichtabfolge und Tiefenverlauf keine Unterschiede zu dem stratigraphischen Modell nach /3/, lediglich das Alb wird explizit als geologische Schicht modelliert, es ist nicht mehr wie beim stratigraphischen Modell Bestandteil der Unterkreideschicht. Die zwischenzeitlich von der GSF diskutierten Modifikationen der Stratigraphie /4/ insbesondere im Süden an den Salzstöcken Thiede und Flachstöckheim wurden in das neue Modell nicht eingearbeitet. Ein nennenswerter Einfluß auf Grundwasserbewegung und Radionuklidenausbreitung ist davon ohnehin nicht zu erwarten.

Tab. 1 zeigt die verwendeten Materialdaten, Durchlässigkeitsbeiwerte, Porositäten und Retentionsfaktoren. Zum Vergleich sind auch die Durchlässigkeitsbeiwerte des stratigraphischen Modells /5/ angegeben; diese liegen meistens 1 Größenordnung höher. Besonders signifikant ist die wesentlich geringere vertikale hydraulische Leitfähigkeit der tiefliegenden Ton- und Mergelsteine beim tektonischen Modell. Der konservative Charakter des stratigraphischen Modells bezüglich der globalen Durchlässigkeitsbeiwerte wird hier deutlich.

Tab. 2 gibt einen Überblick über die modellierten Störzonen, d.h. die Zonen erhöhter Durchlässigkeit, und die jeweiligen Erhöhungsfaktoren für die hydraulische Leitfähigkeit. Diese Störungen sind fast vollständig tektonischen Ursprungs, lediglich der Oxfordausstrich am Unterkreide-Transgressionshorizont hat mit früherer Lösungsverwitterung eine andere Ursache für die lokal erhöhten hydraulischen Leitfähigkeiten. In Tab. 2 sind auch die stratigraphischen Schichtabfolgen angegeben, über die sich die Störungen erstrecken. Entsprechend den Vorgaben /1,2/ erhalten Alb, Hilssandstein und Rhät in diesen Störzonen keine erhöhten Durchlässigkeitsbeiwerte, dasselbe gilt auch für das Quartär.

Tabelle 1: Durchlässigkeitsbeiwerte, Porositäten, Retentionsfaktoren

Schichteinheit	Durchlässigkeitsbeiwert $[m/s]$		Porosität Modellwert Hydrologie	Porosität Modellwert Sorption	R _f J-129	R _f U-238
	Tekt. Modell	Strat. Modell				
Quartär, Tertiär	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.25	0.30	1	13.1
Emscher Mergel	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	0.20	0.25	1	16.6
Oberkreide	S:10 ⁻⁷ , N:10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	0.05	0.15	134	89.4
Alb	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁰ bzw. 10 ⁻¹²	0.10	0.20	1	209.0
Hilssandstein	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0.25	0.30	1	8.9
Unterkreide	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹⁰ bzw. 10 ⁻¹²	0.10	0.20	1	209.0
Kimmeridge, Port- land, Wealden	5·10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	0.10	0.10	1	61.8
Oxford	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	0.02	0.20	1	32.2
Dogger	h:10 ⁻¹⁰ , v:10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁰	0.10	0.20	2	32.2
Cornbrash	S:10 ⁻⁷ , N:10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	0.05	0.10	1	71.2
Lias	h:10 ⁻¹⁰ , v:10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁰	0.10	0.10	1	47.8
Rhät	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	0.20	0.20	1	21.8
Keuper	h:10 ⁻¹⁰ , v: 10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁰	0.10	0.10	1	47.8
Ob. Muschelkalk	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	0.02	0.02	1	256.0

Abk.: S = Süden; N = Norden; h = horizontal; v = vertikal

Tabelle 2: Modellierte Störzonen

Störzone	Vertikale Erstreckung der Störung	Erhöhungsfaktor Durchlässigkeitsbeiwert
Salzgitter-Höhenzug	durchgehend	25
Immendorfer Störung (inkl. westlicher Begleitstörung)	Muschelkalk bis Dogger	50
Ostflanke Salzstock Broistedt-Wendeburg- Rolfsbüttel	durchgehend	25
Randbereich Salzstock Thiede	durchgehend	25
Konrad-Graben	Muschelkalk bis Unterkreide	10
Vergitterungszonen (westlich und östlich Konrad-Graben)	Muschelkalk bis Unterkreide	60
Bereich südlich Konrad- graben	Muschelkalk bis Dogger	10
Überschiebung von Meine	durchgehend	50
Ausstrichhorizont Oxford	Oxford	10

2.2 FEM-Modell

Das ursprünglich entwickelte, stratigraphisch geprägte FEM-Modell des Untersuchungsgebietes /5/ war zur Analyse lokaler Effekte im Bereich tektonischer Störzonen wegen der grobmaschigen Elementstruktur ungeeignet. Aus diesem Grund wurde für die vorliegenden Untersuchungen ein vollständig neues FEM-Modell mit einem wesentlich feineren Netz erstellt, dessen Struktur sich stark an den geometrischen Vorgaben für die Störzonen orientiert. Außerdem wurde in diesem Modell der Bereich östlich der Immendorfer Störung ergänzt, der im stratigraphischen Modell nicht berücksichtigt wurde.

Bild 1 zeigt das FEM-Modell. Die Störzonenbereiche sind schraffiert dargestellt, die Vergitterungszonen des Konrad-Grabens mit der Salzstockflanke im Westen und der Immendorfer Störung im Osten sind kreuzschraffiert. Das Modell besitzt 317 Oberflächenknoten, es besteht aus insgesamt 3343 Knoten und 2790 Elementen.

Die Zuordnung der lokal unterschiedlichen Durchlässigkeitsbeiwerte zu den einzelnen Elementen der 14 modellierten Schichten ist im Anhang dokumentiert. Tabelle A1 zeigt das Ordnungsschema für die Materialnummern, die zugehörigen Materialparameter können der Programmeingabe (auf Magnetband) entnommen werden. Die Bilder A1 bis A14 zeigen die Zuordnung zu den Elementen. Aufgrund der feineren Diskretisierung war es bei diesem Modell möglich, die Unterbrechung von Wasserleitern an Verwerfungsbahnen zu beschreiben. In diesem Fall wurden den Elementen der Grundwasserleiter an den Verwerfungsbahnen die Materialdaten der benachbarten nichtleitenden Tongesteine zugewiesen. Ein direkter Kontakt verschiedener Grundwasserleiter wurde wie beim stratigraphischen Modell nicht modelliert.

Die Bilder 2 bis 16 zeigen die Tiefenlinienpläne der Schichten in einer Konturlinien-Darstellung. Die Bilder 18 bis 27 zeigen einen Vergleich von aus /3/ entnommenen vertikalen Schnitten durch das Untersuchungsgebiet mit der CFEST-Geometrie des tektonischen Modells; die Lage der Schnitte ist in Bild 17 angegeben. Die feinere Diskretisierung erlaubt eine sehr realitätsnahe Abbildung der geologischen Strukturen im Finite-Element-Modell.

Die Randbedingungen des Modells unterscheiden sich nicht von den Annahmen beim stratigraphischen Modell /5/, d.h. am Salzgitterhöhenzug wird eine Druckrandbedingung zur Beschreibung der Infiltration vorgegeben. Die übrigen Ränder und die Modellbasis sind undurchlässig. Bild 28 zeigt die vorgegebene Potentialverteilung an der Modelloberfläche entsprechend den Grundwasserhöhengleichen.

Bei den Ausbreitungsrechnungen wurden dieselben Modellannahmen bezüglich Quelltermen, Randbedingungen, Retentionsfaktoren sowie Dispersionslängen und Diffusionskoeffizienten wie beim stratigraphischen Modell gemacht /6/. Tab. 3 zeigt die angenommenen Dispersionslängen und Diffusionskoeffizienten, in Tab. 4 sind die Nuklidinventare und Freisetzungsraten für die beiden behandelten Radionuklide J-129 und U-238 wiedergegeben.

3 Ergebnisse

3.1 Grundwasserbewegung

3.1.1 Potentialverteilung

Die Potentialverteilung im System wird von der globalen Druckdifferenz zwischen Salzgitterhöhenzug und Allerniederung sowie der Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Untersuchungsgebiet geprägt. Die Bilder 30 bis 32 zeigen die Potentialvertei-

Tabelle 3: Dispersionslängen und Diffusionskoeffizient

longitudinale Dispersionslänge	200 m
transversale Dispersionslänge	20 m
Diffusionskoeffizient	$10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$

Tabelle 4: Nuklidinventare und Freisetzungsraten

Zeit [a]	Massenstrom \dot{m} [Bq/a]	
	J-129	U-238
0 - 10^4	1.54×10^7	4.58×10^8
$10^4 - 10^5$	0	3.12×10^7
$10^5 - 3 \times 10^5$	0	4.06×10^6
$3 \times 10^5 - 10^6$	0	9.9×10^5
$10^6 - 10^7$	0	6.4×10^3
$\sum \text{Bq}$	1.54×10^{11}	8.95×10^{12}

lung in 3 Vertikalschnitten entsprechend Bild 29. In den Bildern 33 bis 37 ist die Potentialverteilung an der Oberfläche von Oxford, Dogger, Cornbrash, Rhät und Muschelkalk dargestellt.

Global betrachtet ergibt sich eine ähnliche Potentialverteilung wie beim stratigraphischen Modell /5/ mit dem charakteristischen Druckabfall von den tiefen Schichten am Salzgitterhöhenzug im Süden zur Modelloberfläche an der Allerniederung im Norden. Die lokale Potentialverteilung im Innern des Untersuchungsgebiets wird aber von der Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte bestimmt und weicht deshalb wegen der unterschiedlichen Schichtdurchlässigkeiten und der modellierten Störzonen erheblich vom stratigraphischen Modell ab.

Bild 30 zeigt den Potentialverlauf entlang Schnitt A (Bild 29). Im oberen Bereich ist die Potentialverteilung ähnlich wie beim stratigraphischen Modell (Variante 2, Bild 28 /5/), im unteren Bereich fällt das Abknicken der Potentiallinien im Cornbrash auf. Dies ist eine Folge der anisotropen hydraulischen Leitfähigkeit von Dogger und Lias. Faktisch bedeutet dieser Verlauf, daß die Grundwasserbewegung von den Tongesteinen in den Cornbrash erfolgt. Der Cornbrash entwässert somit die tiefliegenden Tongesteine.

Derselbe Effekt zeigt sich in Schnitt B (Bild 31) entlang der Hauptströmungsrichtung. Bild 32 zeigt den Potentialverlauf im Schnitt C in Ost-West-Richtung durch den Lagerbereich. Der größte Teil des Druckabfalles von den tiefen Grundwasserleitern zur Oberfläche erfolgt über das Alb. Dies macht bereits die zentrale Bedeutung des Albs als Barriere gegen die Radionuklid-ausbreitung deutlich.

Der Einfluß der modellierten Störzonen auf die Potentialverteilung wird besonders an den Horizontalschnitten (Bilder 33 bis 37) deutlich. Wegen der höheren hydraulischen Leitfähigkeit sind die Potentialgradienten an den großräumigen, senkrecht zur

Hauptströmungsrichtung orientierten Störzonen im Bereich des Konradgrabens und der Überschiebung von Meine geringer als in den ungestörten Modellbereichen; dagegen ist der Einfluß der Störungen an den Salzstockrändern auf die Potentialverteilung gering. Die Unterbrechungen der Wasserleiter an den Verwerfungsbahnen von Immendorfer Störung, Konrad-Graben, Überschiebung von Meine und Gifhorn-Calberlah-Graben verursachen steile Potentialgradienten in diesen Bereichen.

3.1.2 Ausbreitungswege und Geschwindigkeitsverlauf

Die Vektoren der Strömungsgeschwindigkeit sind senkrecht zu den in 3.1.1 erläuterten Potentiallinien orientiert, deshalb ergeben sich als Folge der unterschiedlichen Potentialverteilungen auch andere Ausbreitungswege aus dem Lagerbereich im Vergleich zum stratigraphischen Modell. Bild 38 zeigt die Projektion von Bahnlinien, die im Lagerbereich beginnen, auf die Modelloberfläche. Der größte Teil der Bahnlinien beginnt im Oxford. Einige Startpunkte im Süden des Lagerbereichs liegen im Dogger. Bild 39 zeigt eine entsprechende Projektion auf die vertikale Nord-Süd-Ebene. Die Bahnlinien wurden nur bis zu ihrem Eintritt in den quartären Grundwasserleiter verfolgt, weil der berechnete Verlauf im Quartär selbst wegen der groben Modellierung dieser Schicht wenig realistisch erscheint.

Tab. 5 gibt einen Überblick über die berechneten Bahnlinien aus dem Lagerbereich. Die Laufwege und Laufzeiten sind prozentual auf die einzelnen Schichten aufgegliedert. Bei der Auswertung der Bahnlinien, die im Lagerbereich beginnen, konnte nur ein einziger relevanter Ausbreitungsweg identifiziert werden. Die Bahnlinien treten fast alle im nordwestlichen Bereich der Überschiebung von Meine an die Oberfläche. Nur einzelne Bahnlinien kommen erst weiter im Nordosten des Untersuchungsgebietes an die Oberfläche. Eine einzige erreicht die Gegend um Calberlah.

Die Laufzeiten liegen zwischen minimal ca. 10 Millionen Jahren und maximal ca. 80 Millionen Jahren mit einer deutlichen Häufung im Bereich von ca. 30 Millionen Jahren (Tab. 5).

Tabelle 5: Laufwege und Laufzeiten von Bahnlinien aus dem Lagerbereich

	Startelement	80040	80040	80040	80040	80040	80041	80051	80051	80052	80052	80053	80059	80059	80063	80063	80064	80065	80068	90040	90040	90040	90040	90040	90041	90052
Laufweg	Emscher Mergel	2.5	3.5	2.8	3.5	2.3	2.6	2.6	-	2.4	-	3.8	2.3	3.7	2.1	2.8	2.8	2.6	2.0	2.6	3.5	-	3.5	-	2.6	-
	Alb	0.5	0.6	0.4	0.6	0.4	0.1	0.5	-	3.6	0.02	0.4	0.5	0.7	0.5	3.9	0.5	0.5	3.8	0.4	0.6	-	0.6	-	0.5	-
	Unterkreide	3.5	1.7	4.0	1.8	7.0	1.3	3.8	-	1.6	1.8	1.4	4.0	1.9	4.3	1.7	4.0	3.7	2.3	4.0	1.8	0.1	1.8	0.2	3.4	0.1
	Kimmeridge	22.6	36.0	20.4	36.7	20.4	31.6	31.1	40.4	28.4	25.4	32.0	30.7	38.9	29.4	30.4	0.4	21.2	9.6	20.0	36.4	20.5	36.8	22.2	21.7	21.2
	Oxford	28.4	31.0	28.6	29.4	26.2	42.3	18.5	50.2	42.5	30.0	39.8	17.3	31.5	18.0	37.7	41.6	25.5	58.8	28.7	29.6	28.3	29.4	23.2	28.2	25.4
	Dogger	10.2	12.8	9.8	11.8	9.6	7.8	10.7	9.4	7.9	8.9	8.0	11.0	8.1	11.5	8.7	11.4	10.5	8.4	11.1	13.7	7.7	10.5	8.7	10.9	8.7
	Cornbrash	32.4	14.4	33.9	16.1	34.1	14.2	32.9	-	13.7	33.9	14.6	34.2	15.2	34.2	14.8	39.2	36.0	15.2	33.3	14.3	43.4	17.3	45.7	32.7	44.6
Laufzeit	Emscher Mergel	0.01	0.01	0.3	0.02	0.2	0.03	0.01	-	0.01	-	0.1	0.01	0.03	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.25	0.02	-	0.03	-	0.01	-
	Alb	13.9	13.3	12.0	20.0	7.1	6.6	13.4	-	63.3	1.7	22.7	13.1	29.4	12.5	63.9	14.9	14.4	60.8	10.4	13.6	-	23.6	-	13.0	-
	Unterkreide	39.0	7.8	47.7	14.1	76.3	14.7	39.6	-	10.7	40.4	12.2	40.8	20.9	42.4	10.5	43.5	40.4	16.0	41.0	9.7	2.8	16.3	4.6	33.8	3.4
	Kimmeridge	6.5	7.0	5.4	10.1	2.3	23.8	7.5	6.2	7.1	10.1	19.5	7.1	15.7	6.6	6.9	0.01	5.9	2.5	4.6	6.8	8.2	11.7	8.0	5.7	9.3
	Oxford	0.6	0.4	0.6	0.6	0.2	1.8	0.4	0.7	0.7	0.8	1.4	0.4	0.9	0.4	0.6	1.1	0.6	1.0	0.5	0.4	1.6	0.7	1.4	0.5	1.7
	Dogger	39.9	71.4	33.9	55.2	13.9	53.0	39.0	93.1	18.2	46.8	43.9	38.4	33.1	37.8	18.1	40.3	38.6	19.7	43.2	69.4	87.1	47.7	85.7	46.8	85.1
	Cornbrash	0.2	0.03	0.1	0.05	0.06	0.1	0.14	-	0.03	0.2	0.1	0.1	0.07	0.1	0.03	0.2	0.2	0.03	0.12	0.03	0.4	0.06	0.4	0.14	0.46
Laufweg [km]	30.8	28.9	31.1	28.9	31.6	28.6	29.4	36.4	28.3	33.6	27.9	28.5	27.5	27.4	26.3	27.0	29.1	24.8	31.7	29.1	39.8	28.9	38.0	30.8	39.0	
Laufzeit [Mio. a]	32.2	39.5	34.8	26.0	81.7	11.3	33.2	44.4	33.9	23.3	13.7	33.6	18.0	34.8	34.6	29.9	31.2	31.8	40.3	38.9	20.2	22.4	20.9	35.0	17.9	

Im einzelnen läßt sich der Freisetzungsverlauf für den überwiegenden Teil der Bahnlinien in der folgenden Weise charakterisieren (Bild 38 und 39). Die Bahnlinien bewegen sich im Süden des Einlagerungsbereichs zunächst in nordöstlicher Richtung.

Bei Erreichen des Konrad-Grabens knicken sie in nordwestlicher Richtung ab und bewegen sich fast parallel mit dem Konrad-Graben auf den Salzstock Broistedt zu. Nachdem sie den Nordrand der Konradstörung passiert haben, bewegen sie sich parallel zu den westlichen Salzstockstrukturen in Richtung Norden. Bis hierher laufen sie ausschließlich durch Oxford und Kimmeridge und pendeln unter Umständen zwischen diesen beiden Schichten hin und her. Auf der Höhe zwischen Vechelde und Wendeburg treten die Bahnlinien in die Doggeronsteine ein, dabei knicken sie nach Osten ab und bewegen sich dann etwas in dieser Richtung. Bei Erreichen des Cornbrash ändern sie wieder ihre Richtung nach Norden parallel zu den westlichen Salzstockstrukturen. Sie verlassen den Cornbrash anschließend nicht mehr bis zum Erreichen der Überschiebung von Meine. Hier durchlaufen sie die gesamten Schichten parallel zur Störungszone in Richtung Nordwesten bis zur Modelloberfläche. Das Quartär erreichen sie in der Gegend von Adenbüttel und Meine.

Die dazugehörigen Laufwege und Laufzeiten in den einzelnen Schichten sind Tab. 5 zu entnehmen. Die längsten Wege werden in den Wasserleitern Kimmeridge, Oxford und Cornbrash zurückgelegt. Die Laufzeiten ergeben sich vorwiegend aus den Zeiten, die zum Durchströmen von Alb, Unterkreide und Dogger notwendig sind. Insbesondere die Laufzeiten in den guten Wasserleitern Oxford und Cornbrash sind dagegen vernachlässigbar. Daraus läßt sich ableiten, daß sich wesentlich kürzere Freisetzungszeiten ergeben könnten, wenn es Stromlinien gäbe, die auf dem gesamten Freisetzungspfad in diesen Wasserleitern verblieben. Legt man die mittleren Transportgeschwindigkeiten in Oxford (0.05 m/a) und Cornbrash (0.25 m/a) zugrunde, so wären in einem solchen Fall bei einem angenommenen Laufweg von 50 km (Aufstieg bei Calberlah) Laufzeiten von 1 Million bzw. 200000 Jahren zu erwarten.

3.1.3 Vergleich mit SWIFT und FEM-301

Das untersuchte Problem wurde auf der Antragstellerseite von der GSF mit SWIFT /7/ und von Motor Columbus AG mit FEM-301 /8/ analysiert. Bei der Erstellung dieser Modelle wurden die gleichen Basisdaten hinsichtlich geologischer Struktur (mit geringfügigen Abweichungen, siehe S. 2), Materialdaten, Randbedingungen usw. verwendet. Die Resultate der drei Analysen bezüglich Potentialverteilung und Freisetzungswegen werden hier miteinander verglichen.

Wegen der unterschiedlichen Darstellungsweise sind die berechneten Potentialverläufe nur schematisch miteinander vergleichbar. Hierzu eignen sich Bild 31 und 32 im Vergleich mit Abb. 4-6 aus /7/ bzw. Anh. C1.1.8 und Anh. C1.1.4 aus /8/. Es zeigen sich, global betrachtet, dieselben Charakteristika mit dem Abknicken der Potentiallinien im Cornbrash und dem starken Potentialabfall über das Alb und die Unterkreide besonders im Süden des Untersuchungsgebietes. Im Detail sind bisweilen gewisse Unterschiede vorhanden. Dies ist auf die Interpretation und Umsetzung der Basisdaten im Rechenmodell sowie auf die programmspezifischen numerischen Methoden und Verfahren zurückzuführen. Am weitesten stimmen CFEST- und FEM-301-Verläufe überein, während SWIFT in Teilbereichen etwa im unteren Bereich des Untersuchungsgebietes am Salzgitterhöhenzug deutlich hiervon abweicht.

Tab. 6 gibt einen Überblick über die mit den 3 Programmen ermittelten Freisetzungsorte und die zugehörigen Laufzeiten. Die Freisetzungsorte sind entsprechend dem in /8/ angegebenen Kategorisierungsschema (Tab. 4-16) gruppiert, mittlere Laufzeit und Anzahl der gefundenen Bahnlinien sind zur Beurteilung der Bedeutung des jeweiligen Ausbreitungspfades ergänzt.

Tabelle 6: Vergleich der Freisetzungzeiten

Endpunkt der Bahnlinien	SWIFT			FEM - 301			CFEST		
	Bereich [Mio a]	Mittel [Mio a]	Anzahl	Bereich [Mio a]	Mittel [Mio a]	Anzahl	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio a]	Anzahl
Umgebung Grube	287	287	1	1.3 - 20.1	9.7	5	-	-	-
Thiede	1.2 - 9.1	4	3	-	-	-	-	-	-
Nördliche Umgebung Grube bis Meine	3.2	3.2	1	31.6 - 53.4	42.5	2	-	-	-
Salzstockrand Broistedt-Rolfs- büttel	-	-	-	0.38 - 1.3	0.8	2	-	-	-
Meine-Calberlah Gifhorn	0.17 - 2.1	0.7	10	5.0 - 269.7	78.9	10	11.3 - 81.7	31.3	25

Die Berechnungen mit den drei unterschiedlichen Programmen ergeben in Übereinstimmung, daß dem Ausbreitungsszenario mit Freisetzung im Norden des Untersuchungsgebietes im Bereich Meine-Calberlah-Gifhorn dominierende Bedeutung zukommt. Bei CFEST liegt die überwiegende Anzahl der Freisetzungspunkte im Bereich von Meine, einige Bahnlinien reichen bis Calberlah. Die mit FEM-301 ermittelten Freisetzungspunkte liegen vorwiegend im Gebiet zwischen Meine und Gifhorn, während bei SWIFT die meisten Bahnlinien bis in den Bereich von Calberlah gelangen. Offensichtlich ist dies wieder wie beim stratigrafischen Modell /5/ eine Folge davon, daß die Bahnlinien in SWIFT wegen der Überrepräsentation der Wasserleiter im Modell die Tendenz besitzen, diesen Wasserleitern durchgehend zu folgen. Dies wird bei den berechneten Laufzeiten besonders deutlich. Bei SWIFT liegen diese, da die Bahnlinien bis Calberlah vollständig im Cornbrash verbleiben, bei 700000 Jahren, während CFEST und FEM-301 Laufzeiten von ca. 10 bis über 100 Millionen Jahren berechnen, weil die Freisetzung mit dem Durchströmen der weniger durchlässigen Schichten von Dogger, Unterkreide und Alb verbunden ist.

Mit CFEST konnte nur dieses Ausbreitungsszenario mit Freisetzung im Norden gefunden werden. Die beiden anderen Programme ergeben auch Freisetzungswege in Grubennähe sowie an den Salzstockflanken. Eine genauere Untersuchung ergibt jedoch, daß bei FEM-301 ein Teil der für diese Freisetzungswege ermittelten Bahnlinien noch im Innern des Untersuchungsgebietes abbricht /8/ und die Oberfläche nicht erreicht. Damit verbleiben für diese übrigen Ausbreitungswege bei SWIFT und FEM-301 nach Tab. 6 nur wenige - manchmal nur eine - Bahnlinie.

Auf jeden Fall dominiert das Szenario mit Freisetzung im Norden. Dies hat seine Ursache in der Barrierefunktion des Alb, das von den Tiefenwässern nur gering in Richtung Modelloberfläche durchströmt werden kann, weil es auch in den Störzonen wegen der quellfähigen Tone keine erhöhte hydraulische Durchlässigkeit besitzt /1/. Als Folge davon treten die Bahnlinien erst im Norden des Untersuchungsgebietes, wo das Alb ausstreicht, in den quartären Grundwasserleiter.

3.2 Radionuklidausbreitung

3.2.1 J-129 Ausbreitung

Die Analyse der Grundwasserbewegung beim tektonischen Modell hat einen ähnlichen Bahnlinienverlauf wie bei Variante 2 beim stratigraphischen Modell /5/ mit Erreichen des Quartärs im Norden des Modellgebietes ergeben. Die modellierten Störzonen haben sich nur lokal auf die Potentialverteilung ausgewirkt. Dies legt die Vermutung nahe, daß die Radionuklidausbreitung in ähnlicher Weise erfolgt, wie in /6/ für Variante 2 analysiert.

Die Bilder 40 bis 45 zeigen die Ausbreitung von J-129 im Vertikalschnitt D (siehe Bild 29), der sich am Verlauf der Bahnlinien aus dem Lagerbereich orientiert. Einen guten Eindruck des Radionuklidaustrags aus dem Lagerbereich erhält man, wenn man die Isolinie mit dem Konzentrationswert $1.0E-02$ Bq/l verfolgt. Das Radionuklid breitet sich vorwiegend in Richtung Norden aus, der Transport erfolgt überwiegend in Oxford und Kimmeridge sowie in den tiefen Grundwasserleitern, das Radionuklid gelangt dabei kaum in das Unterkreidedeckgebirge. Im Bereich des Konrad-Grabens fällt eine charakteristische zahnförmige Ausbuchtung der Isolinie in Richtung auf die Modelloberfläche auf. Dies ist eine Folge der höheren Durchlässigkeit der geologischen Schichten in der Konrad-Störzone. Offensichtlich wird das Grundwasser in dieser Störzone nach oben gepreßt, es transportiert hierbei das Radionuklid aus dem Lager in das aufliegende Deckgebirge. Nachdem das Radionuklid aus dem Lagerbereich ausgespült ist, treten höhere Konzentrationen nur noch im Norden des Untersuchungsgebietes auf (Bild 45).

Die Bilder 46 bis 48 zeigen die Nuklidkonzentration in einem Schnitt in Ost-West-Richtung durch den Lagerbereich. In diesem Schnitt zeigt sich der Nuklidtransport aus dem Lagerbereich zu den Salzstockrändern, die das Untersuchungsgebiet im Osten und

Westen begrenzen. Eine wesentliche Rolle bei diesem Transport spielt der Hilssandstein, der als guter Grundwasserleiter die Störzonen an den Salzstockflanken mit der Nuklidquelle im Lagerbereich verbindet. Der Vergleich von Bild 47 und 48 zeigt jedoch, daß die Konzentrationen an den Salzstockflanken relativ rasch wieder abnehmen, wenn keine Freisetzung im Lagerbereich mehr erfolgt und das Nuklid bereits in Richtung Norden transportiert wurde.

Die Bilder 49 bis 54 zeigen die Nuklidkonzentration an der Oberfläche des Oxford zu verschiedenen Zeiten. Auffallend ist das Vorseilen der Konzentrationslinien an den westlichen Salzstockstrukturen. Dies ist auf die erhöhte Grundwassergeschwindigkeit in diesem Bereich als Folge der größeren hydraulischen Leitfähigkeit dieser Störzone zurückzuführen. In Bild 53 und 54 erkennt man den bereits in /6/ identifizierten Stau-effekt am nördlichen Modellrand, der sich in einem lokalen Konzentrationsmaximum äußert.

Die Bilder 55 bis 58 zeigen entsprechende Verläufe für die Oberfläche der Unterkreideschicht. Im Prinzip zeigen sich dieselben Effekte mit dem Vorseilen der Konzentrationslinien an den westlichen Salzstockflanken und dem lokalen Konzentrationsmaximum ganz im Norden und im Gebiet von Calberlah. Nach Freisetzungsende fallen die Konzentrationen im Süden relativ schnell ab, weil das Wasser im Hilssandstein das Radionuklid ausspült.

Den Konzentrationsverlauf an der Modelloberfläche findet man in den Bildern 59 bis 64. Zuerst bildet sich ein lokales Konzentrationsmaximum im Osten am Salzstock Thiede (Bild 59). Später entsteht auch am Salzstockrand im Westen bei Vechelde ein lokales Maximum (Bild 60), die Konzentrationen im Osten am Salzstock Thiede nehmen wieder ab. Im weiteren Verlauf entstehen Konzentrationsmaxima in der Gegend von Calberlah (Bild 61), wo die tiefen geologischen Schichten an das Quartär reichen, und am Nordrand des Untersuchungsgebietes am Salzstock Gifhorn (Bild 63 und 64).

Einen Eindruck über die Höhe der an der Modelloberfläche auftretenden Konzentrationen an verschiedenen Oberflächenknoten gewinnt man aus den Bildern 65 bis 68. Diese Bilder zeigen den Zeitverlauf der Konzentrationen an verschiedenen Oberflächenknoten entsprechend Bild 29. Bild 65 zeigt den Zeitverlauf an Oberflächenknoten am westlichen Salzstockrand, Bild 66 zeigt entsprechende Verläufe am östlichen Modellrand. Ein Vergleich zeigt, daß das Maximum am Salzstock Thiede (Knoten 66) nach 9×10^4 Jahren etwas früher auftritt als am westlichen Salzstockrand (Knoten 132) nach 4×10^5 Jahren. Dort ist auch die Maximalkonzentration etwas höher. Bild 67 zeigt den zeitlichen Konzentrationsverlauf an verschiedenen Knoten entlang der Hauptströmungsrichtung bis in die Gegend von Calberlah. Offensichtlich sind die Maximalkonzentrationen im Norden des Untersuchungsgebietes (Knoten 288, 281) wesentlich höher als im Süden. Bild 68 zeigt den Konzentrationsverlauf an verschiedenen Knoten im Norden. Das absolute Maximum tritt am Salzstock Gifhorn (Knoten 259) nach 3.9×10^6 Jahren auf, allerdings ist dieses Maximum nicht sonderlich ausgeprägt. Konzentrationen derselben Größenordnung treten auch im Bereich Calberlah (Knoten 306) hier jedoch etwas früher auf.

Der dargestellte Konzentrationsverlauf an der Oberfläche ist auf der Basis des in Kap. 3.1.2 ermittelten Bahnlinienverlaufs aus dem Lagerbereich verständlich. Abgesehen von den lokalen Maxima im Süden an den Salzstockflanken, treten die größten Konzentrationen im Norden des Untersuchungsgebietes auf, wo die Bahnlinien aus dem Lagerbereich die Oberfläche erreichen. Die Maximalwerte liegen dort ca. 1 Größenordnung über den für den Süden ermittelten Werten.

Die Ergebnisse sind mit den Berechnungen für das stratigraphische Modell (Variante 2) qualitativ vergleichbar. Bei dieser Variante wurden mit Ausnahme der tektonischen Störzonen vergleichbare Materialparameter verwendet. Dies bedeutet aber, daß die lokal erhöhten Durchlässigkeiten an den tektonischen Störzonen zu keiner signifikanten Änderung des Ausbreitungsverhaltens führen.

3.2.2 U-238 Ausbreitung

Die Ausbreitung des Radionuklids U-238 unterscheidet sich von derjenigen des J-129 vor allem dadurch, daß die Freisetzung aus dem Lager über deutlich längere Zeiträume erfolgt und U-238 in allen geologischen Formationen eine starke Retention erfährt. Dies äußert sich vor allem in wesentlich längeren Zeiten, die bis zur Freisetzung von U-238 in die Biosphäre vergehen. Hinsichtlich des Ausbreitungsverhaltens bestehen keine großen Unterschiede.

Die Bilder 69 bis 75 zeigen die U-238 Konzentration im vertikalen Schnitt D (Bild 29), die Bilder 76 bis 78 zeigen die Konzentration im Schnitt C in Ost-West-Richtung durch den Lagerbereich. Es finden sich dieselben Charakteristika wie auch bei der Ausbreitung von J-129.

In den Bildern 79 bis 88 ist der Konzentrationsverlauf an der Oberfläche von Oxford und Unterkreide dargestellt. Es fällt auf, daß in dem untersuchten Zeitrahmen das bei J-129 beobachtete lokale Konzentrationsmaximum am nördlichen Modellrand noch nicht auftritt, weil das U-238 wegen der starken Retention wesentlich langsamer durch das System transportiert wird und sich deshalb am Rand noch nicht auf sammeln kann.

An der Oberfläche (Bild 89 bis 94) finden sich dieselben lokalen Maxima wie bei den Ausbreitungsrechnungen zu Jod. Die größten Konzentrationen werden für den Bereich bei Calberlah im Norden ermittelt. Am Salzstock Gifhorn sind die Konzentrationen wegen der starken Retention noch nicht so hoch. Den Zeitverlauf der Konzentration kann man den Bildern 95 bis 98 entnehmen. Wegen der starken Retention ist die Radionuklidfreisetzung in die Biosphäre im Vergleich zu J-129 über längere Zeiten gestreckt, so daß die Maxima flacher verlaufen.

3.2.3 Vergleich mit dem stratigraphischen Modell

Im Hinblick auf die Orte maximaler Freisetzung in die Biosphäre haben tektonisches und stratigraphisches Modell (Variante 2) qualitativ dieselben Resultate geliefert. Die verbleibenden Unterschiede bei zeitlichem Verlauf und Höhe der Konzentrationen lassen sich erklären, wenn man die Konzentrationen an den Oberflächenknoten, an denen die höchsten Konzentrationen auftreten, miteinander vergleicht. In Bild 99 ist zu diesem Zweck der zeitliche Verlauf der Maximalkonzentration von J-129 und U-238 dargestellt. Um die Vergleichbarkeit zu sichern, sind die mit CFEST ermittelten Konzentrationen in dieser Darstellung mit dem Faktor 0.1 multipliziert, womit die Vermischung der Tiefenwässer mit dem quartären Grundwasser beim Eintritt in das Quartär beschrieben werden soll. Dieses Bild ist mit Bild 75 aus /6/ (stratigraphisches Modell Variante 2) zu vergleichen.

Tab. 7 zeigt zusammenfassend die mit den verschiedenen Modellen und Programmen ermittelten Maximalkonzentrationen. Es zeigt sich, daß die mit dem tektonischen Modell ermittelten Maximalkonzentrationen recht gut mit den Werten beim stratigraphischen Modell übereinstimmen. Allerdings treten die Maximalkonzentrationen beim tektonischen Modell zu späteren Zeiten auf. Diese Unterschiede lassen sich verschiedenen Aspekten zuordnen.

Tabelle 7: Maximalkonzentration im Quartär (Verdünnungsfaktor 0.1 berücksichtigt)

	J-129			U-238		
	C_m [Bq/l]	t_m [a]	Ort	C_m [Bq/l]	t_m [a]	Ort
CFEST tek. Modell	1.9×10^{-4}	3.9×10^6	Gifhorn	6.3×10^{-5}	7.4×10^7	Calberlah
CFEST strat. Modell	5×10^{-5}	10^6	Calberlah	9×10^{-5}	8×10^6	Calberlah
SWIFT-1D	10^{-2}	3×10^5	Calberlah	9×10^{-3}	10^7	Calberlah

Die Verschiebung der Freisetzung zu späteren Zeiten ist in erster Linie darauf zurückzuführen, daß beim tektonischen Modell die hydraulischen Leitfähigkeiten im Schnitt um 1 Größenordnung geringer sind. Das äußert sich bei identischen Randbedingungen in größeren Laufzeiten und damit späterer Freisetzung.

Für die Differenzen in der Höhe der Konzentrationen ist u.a. die numerische Dispersion verantwortlich. Hierbei spielen zwei gegenläufige Effekte eine Rolle. Wie in /6/ erläutert, wird das Stoffinventar mit größeren Diskretisierungslängen und längeren Zeiten zunehmend im System "verschmiert". Bezüglich dieser beiden Aspekte unterscheidet sich das tektonische Modell von dem stratigraphischen in der Form, daß die Diskretisierungslängen wegen der feineren Netzstruktur kürzer sind, während die Zeiten wegen der langsameren Freisetzung größer sind. Die jeweilige Dominanz dieser beiden Phänomene trägt zusammen mit den unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten zu den geringfügigen Differenzen bei den Maximalkonzentrationen bei.

In Tabelle 7 sind zum Vergleich auch die vom Antragsteller mit Hilfe eindimensionaler SWIFT-Analysen ermittelten Maximalkonzentrationen für das Oxford-Szenario (Variante 2) aufgeführt. Aufgrund unserer Rechnungen zum tektonischen und stratigraphischen Modell können wir aus unserer Sicht den konservativen Charakter dieser Berechnungen bestätigen.

7. Schlußfolgerungen

Die explizite Berücksichtigung der tektonischen Störzonen im hydrogeologischen Rechenmodell äußert sich in im Detail unterschiedlichen Potentialverläufen und Freisetzungswegen. Global betrachtet ergeben sich aber ähnliche Resultate wie beim Oxford-Szenario (Variante 2, stratigraphisches Modell), bei dem vergleichbare Modellannahmen zugrunde liegen.

Die Freisetzung erfolgt vorwiegend im Norden des Untersuchungsgebietes, wo das Alb ausstreicht. Die Untersuchungen haben die zentrale Bedeutung des Alb als Barriereformation, die auch in den Störzonen keine erhöhte Durchlässigkeit aufweist, verdeutlicht.

Hinsichtlich der Höhe der zu erwartenden Nuklidkonzentrationen an der Oberfläche haben sich keine wesentlichen, neuen Aspekte im Vergleich zu den bereits durchgeführten Untersuchungen ergeben. Der konservative Charakter der eindimensionalen Analysen des Antragstellers wurde erneut verdeutlicht.

Literatur

- /1/ Langzeitsicherheit Konrad, Alternativen zu dem im Plan Konrad beschriebenen Modell - Hü/Koh, BGR, erläuternde Unterlage (lfd. Nr. 152), 14.8.1987
- /2/ Langzeitsicherheit Konrad, ergänzende Unterlage zu der Alternative zu dem im Plan Konrad beschriebenen Modell, erläuternde Unterlage (lfd. Nr. 152.1), 17.9.1987
- /3/ M. Hüser, Chr. Neumann-Redlin: Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad, Grundlagen der Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Archiv-Nr. 99131, (lfd. Nr. 55), April 1986
- /4/ G. Arens, R. Storck: Grundwasserrechnung mit veränderter Geologie für das Gebiet Konrad, LV-Nr. 9K-352127.30, erläuternde Unterlage (lfd. Nr. 206), 24.11.1988

- /5/ M. Geiß, K. Fischer: Untersuchungen zur Langzeitsicherheit der Grube Konrad. Hydrologische Modellrechnung mit dem Rechenprogramm CFEST, Battelle-Institut e.V., Frankfurt am Main, Bericht BF-V-66.571-2, April 88
- /6/ M. Geiß, K. Fischer: Untersuchungen zur Langzeitsicherheit der Grube Konrad. Analyse der Radionuklidenausbreitung in der Nachbetriebsphase mit dem Rechenprogramm CFEST, Battelle-Institut e.V., Frankfurt am Main, Bericht BF-V-66.571-3, April 1988
- /7/ G. Arens et al.: Modellrechnung zur Grundwasserbewegung mit dem Programm SWIFT für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell für das Endlager Konrad, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München, LV-Nr 9K-352126.38 (lfd. Nr. 193) August 1988
- /8/ Modellrechnung zur Grundwasserbewegung mit dem Programm FEM-301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell, Motor Columbus AG Baden, Schweiz, (lfd. Nr. 210), November 1988

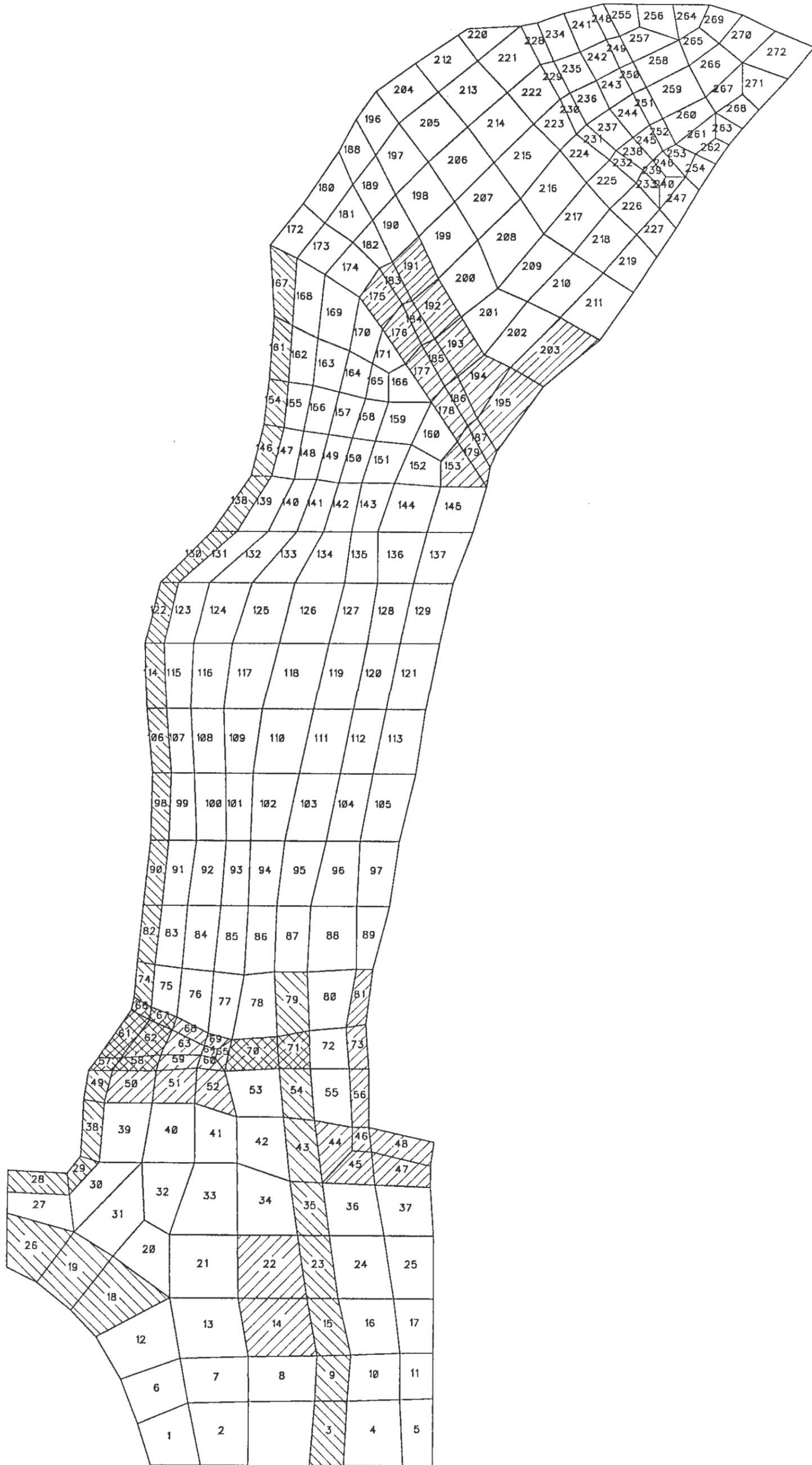


BILD 1: FINITE-ELEMENT NETZ TEKTONISCHES MODELL

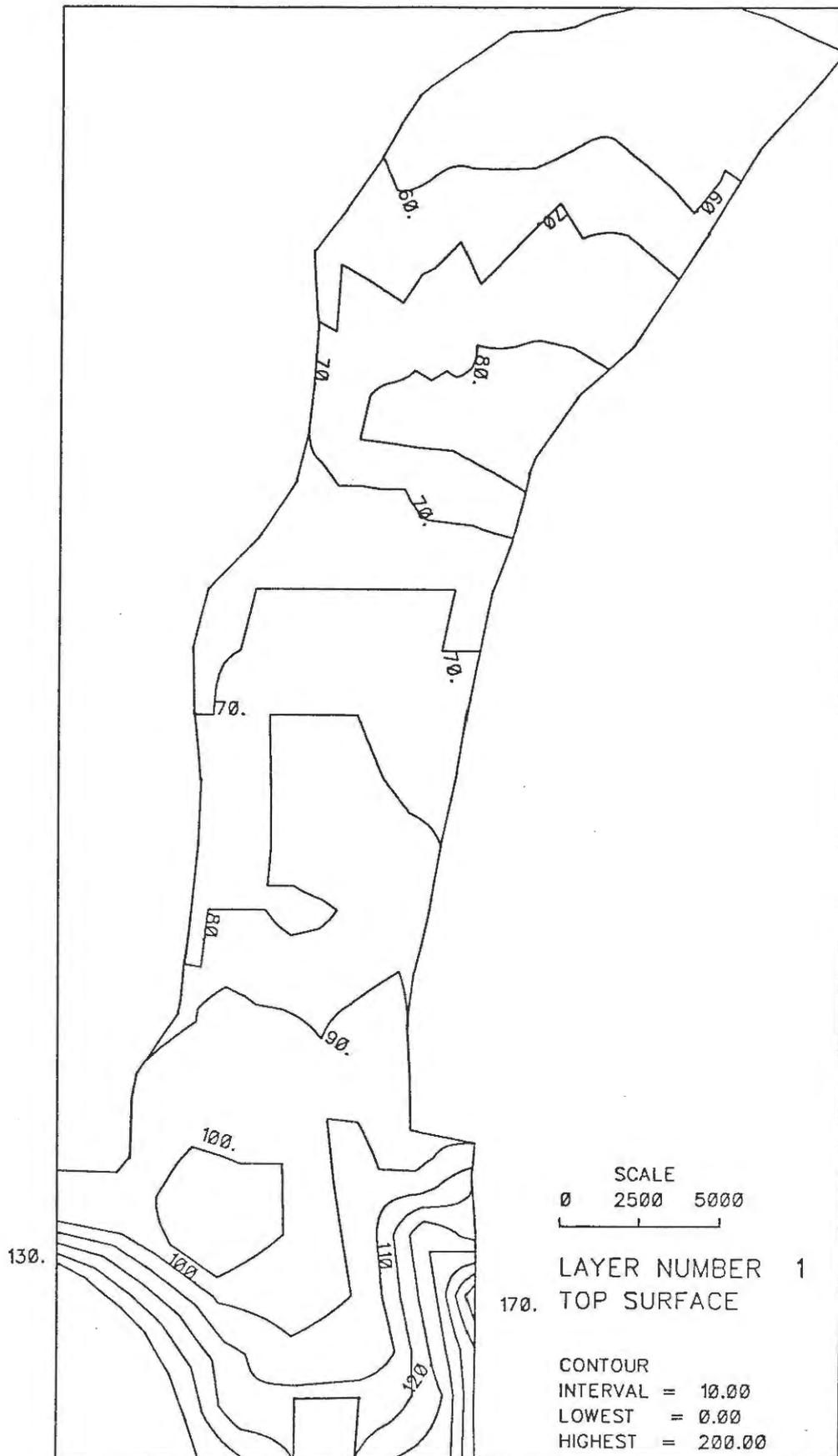


BILD 2: MODELLOBERFLAECHE

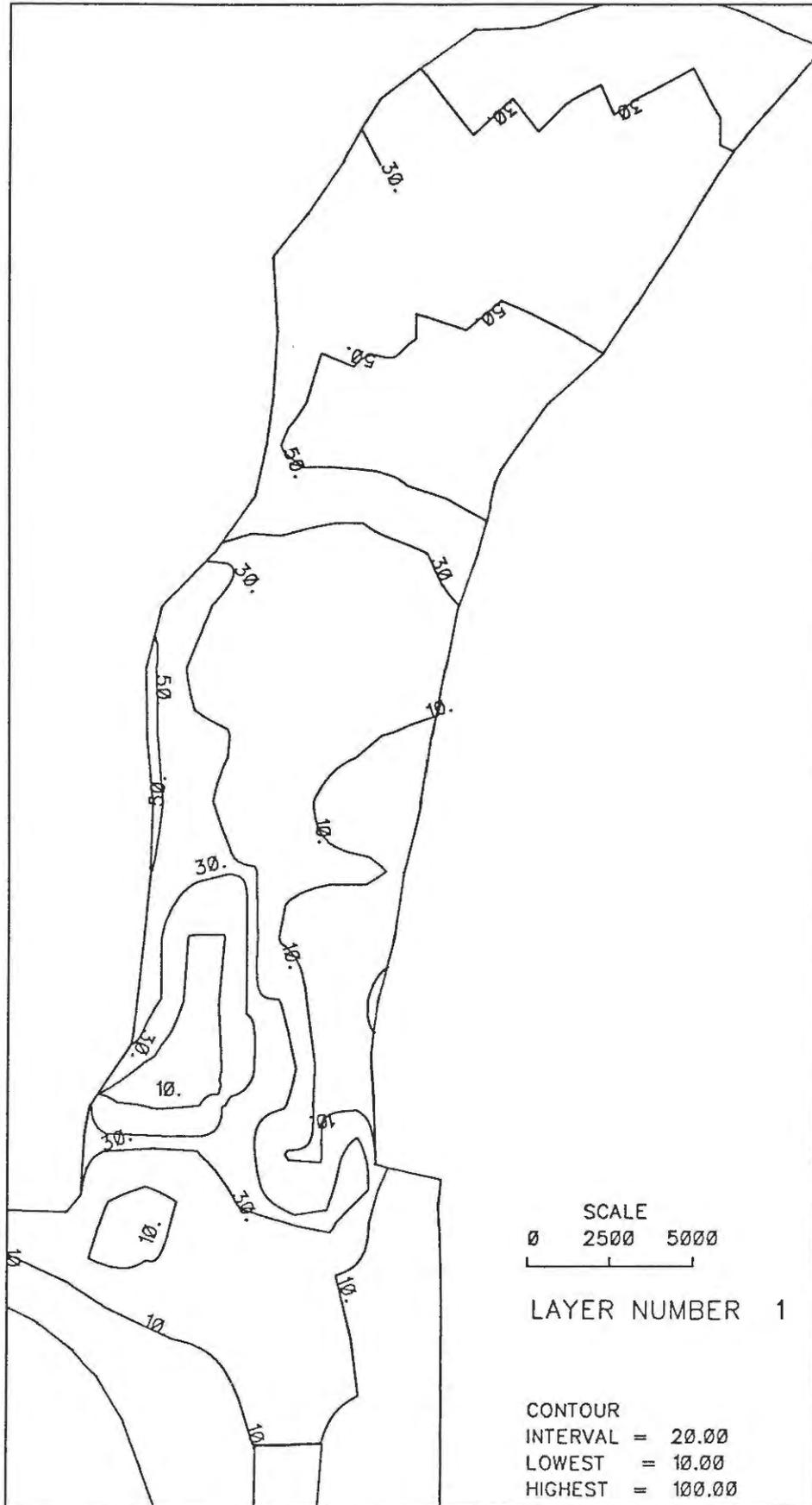


BILD 3: QUARTAERMAECHTIGKEIT

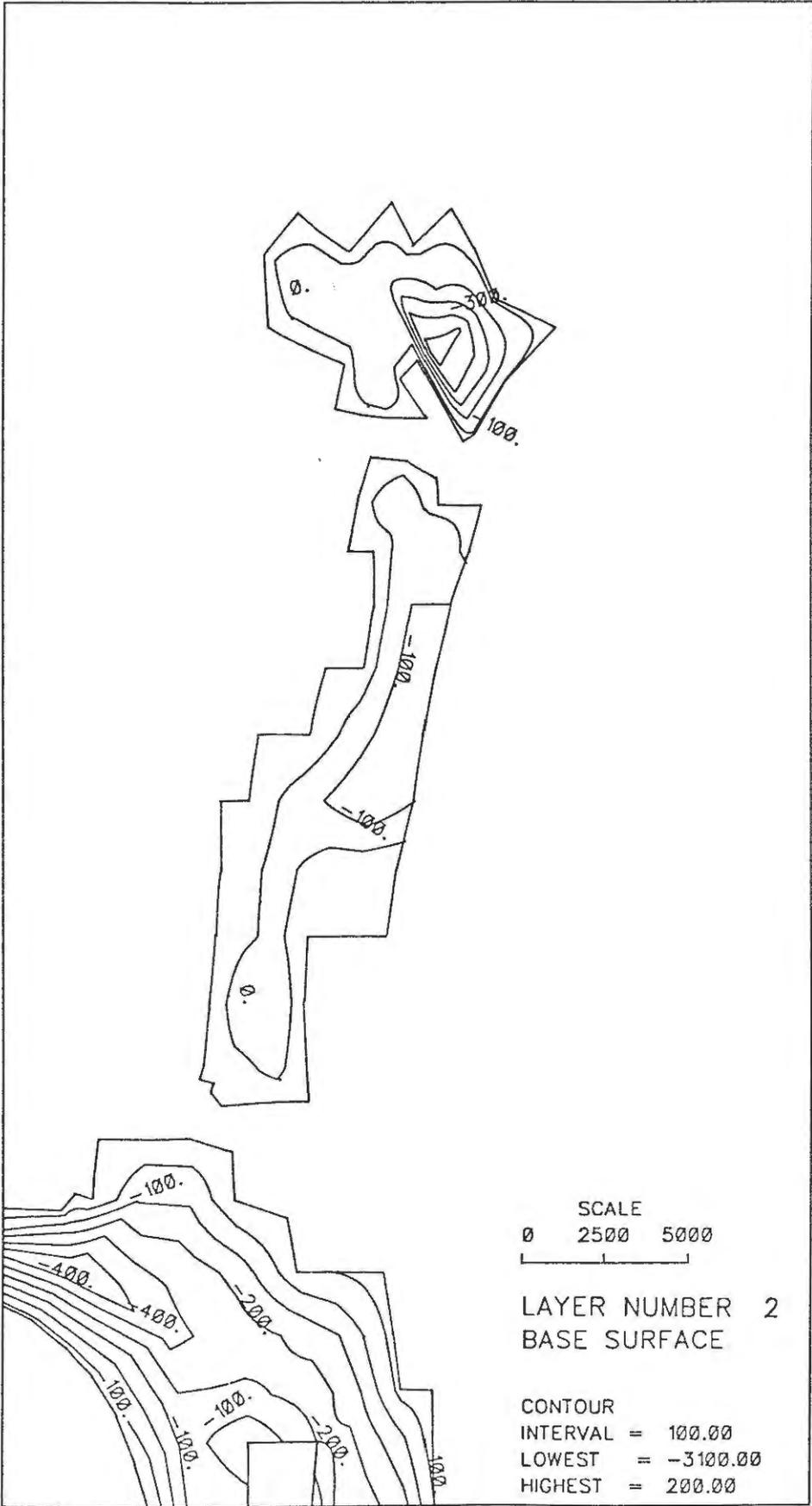


BILD 4: BASIS EMSCHER MERGEL

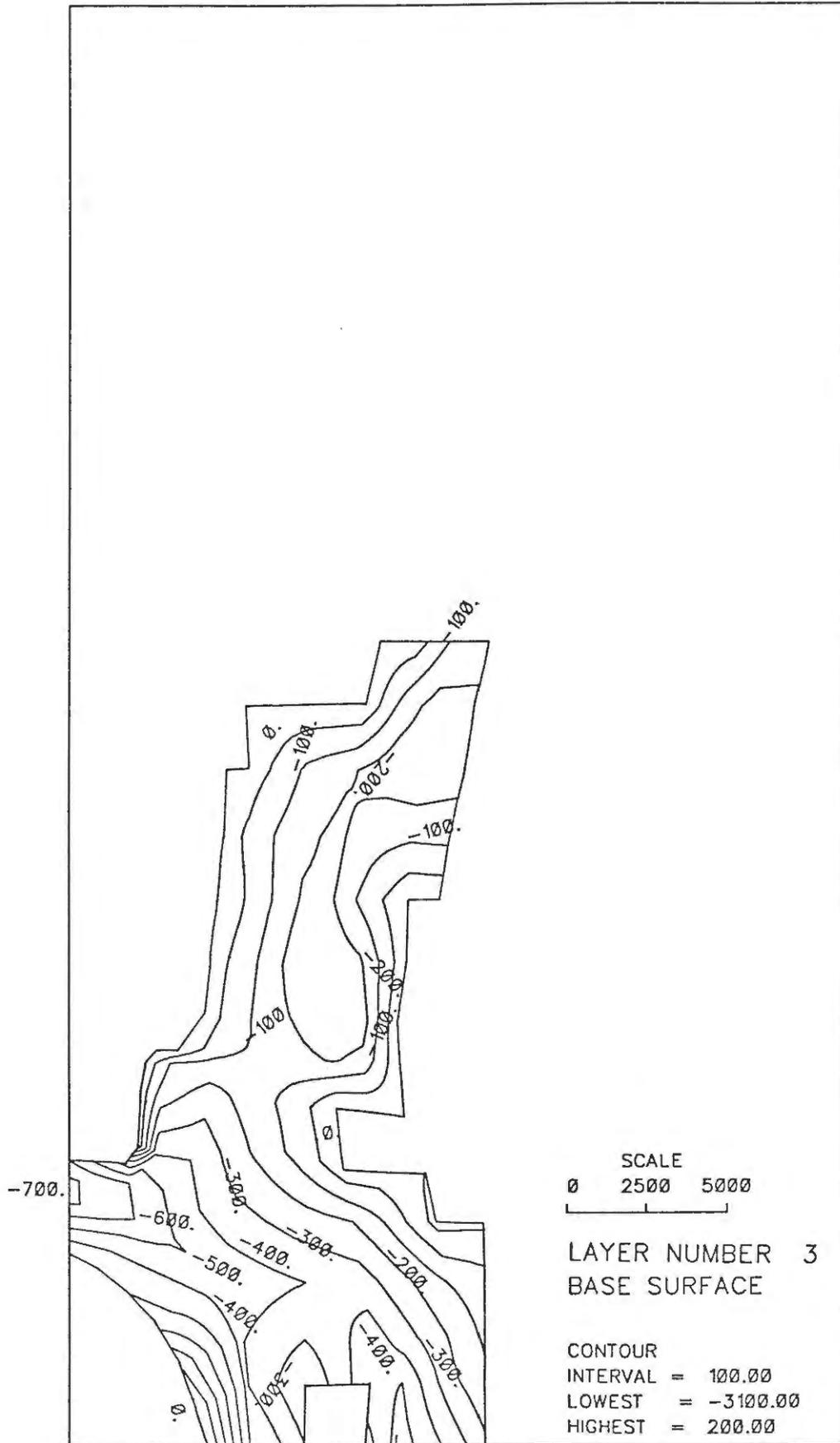


BILD 5: BASIS OBERKREIDE

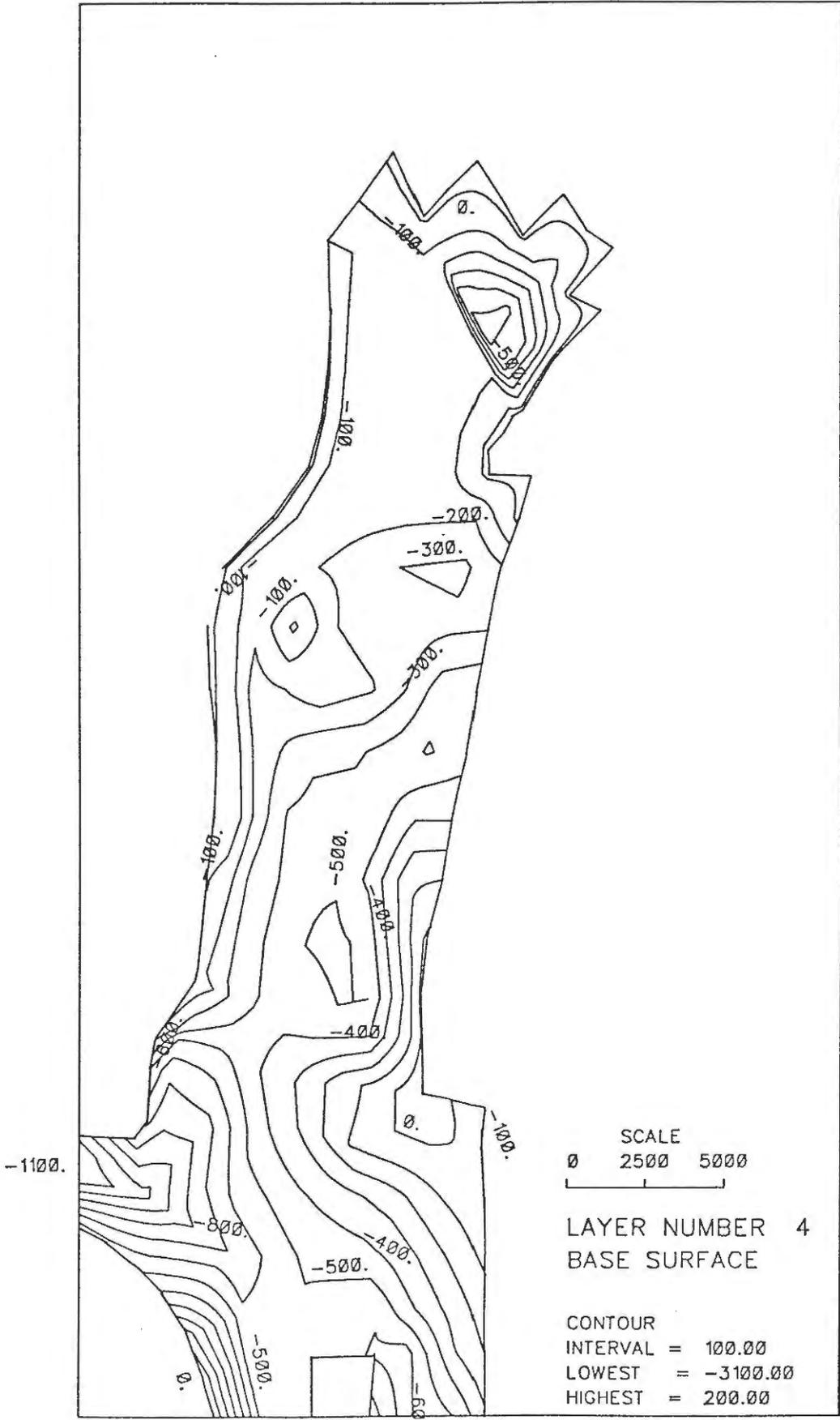


BILD 6: BASIS ALB

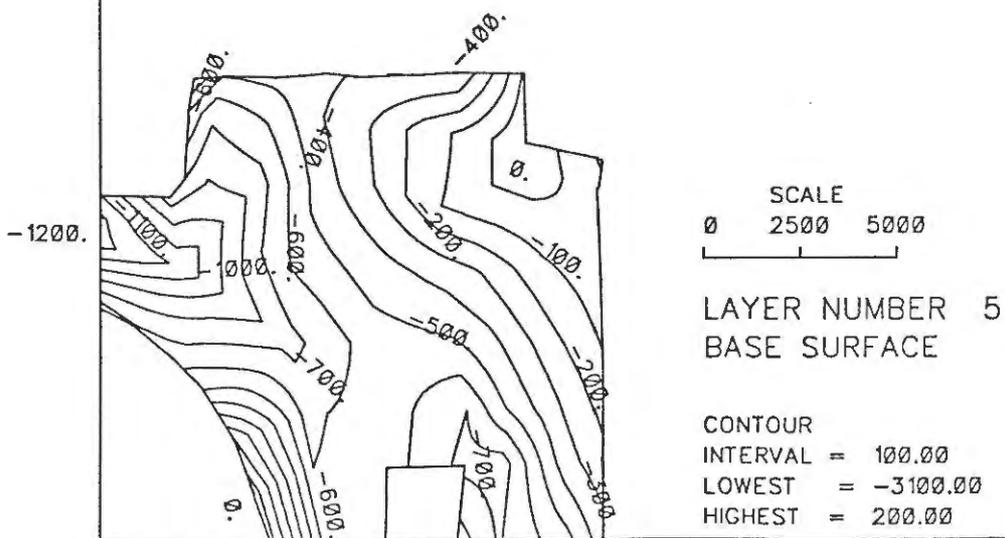


BILD 7: BASIS HILSANDSTEIN

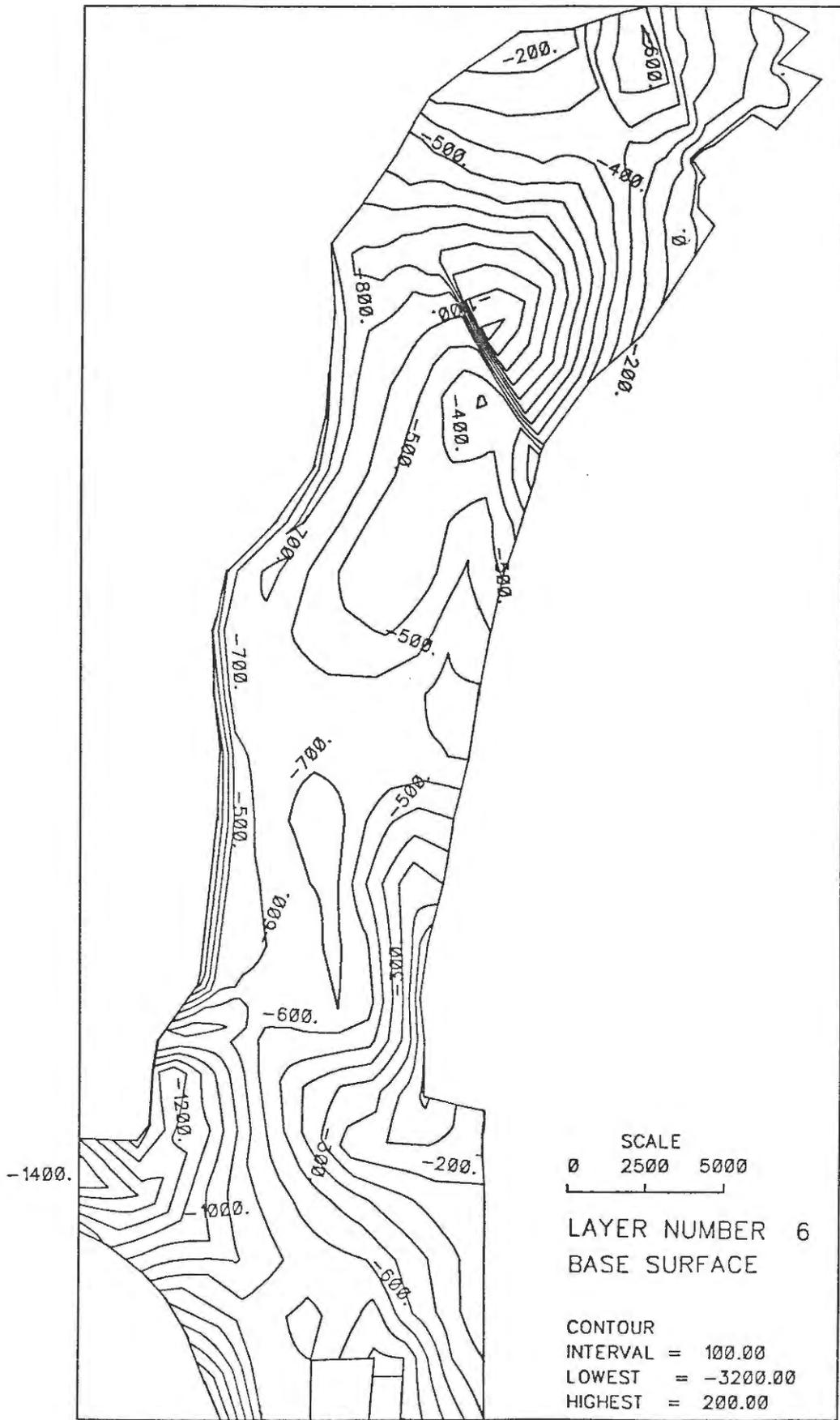


BILD 8: BASIS UNTERKREIDE

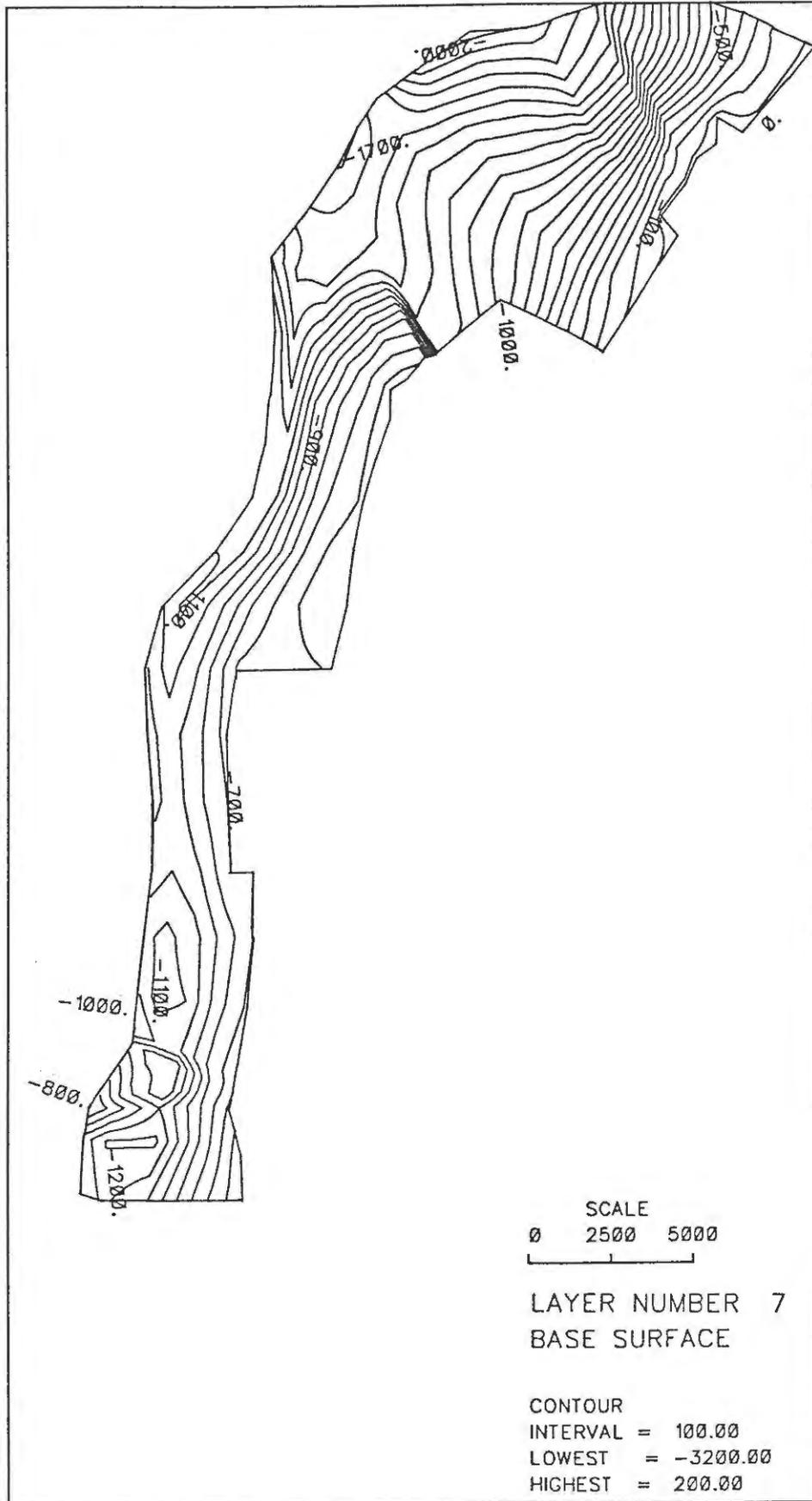


BILD 9: BASIS KIMMERIDGE + PORTLAND

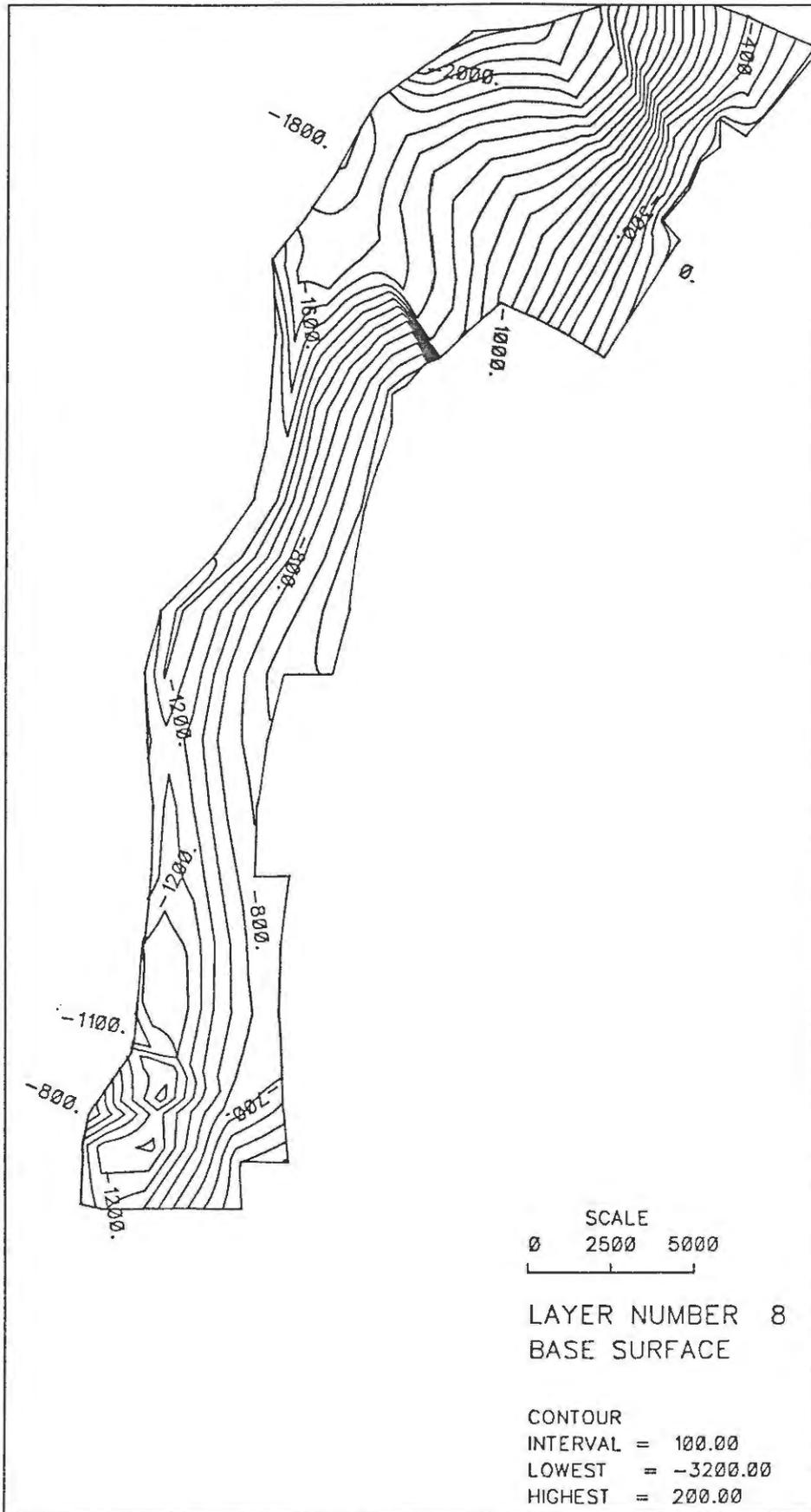


BILD 10: BASIS OXFORD

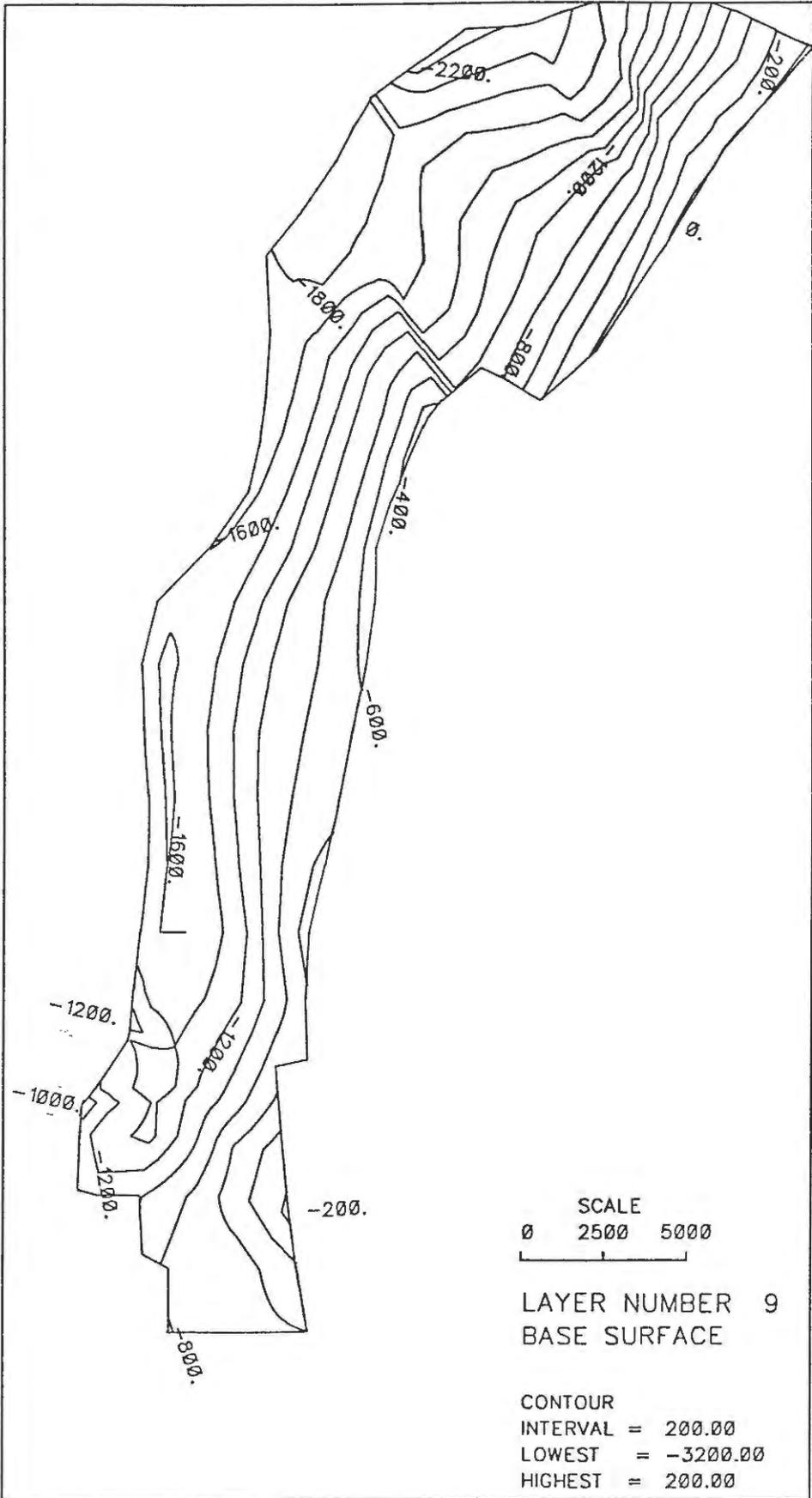


BILD 11: BASIS DOGGERTONSTEINE

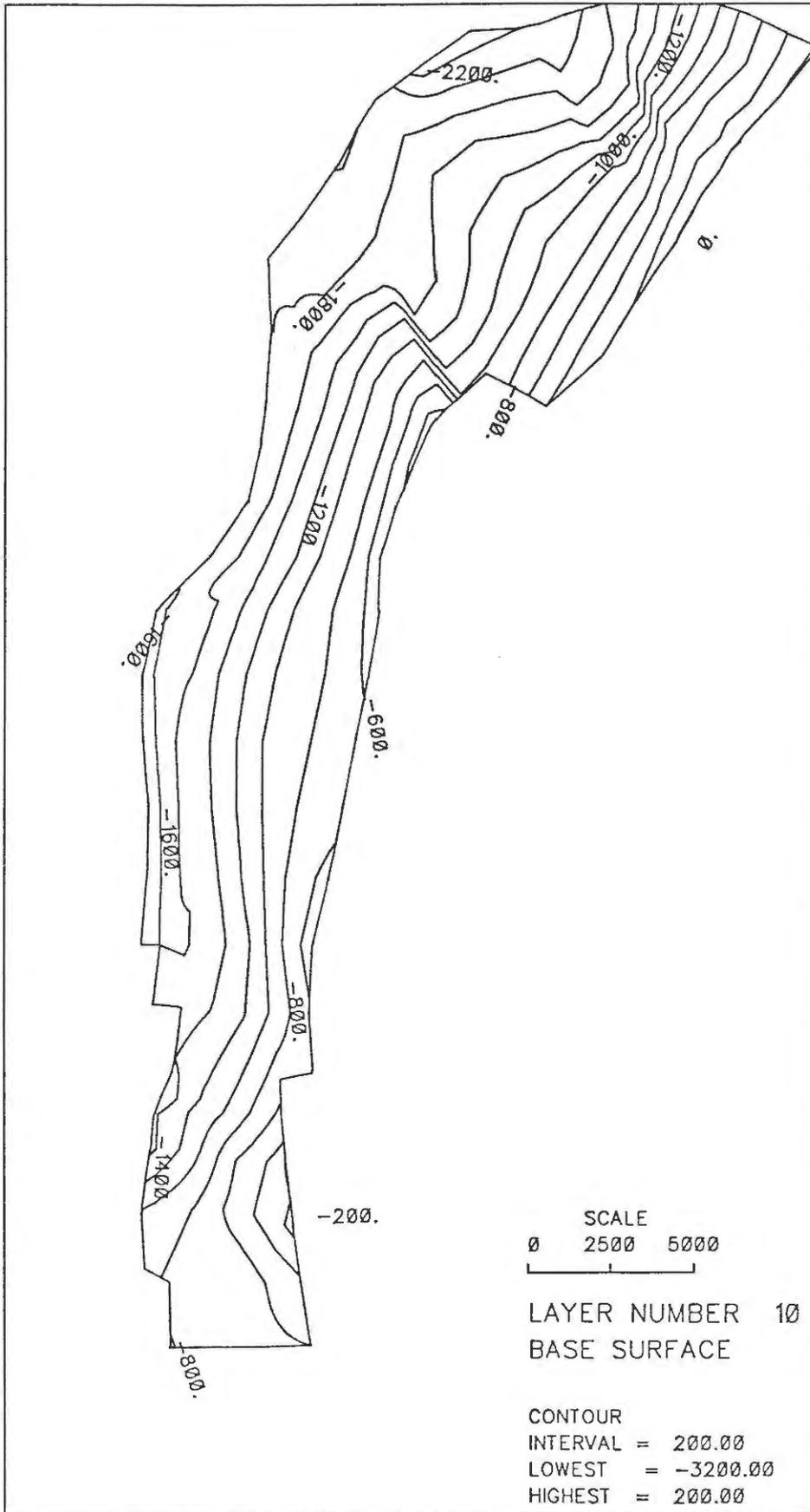


BILD 12: BASIS CORNBRAASH

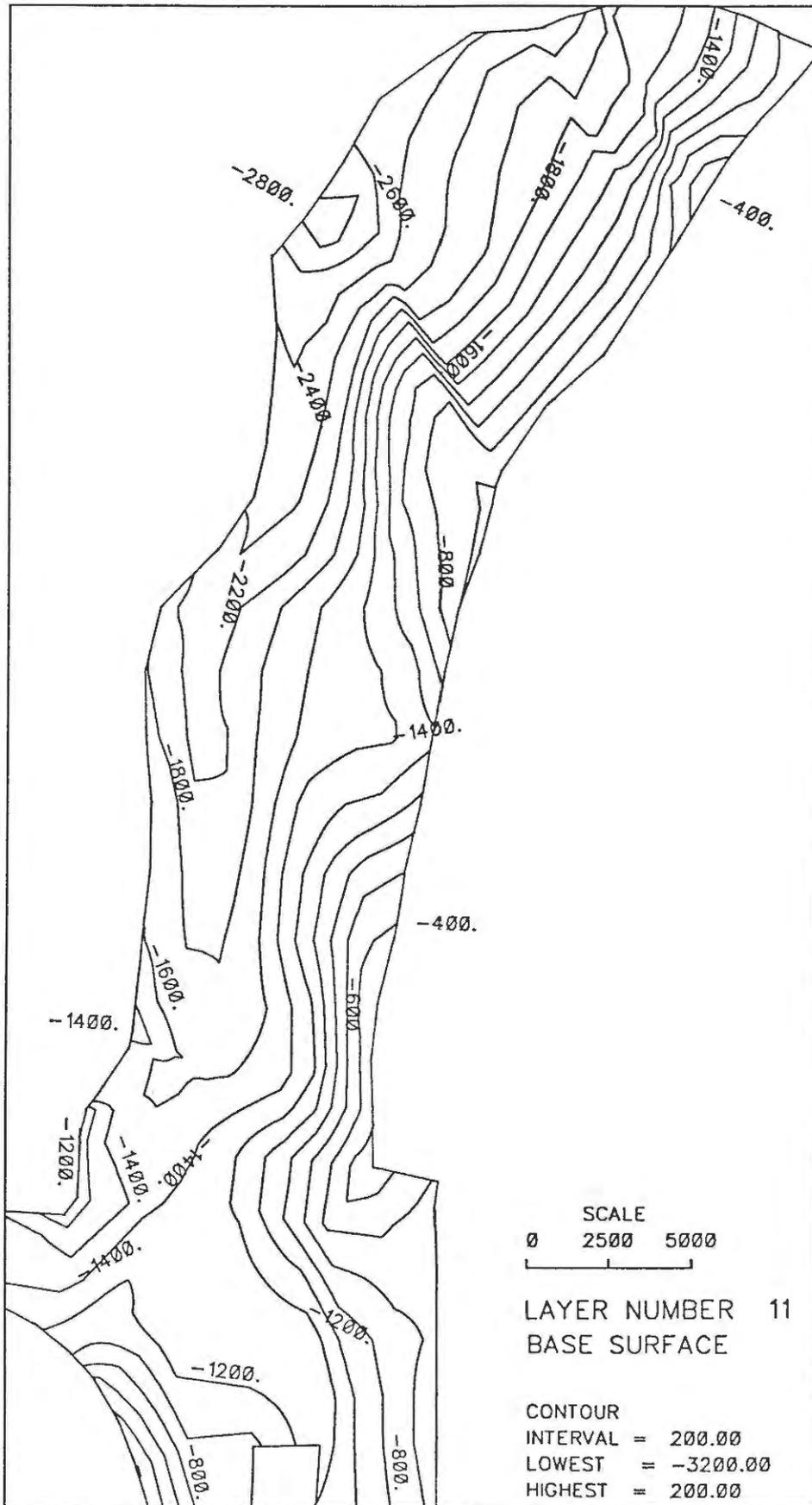


BILD 13: BASIS LIAS

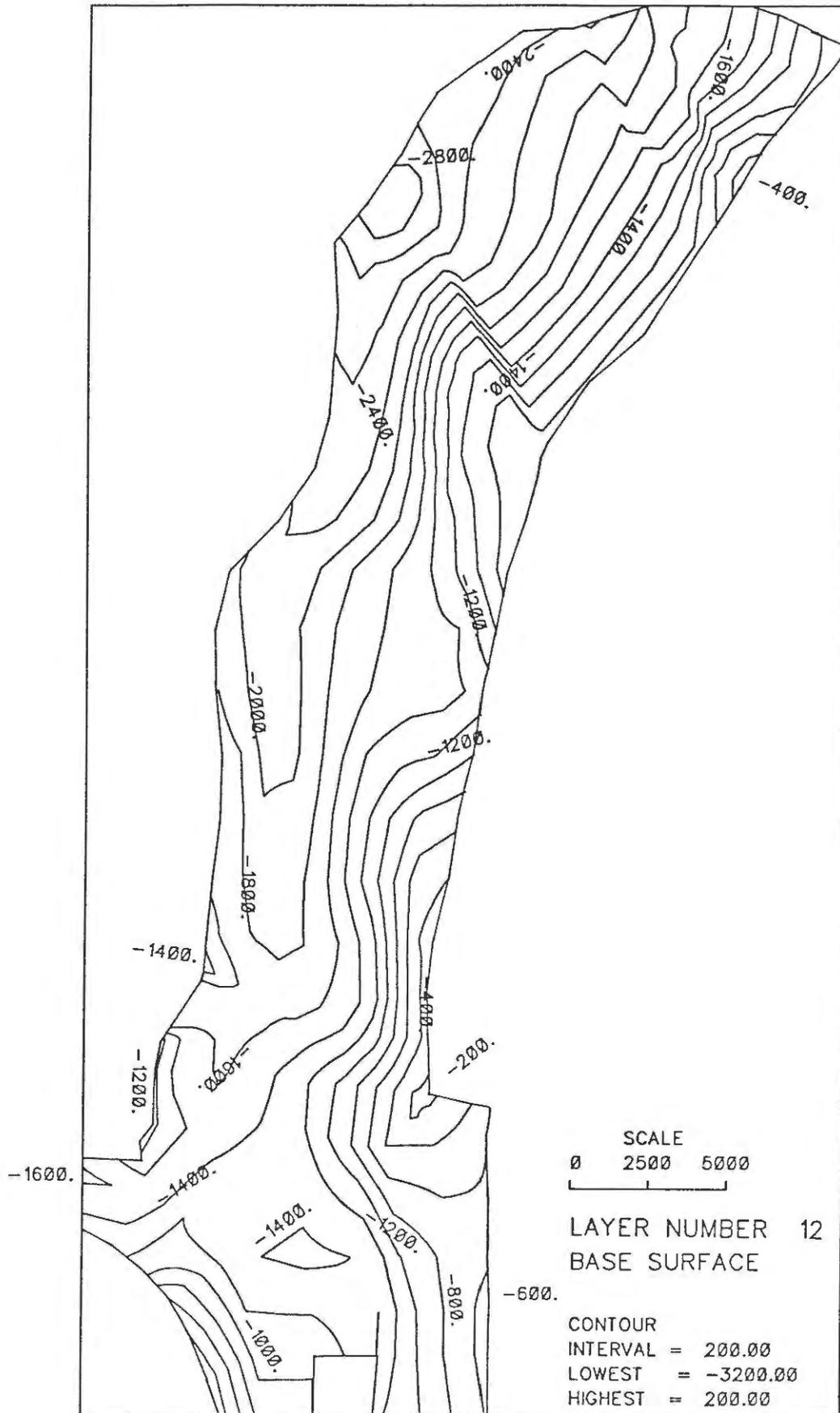


BILD 14: BASIS RHAET

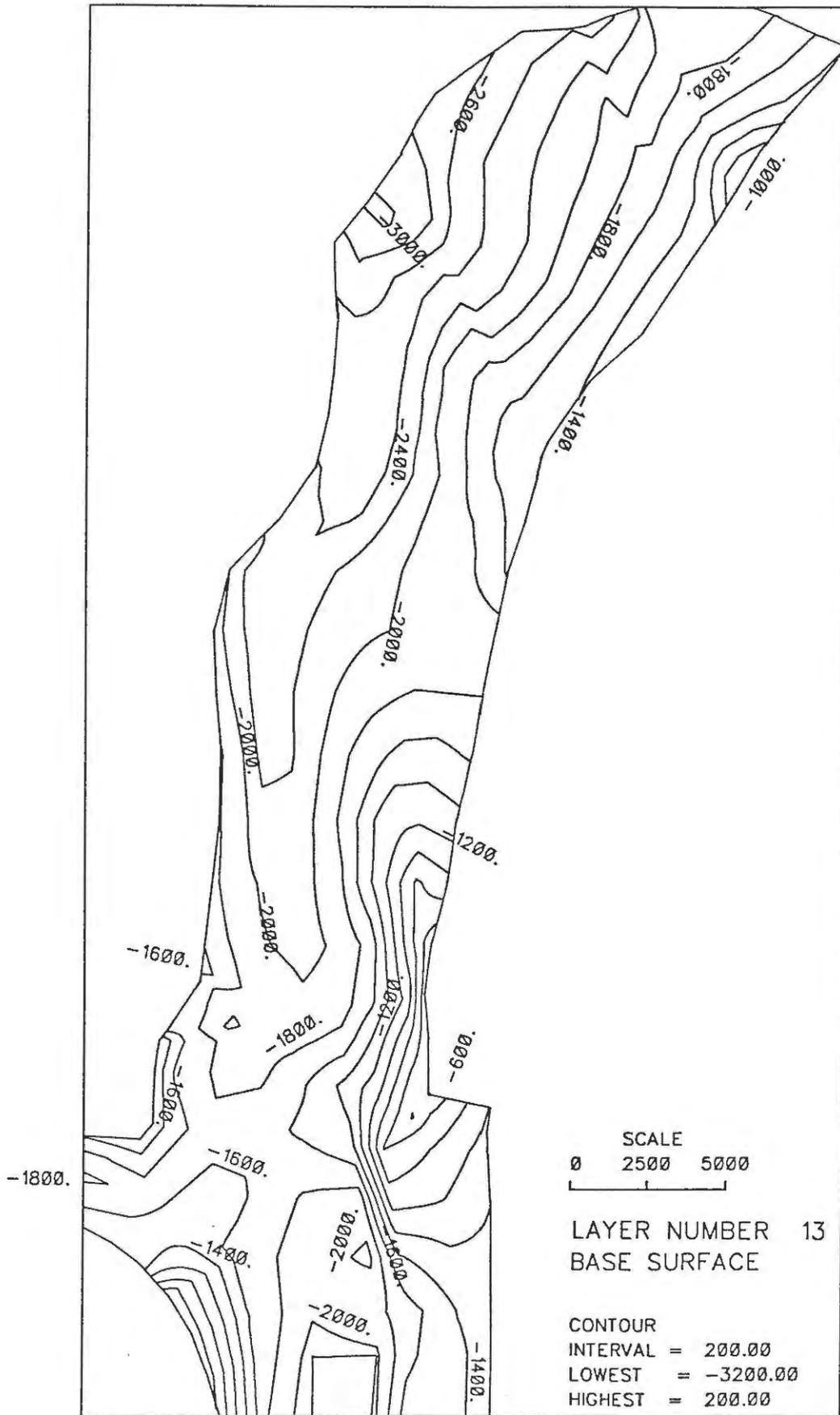


BILD 15: BASIS KEUPER

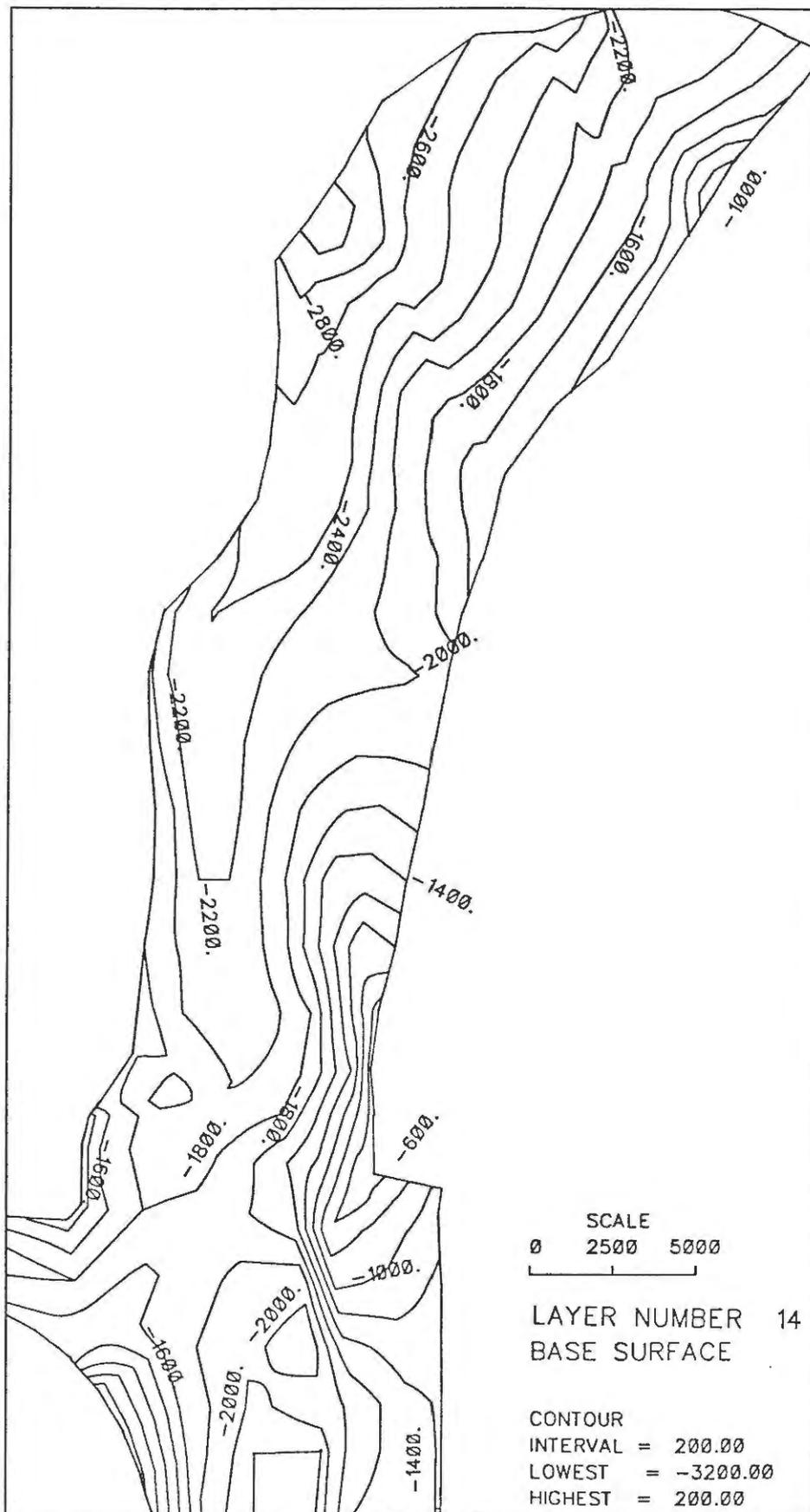


BILD 16: BASIS OBERER MUSCHELKALK

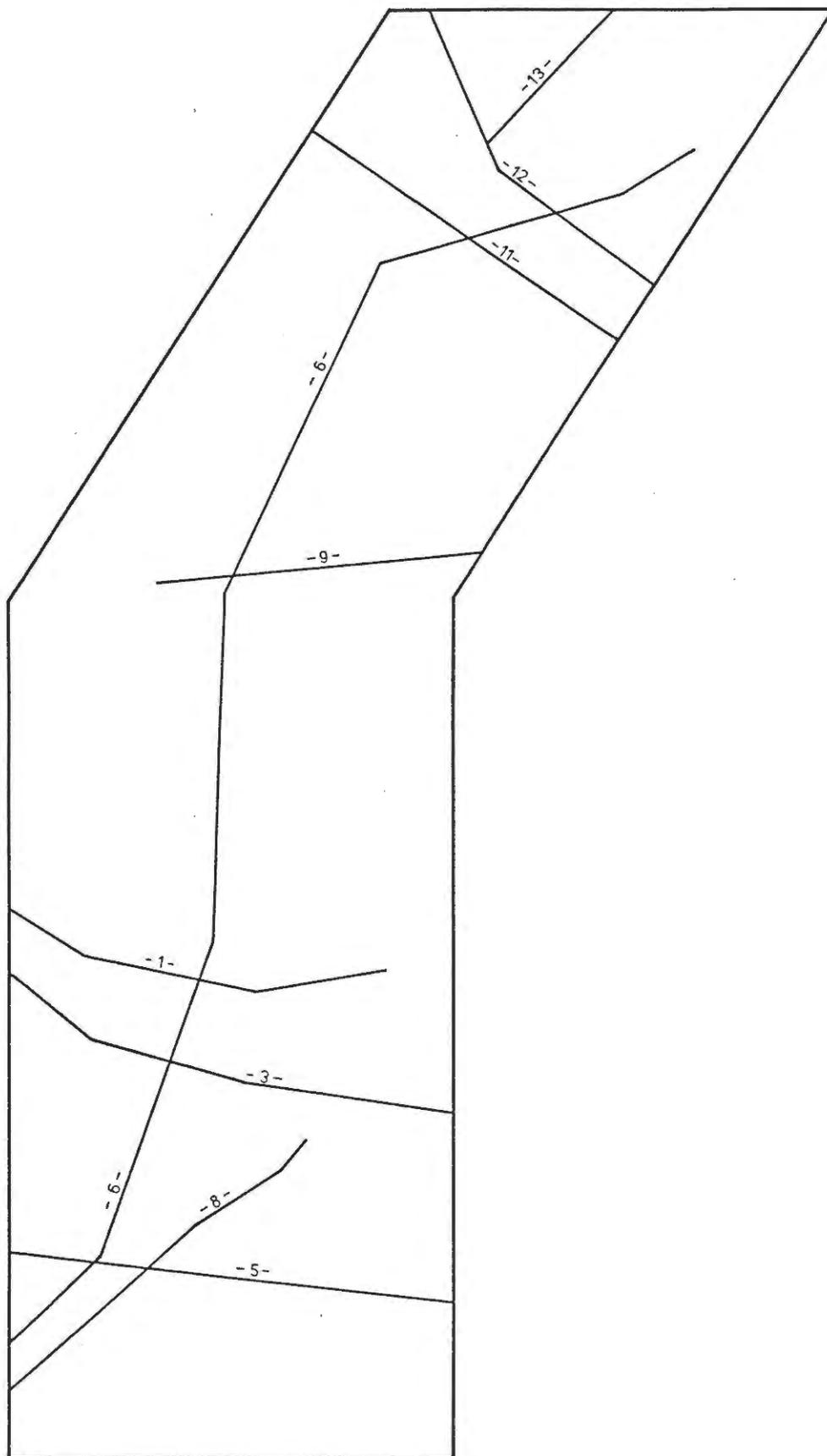


BILD 17: LAGE DER GEOLOGISCHEN PROFILE

Schnitt 1

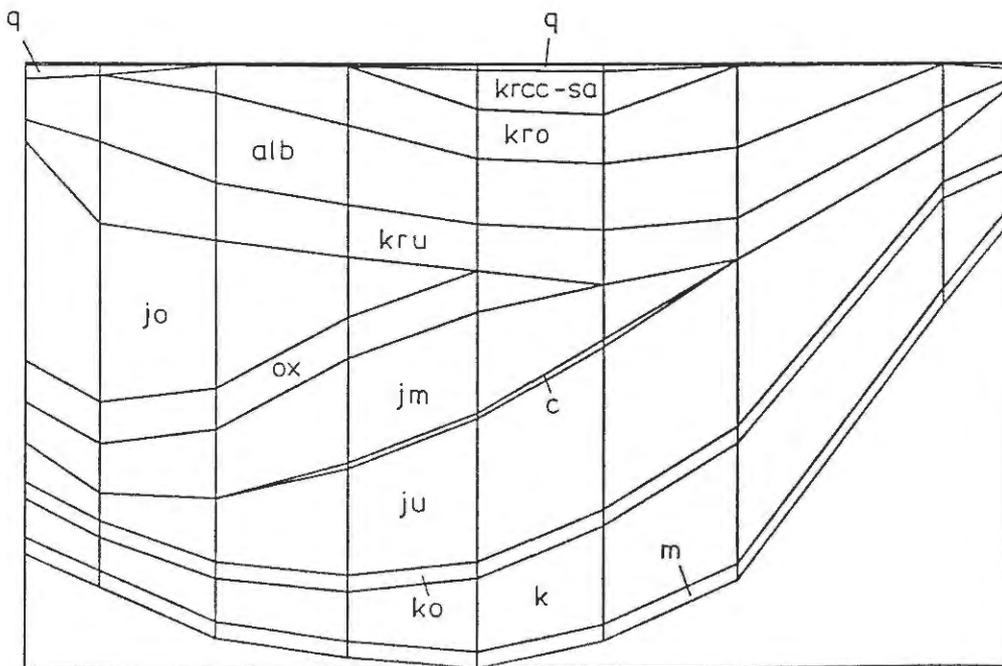
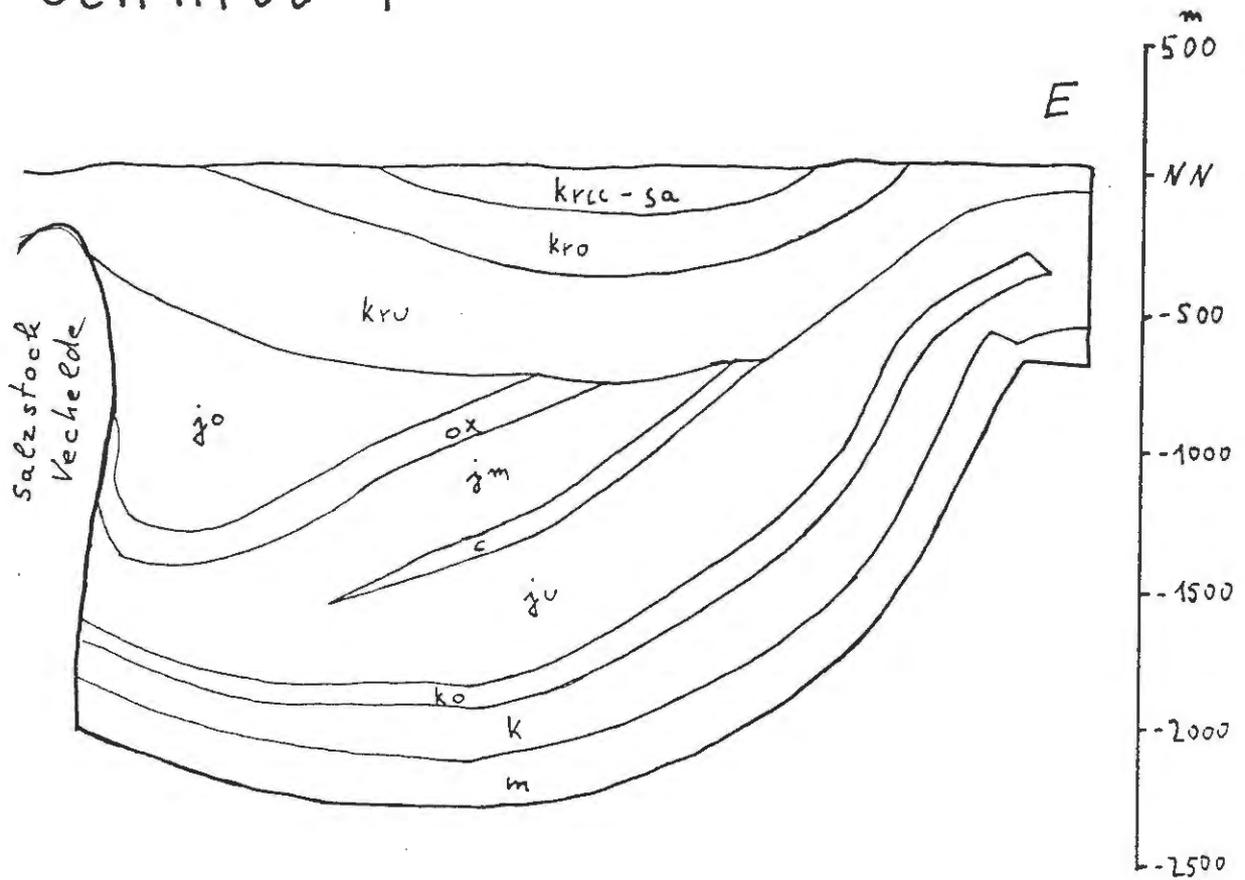


BILD 18: GEOL. PROFIL 1 – CFEST-GEOMETRIE

Schnitt 3

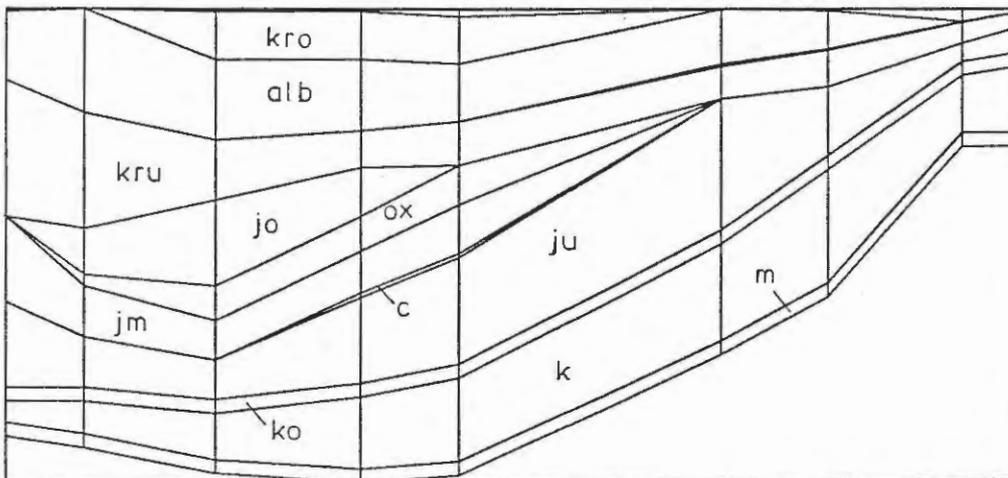
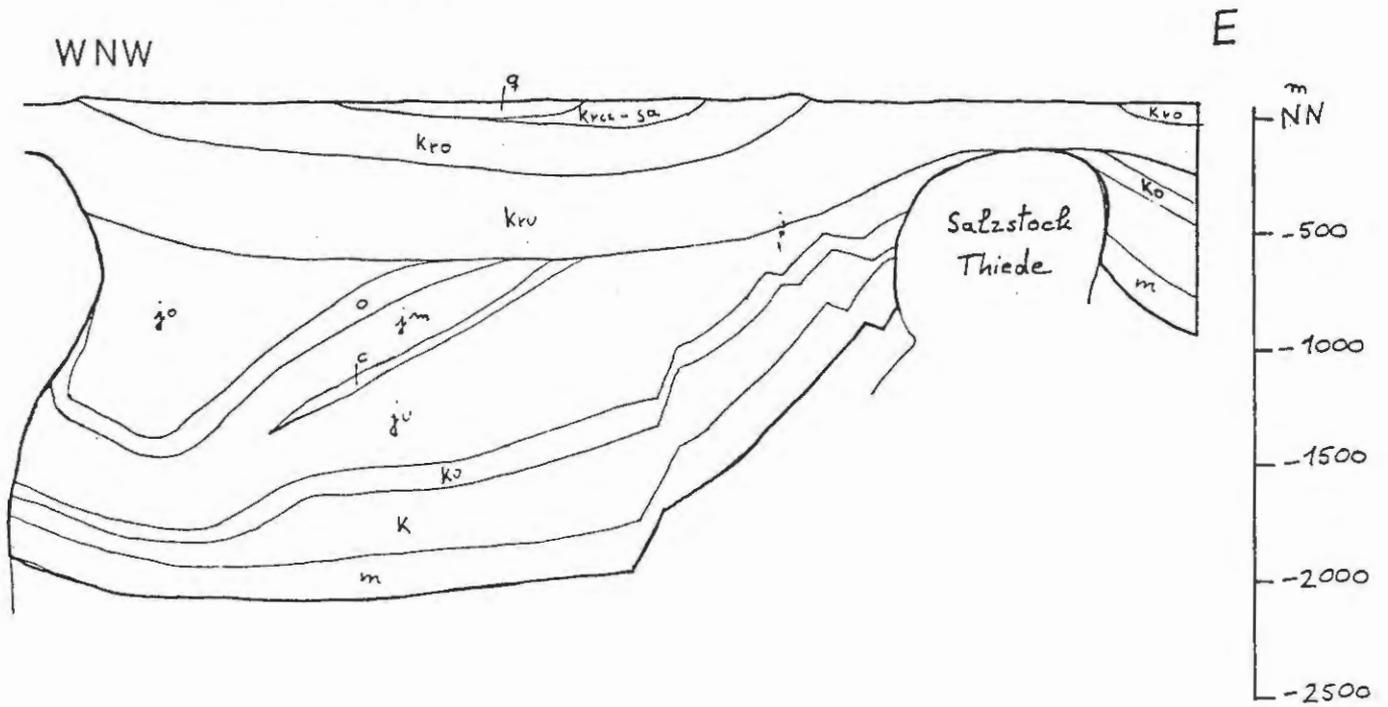


BILD 19: GEOL. PROFIL 3 – CFEST-GEOMETRIE

W

Schnitt 5

E

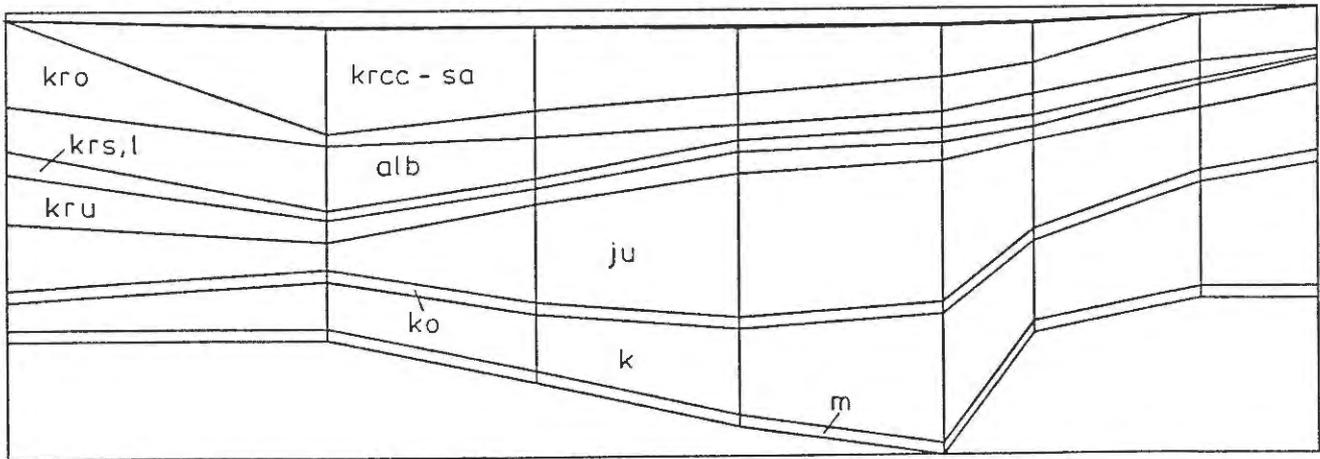
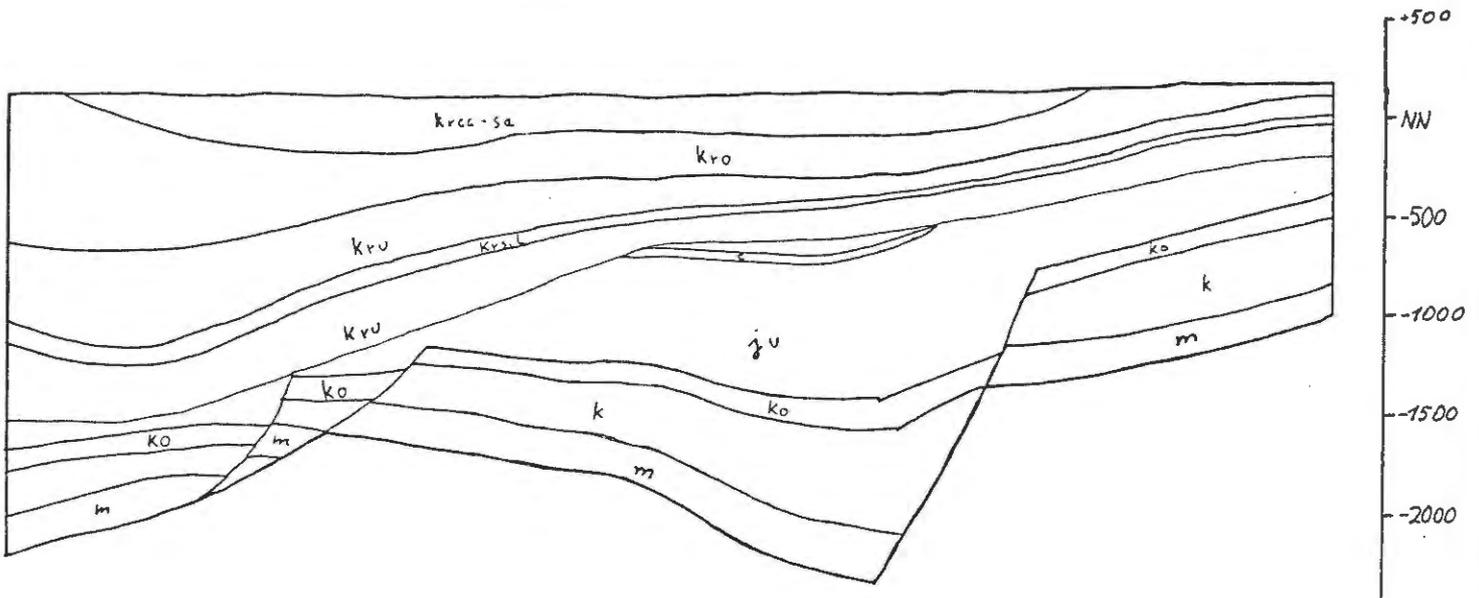


BILD 20: GEOL. PROFIL 5 – CFEST-GEOMETRIE

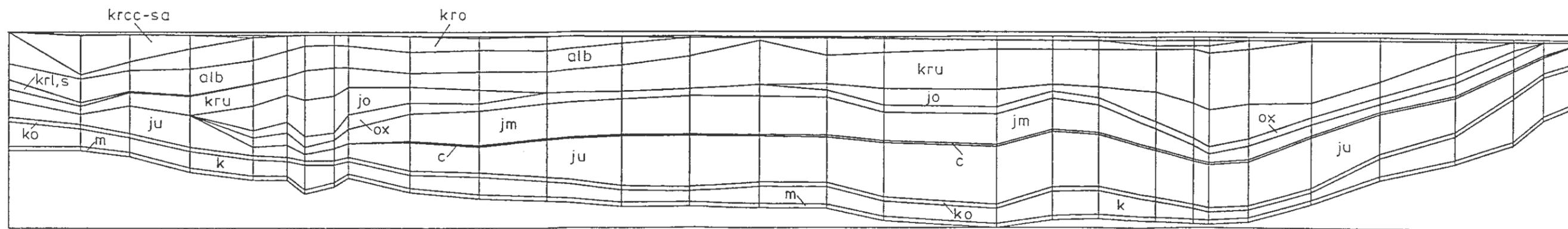
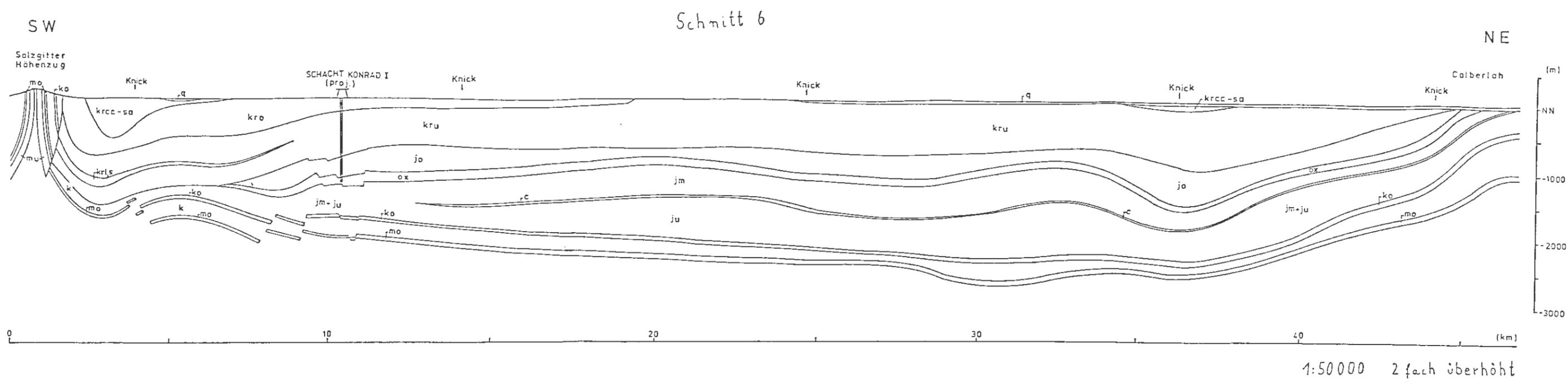


BILD 21: GEOL. PROFIL 6 – CFEST-GEOMETRIE

S

Schnitt 7

N

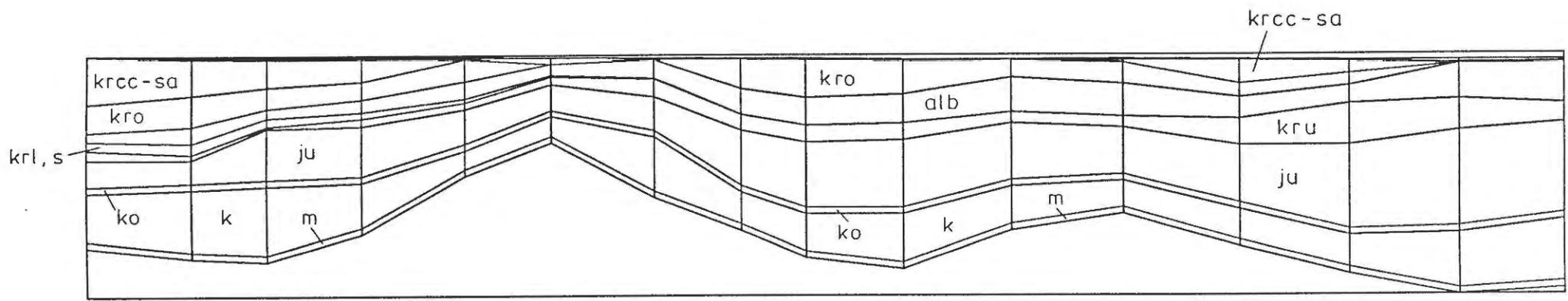
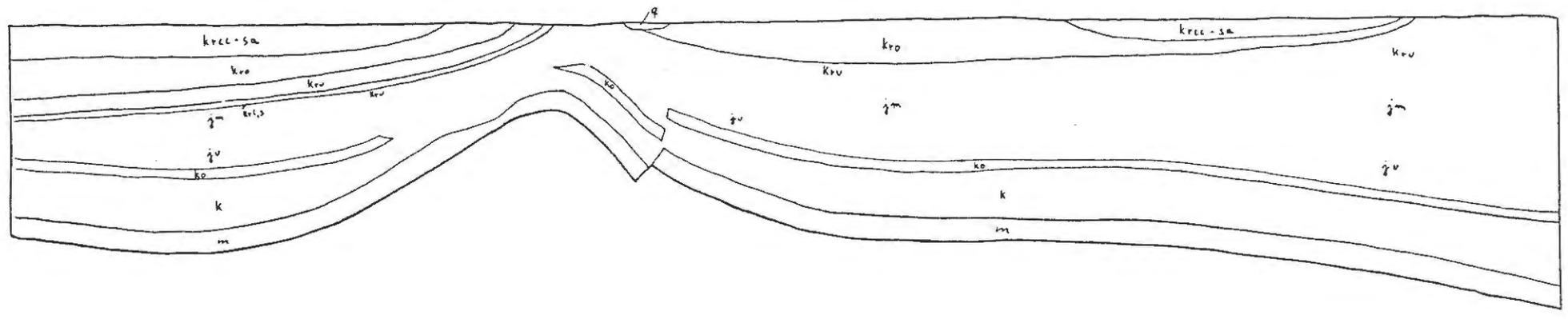


BILD 22: GEOL. PROFIL 7 – CFEST-GEOMETRIE

SW

Schnitt 8

NE

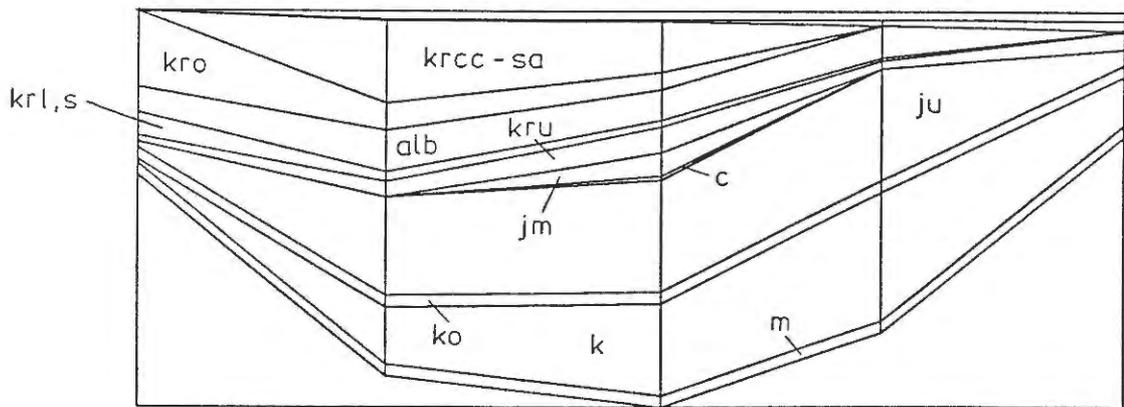
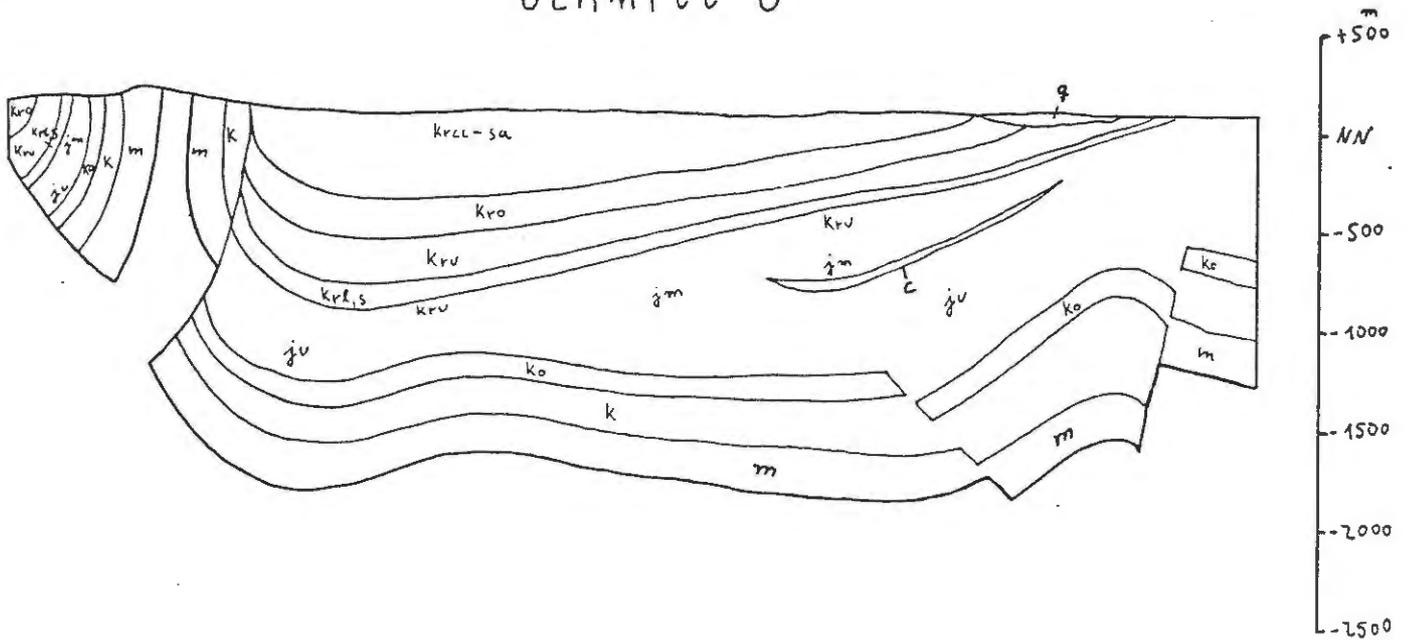


BILD 23: GEOL. PROFIL 8 - CFEST-GEOMETRIE

Schnitt 9

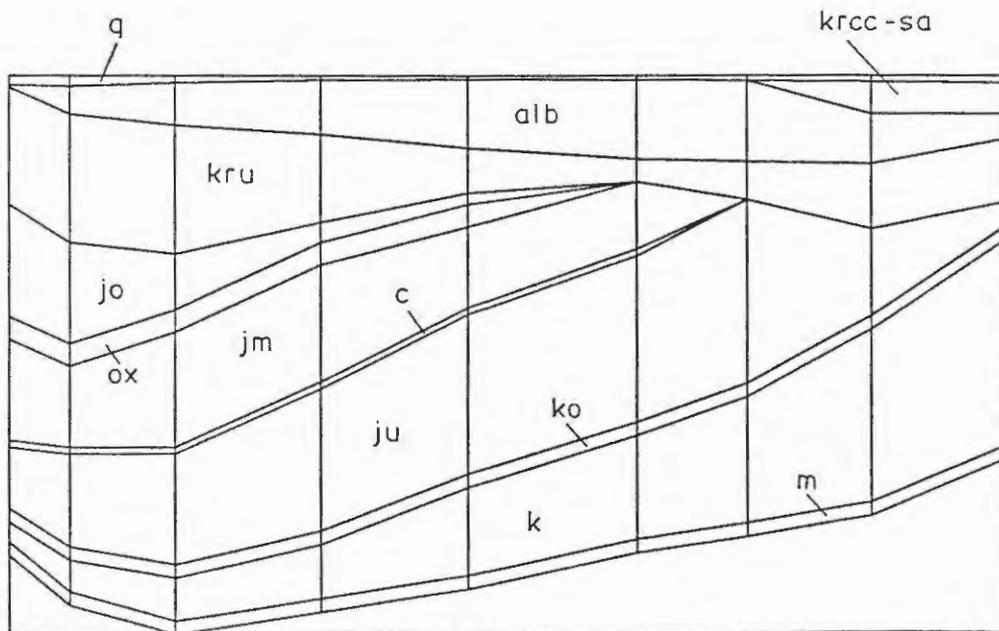
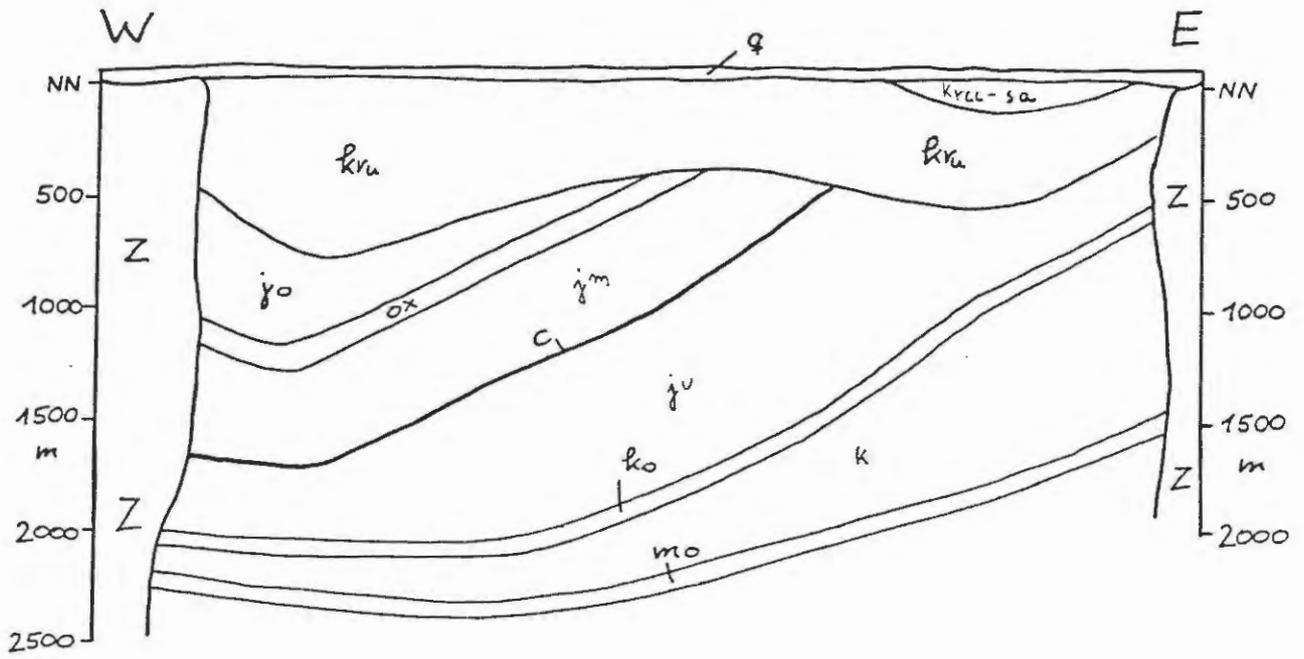


BILD 24: GEOL. PROFIL 9 – CFEST-GEOMETRIE

Schnitt 11

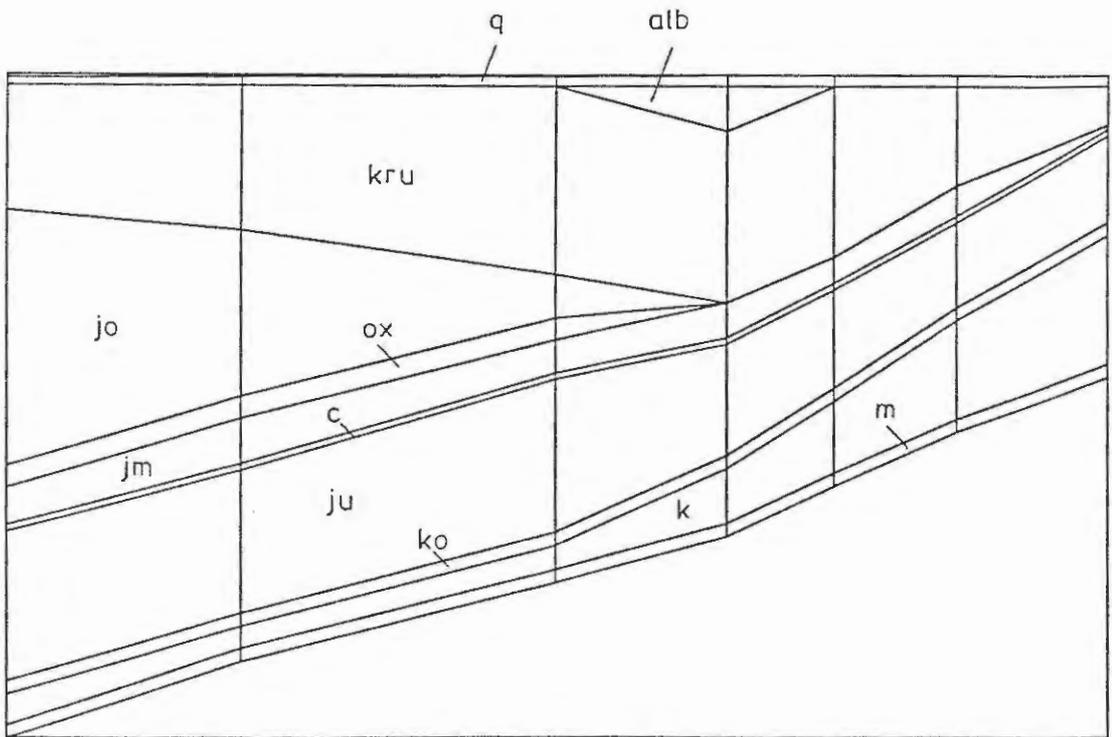
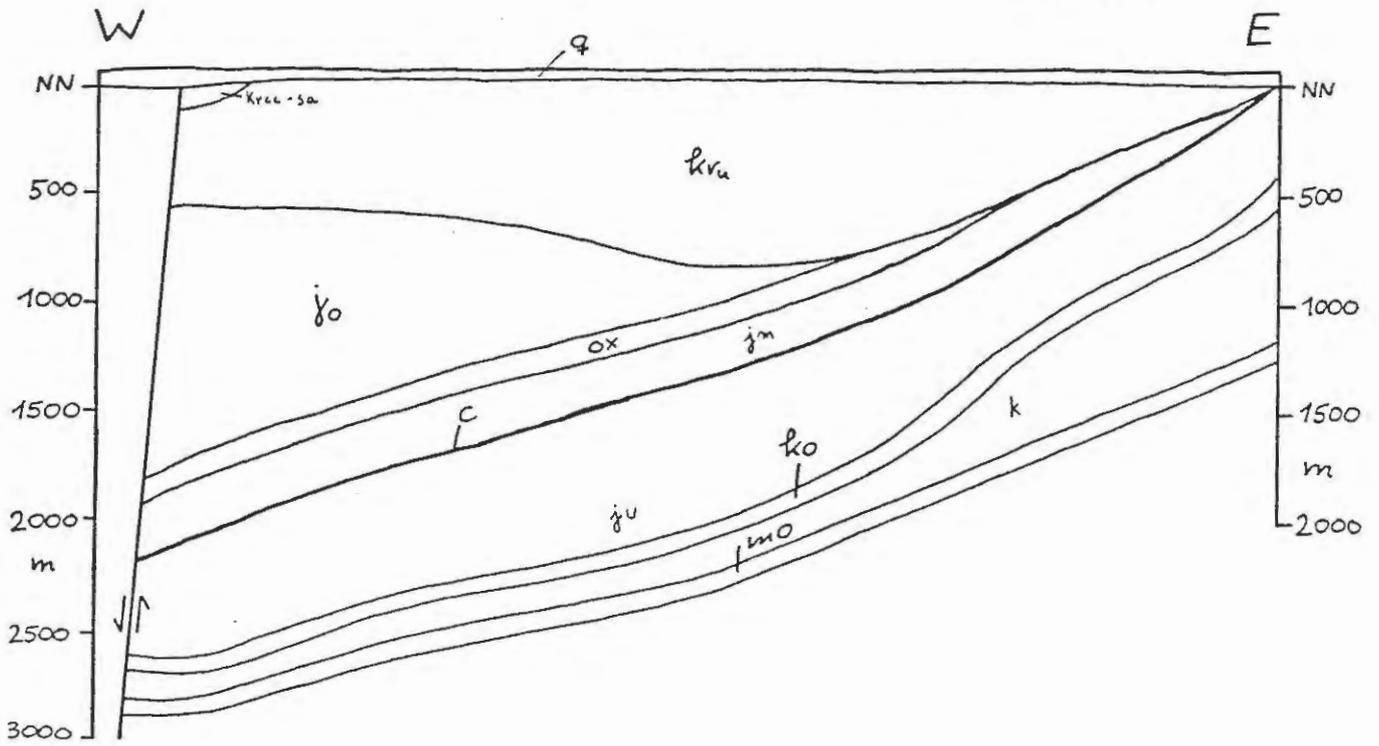


BILD 25: GEOL. PROFIL 11 - CFEST-GEOMETRIE

Schnitt 12

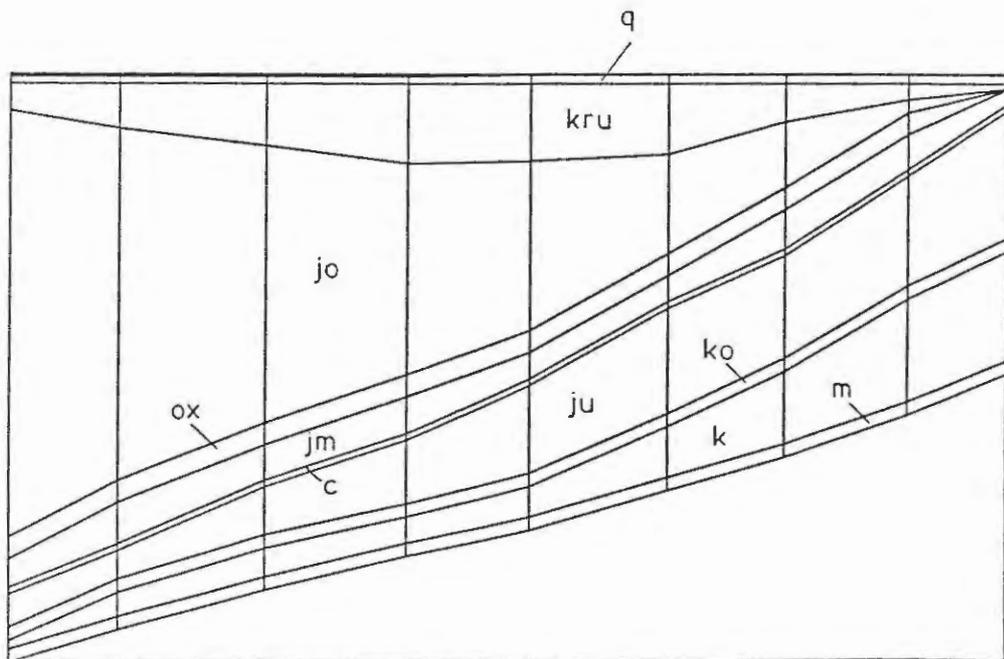
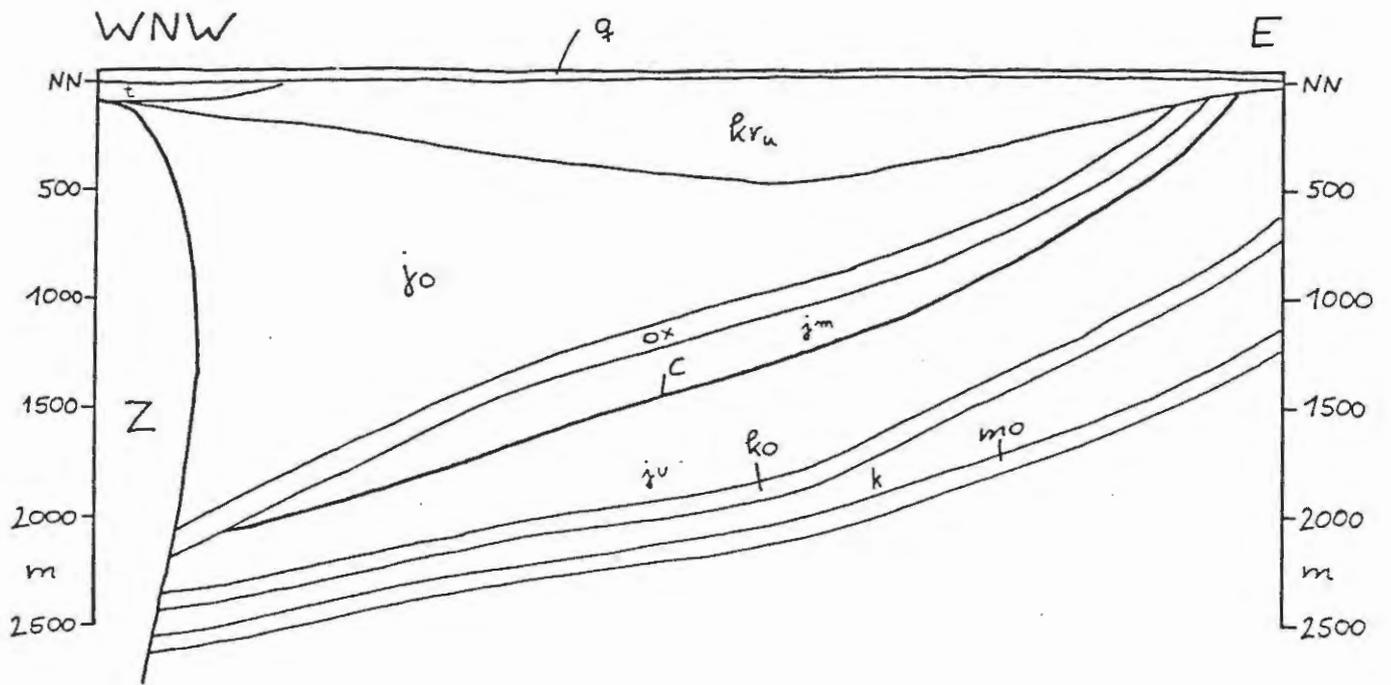


BILD 26: GEOL. PROFIL 12 – CFEST-GEOMETRIE

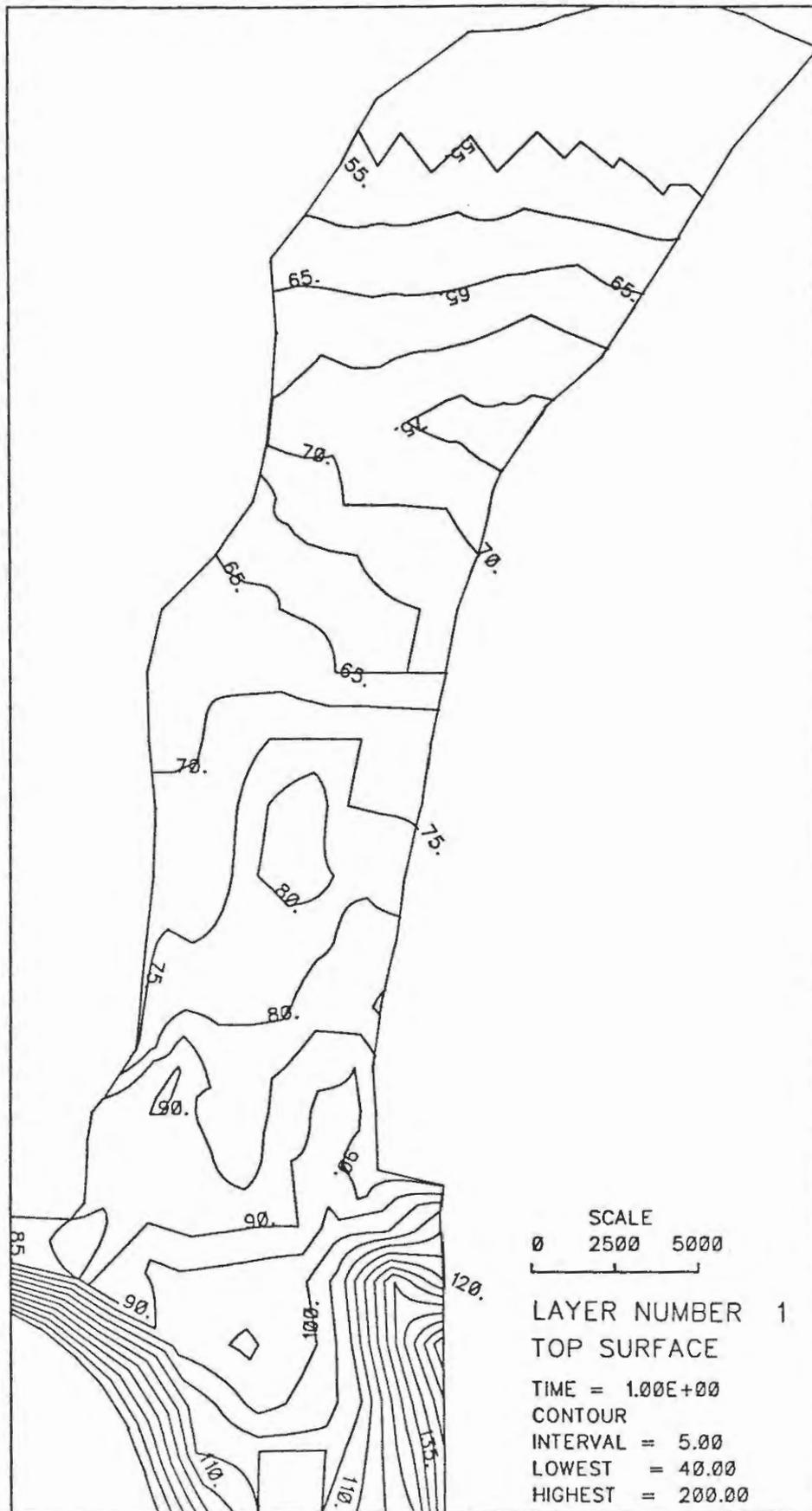


BILD 28: HYDRAULISCHES POTENTIAL OBERFLAECHE

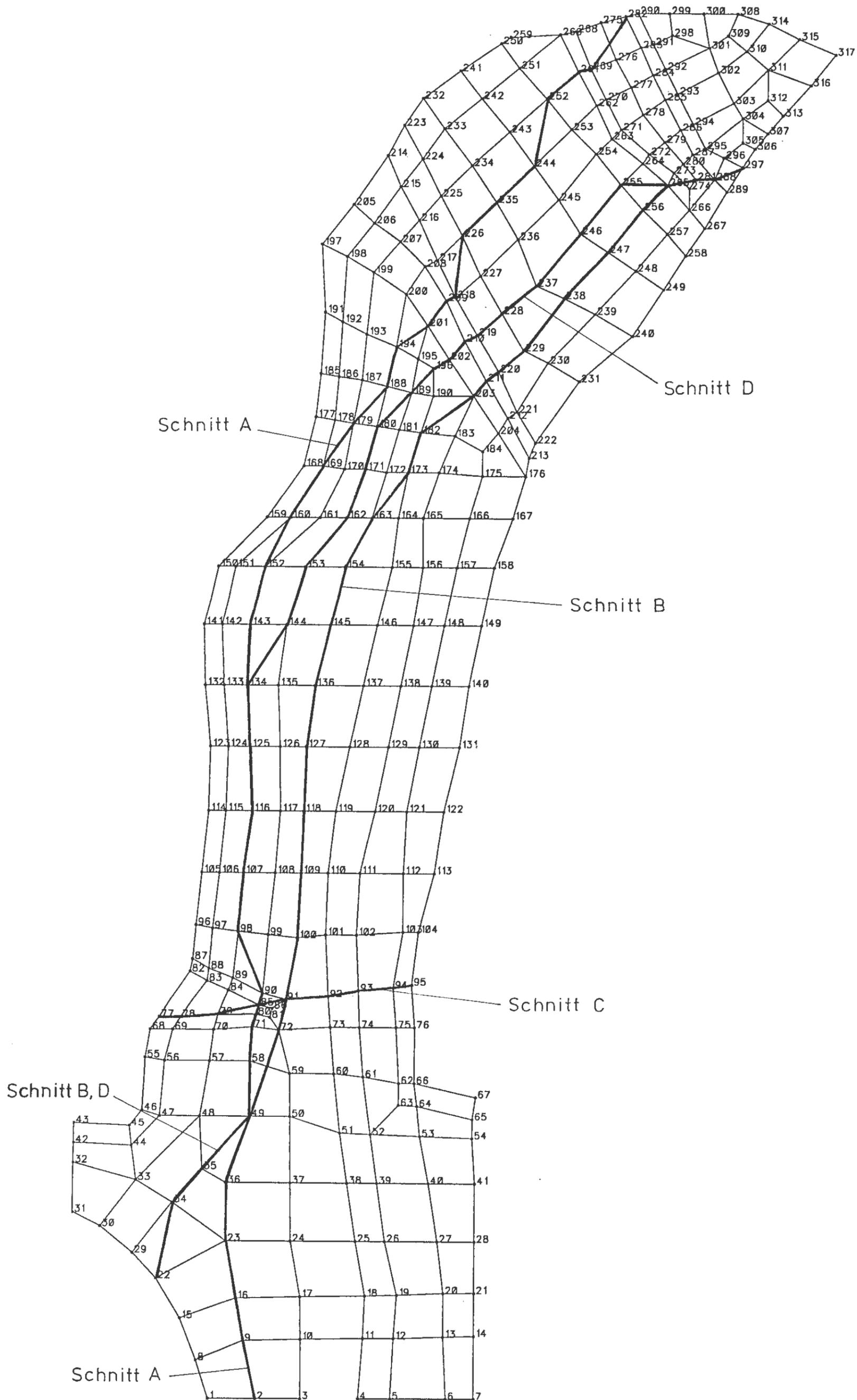
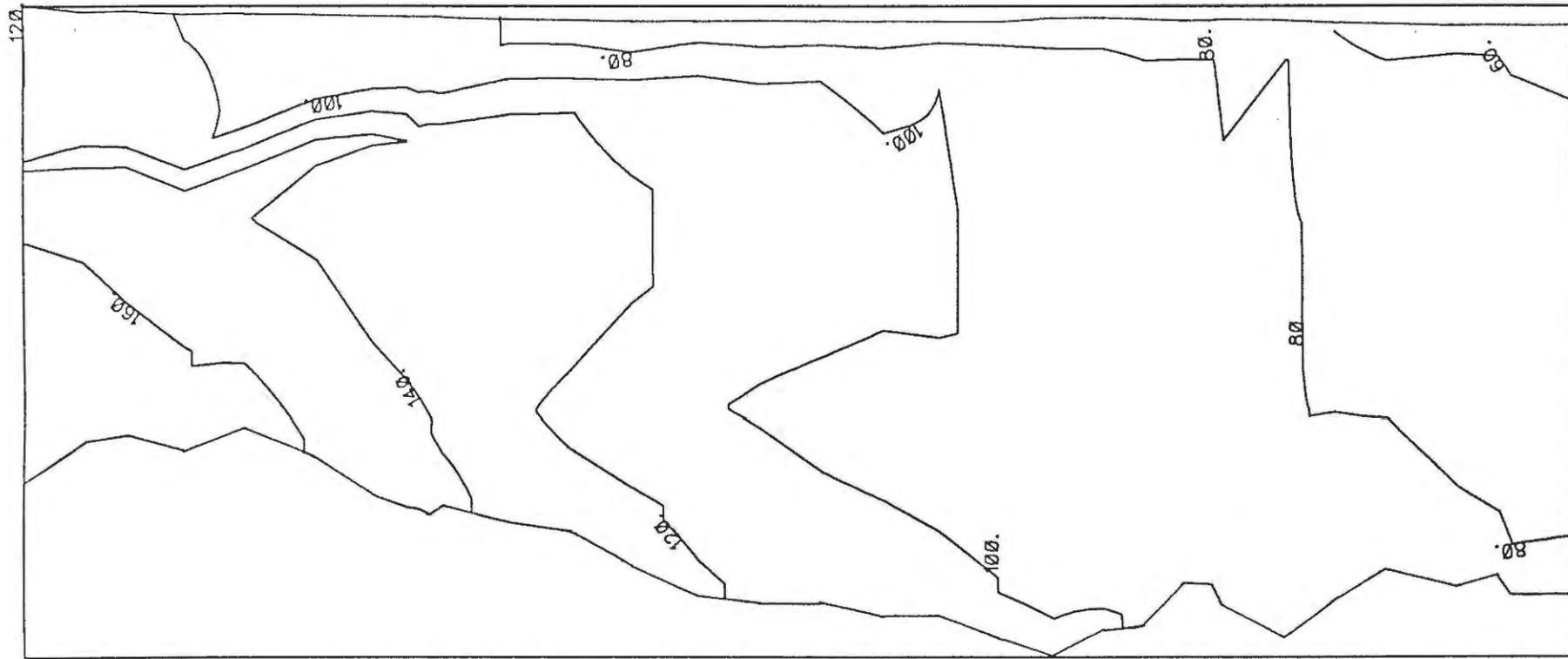


BILD 29: LAGE DER VERTIKALEN SCHNITTE



SCALE
 0 2500 5000

TIME = 1.00E+00

BILD 30: HYDRAULISCHES POTENTIAL TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT A

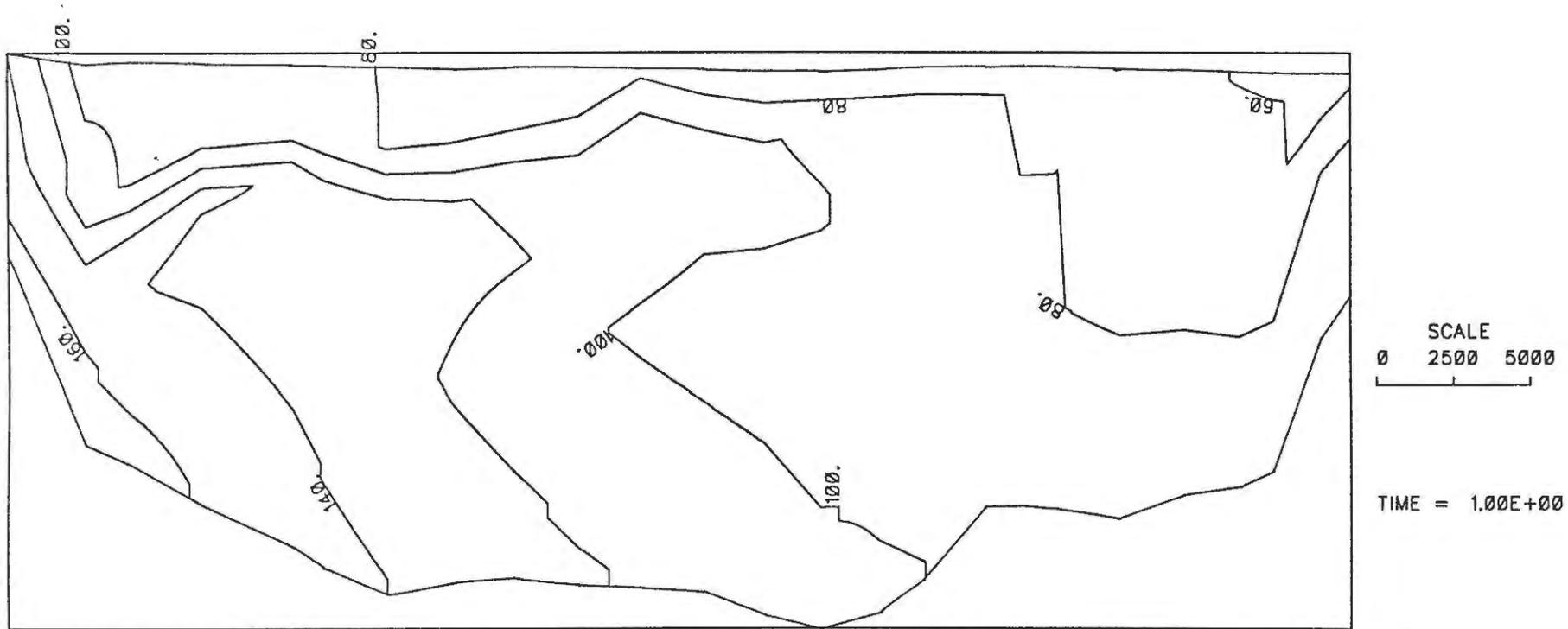


BILD 31: HYDRAULISCHES POTENTIAL TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT B

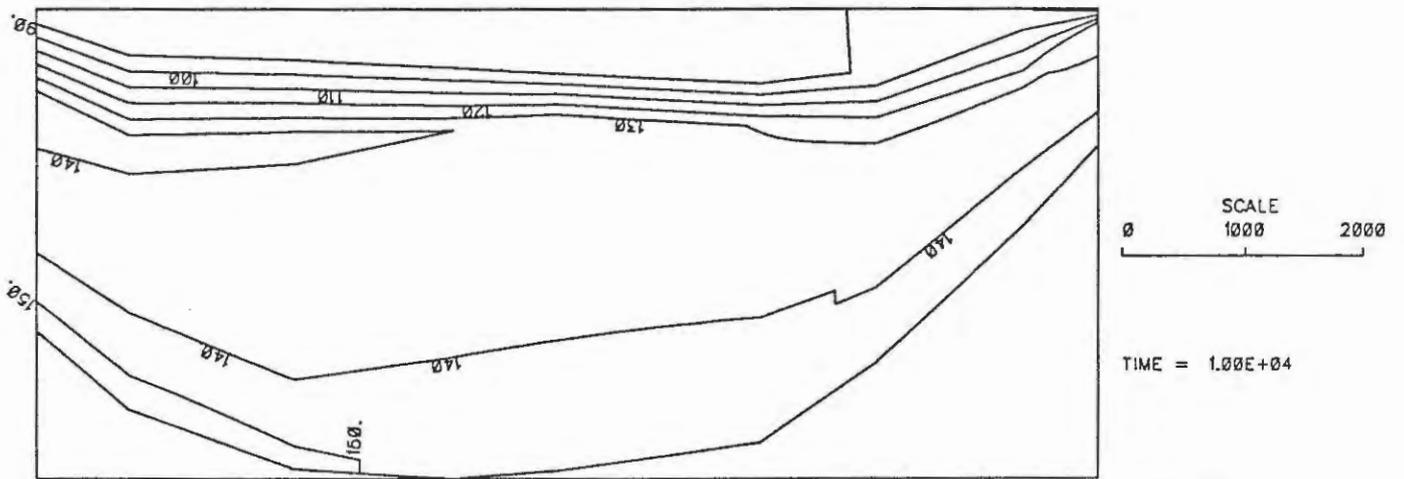


BILD 32: HYDRAULISCHES POTENTIAL TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT C

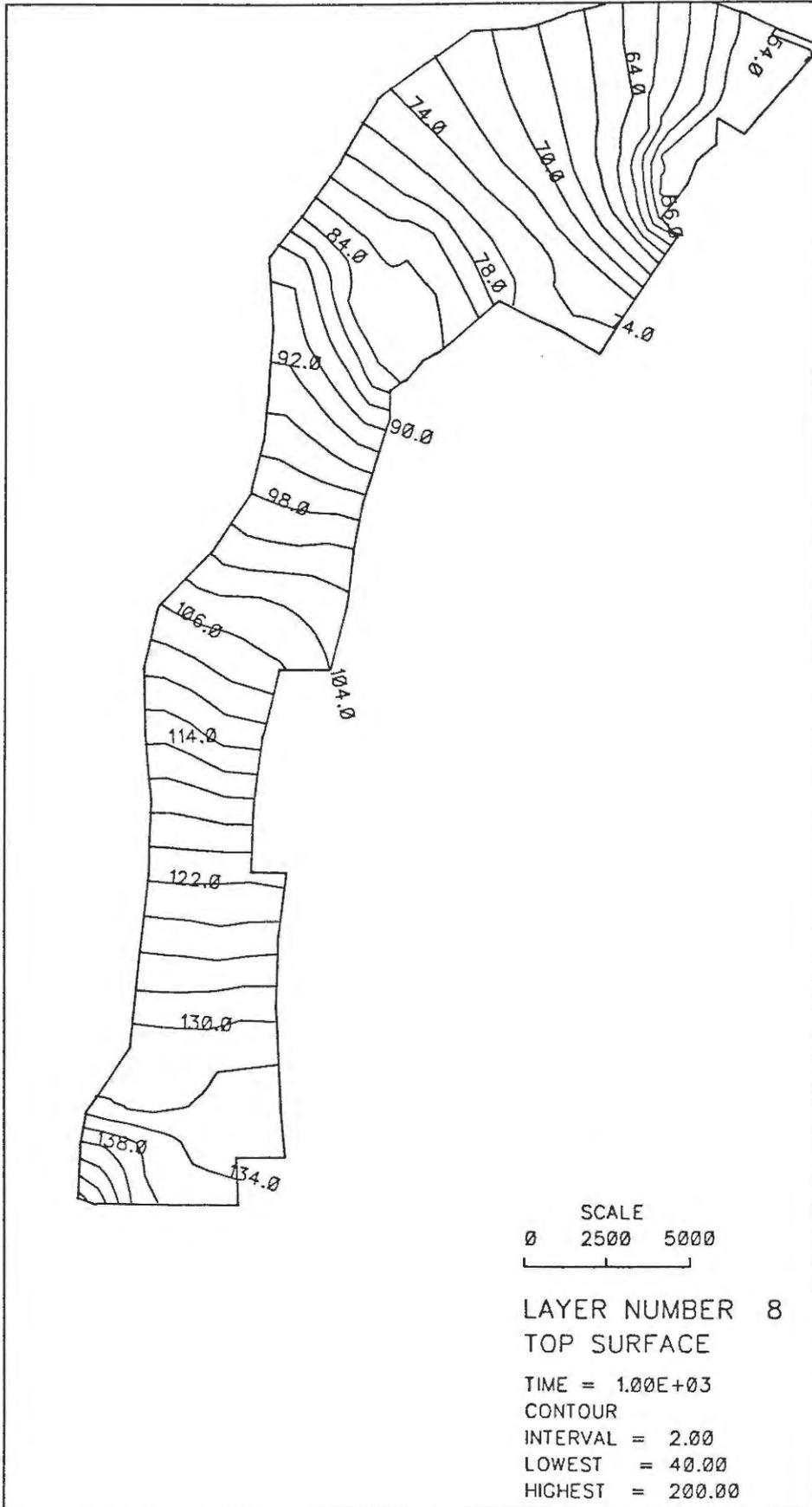


BILD 33: HYDRAULISCHES POTENTIAL OXFORD

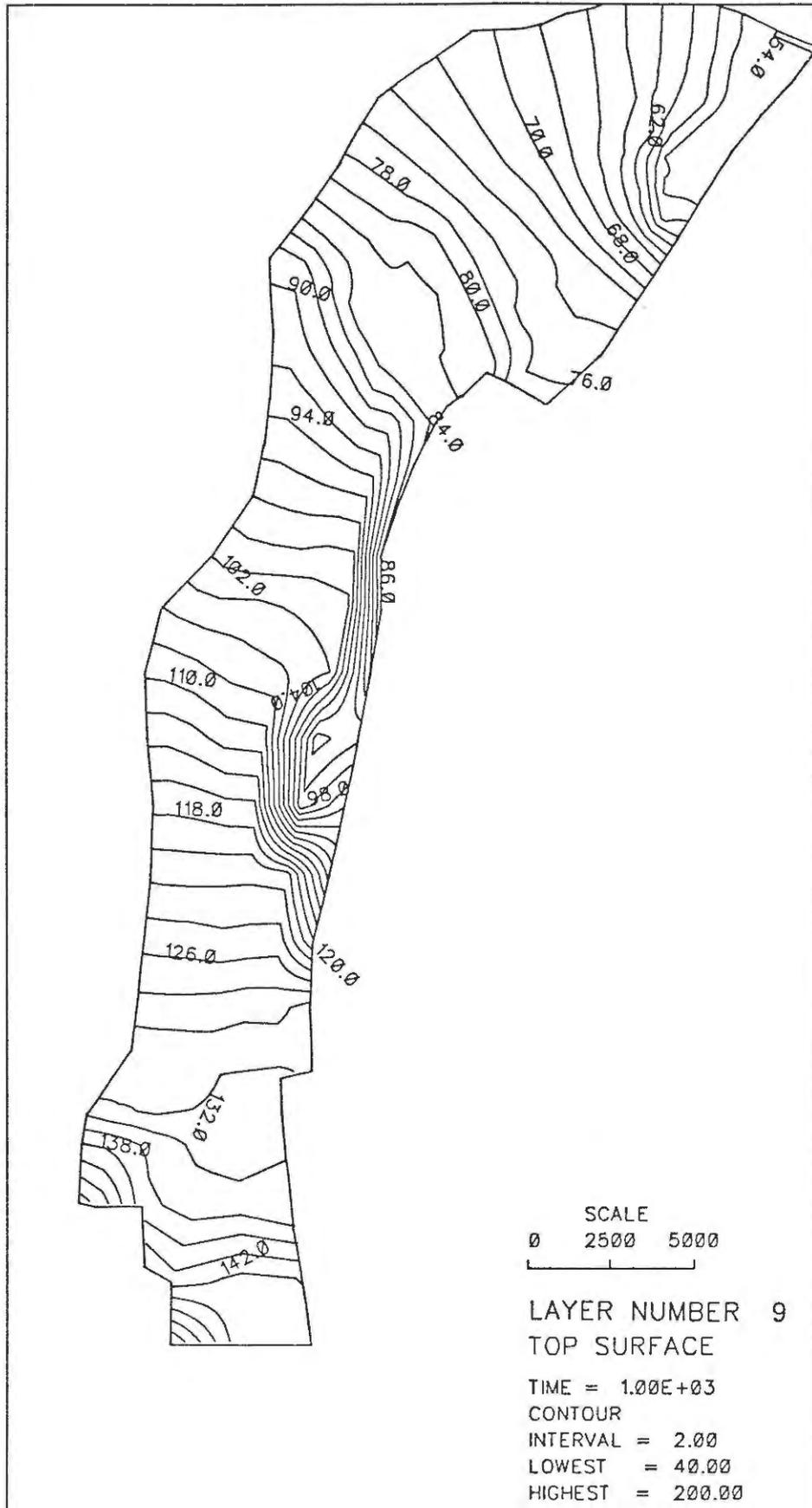


BILD 34: HYDRAULISCHES POTENTIAL DOGGER

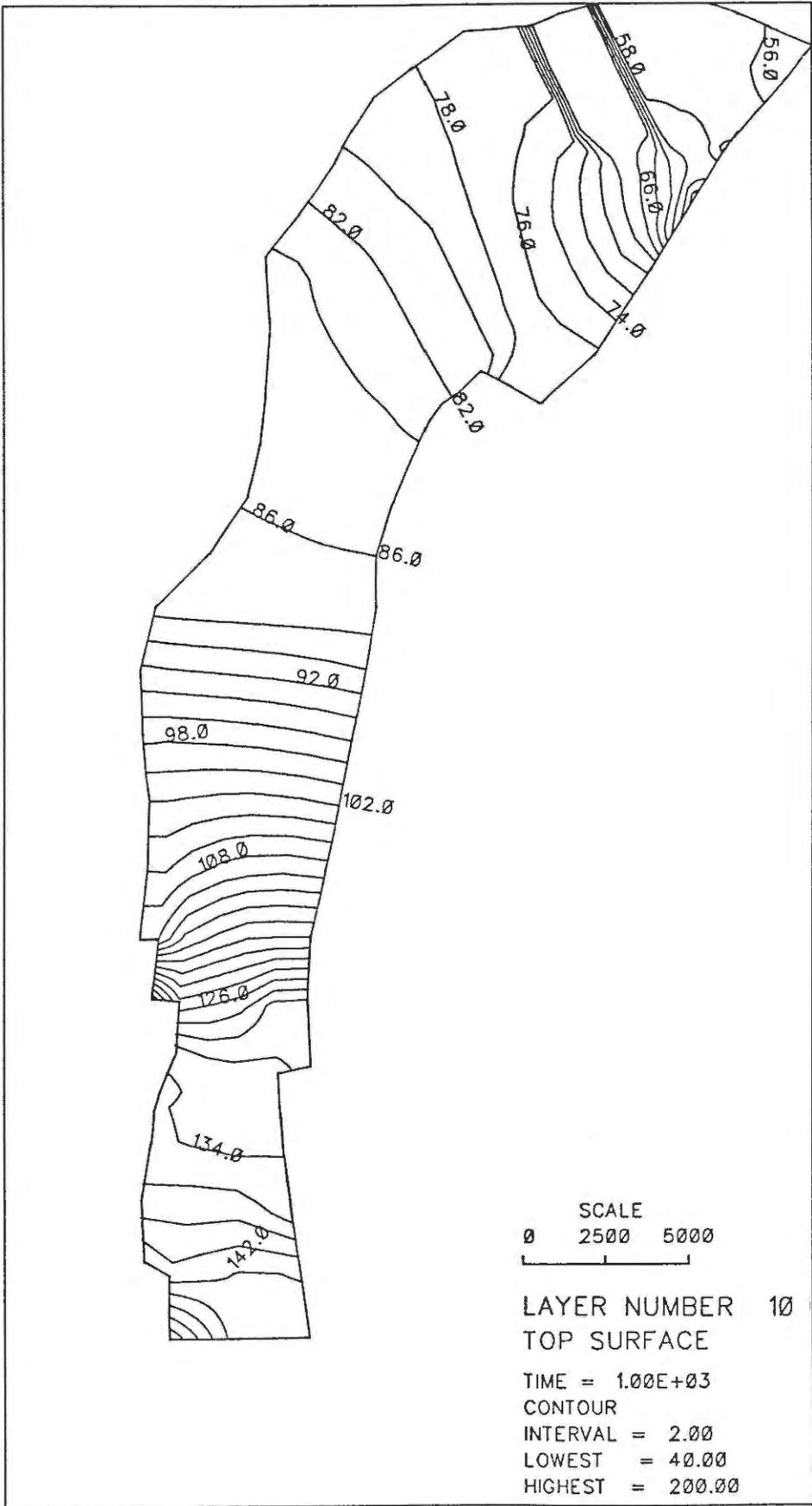


BILD 35: HYDRAULISCHES POTENTIAL CORNBRAUSH

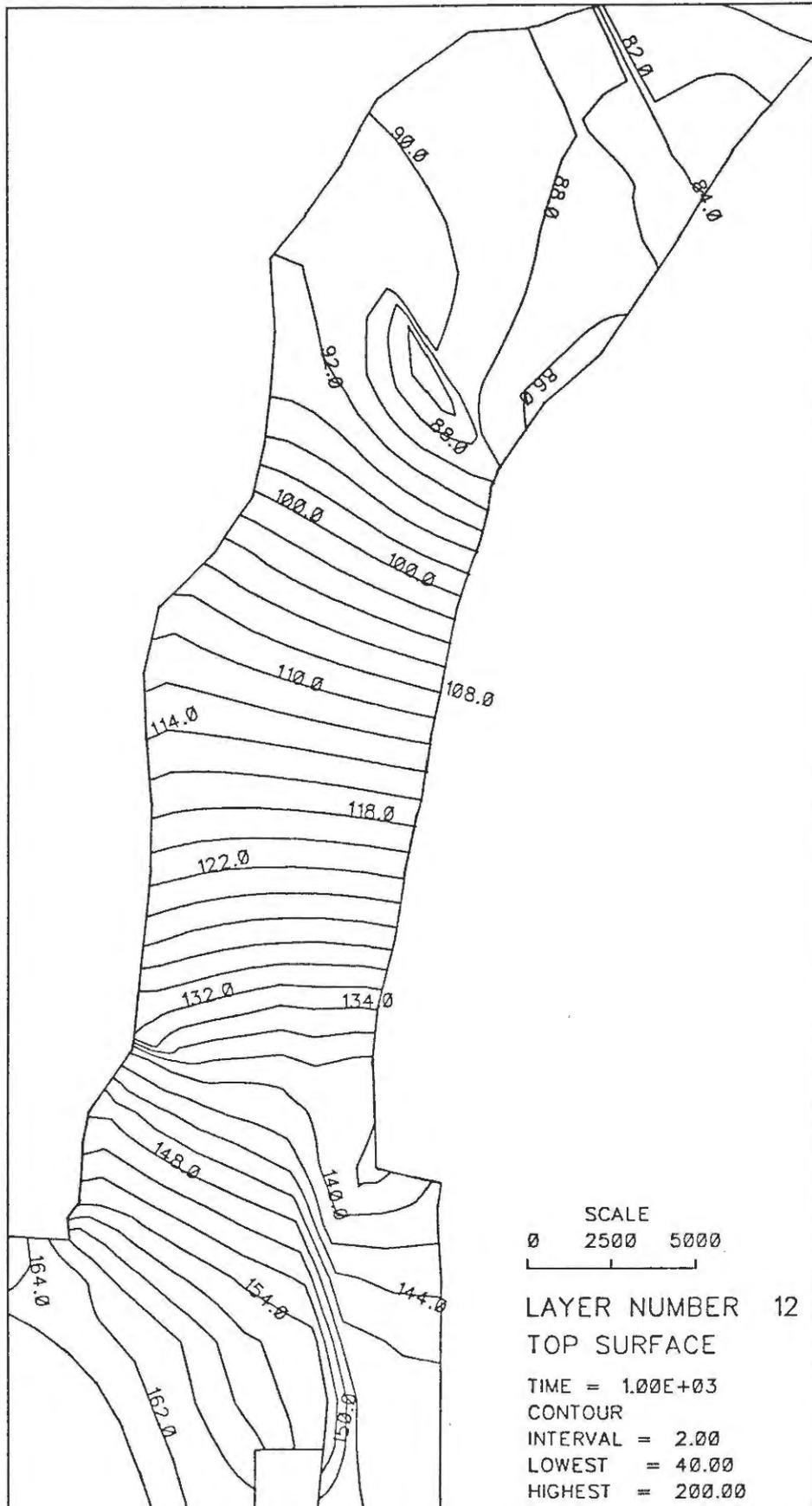


BILD 36: HYDRAULISCHES POTENTIAL RHAET

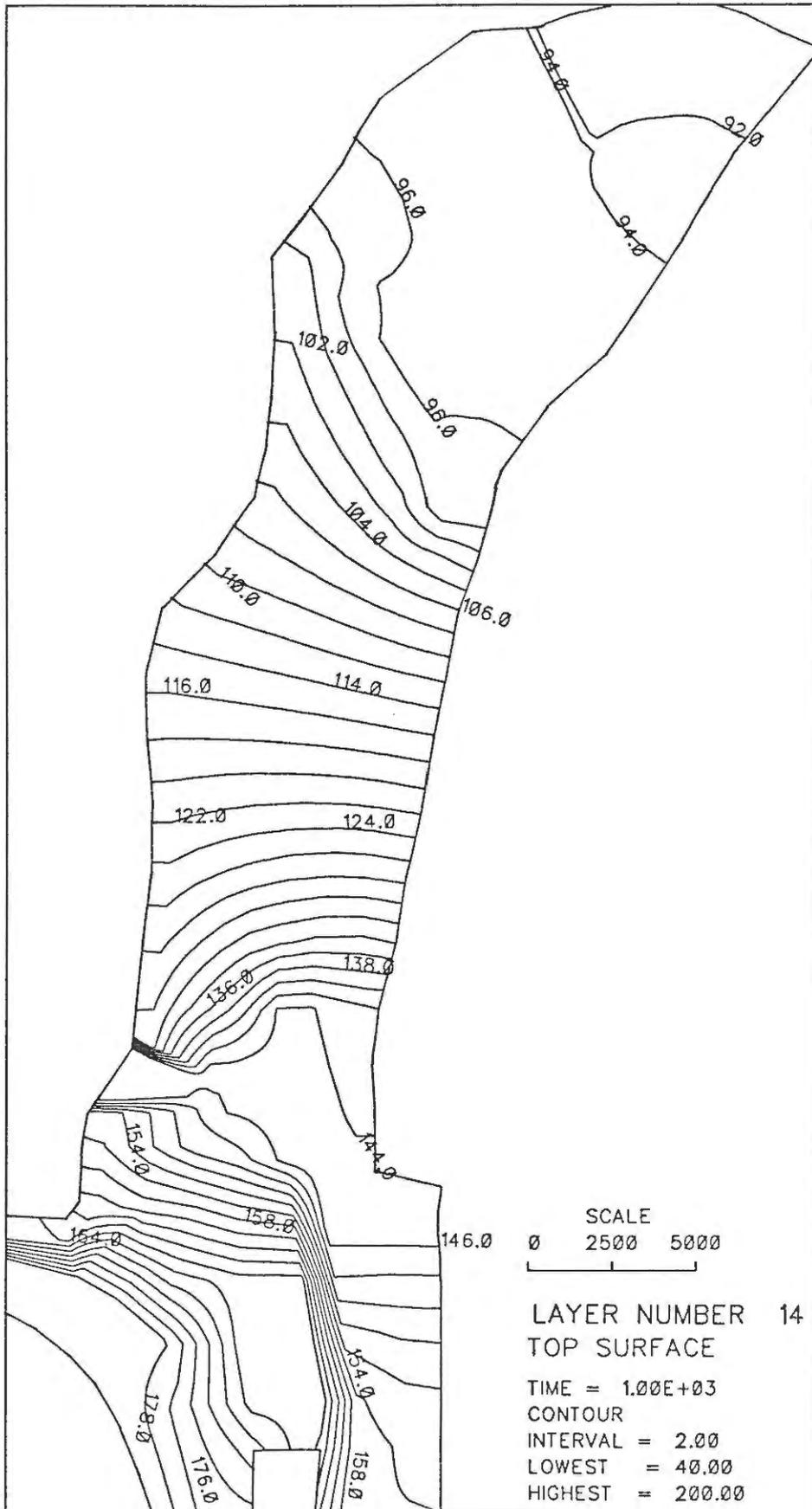


BILD 37: HYDRAULISCHES POTENTIAL MUSCHELKALK

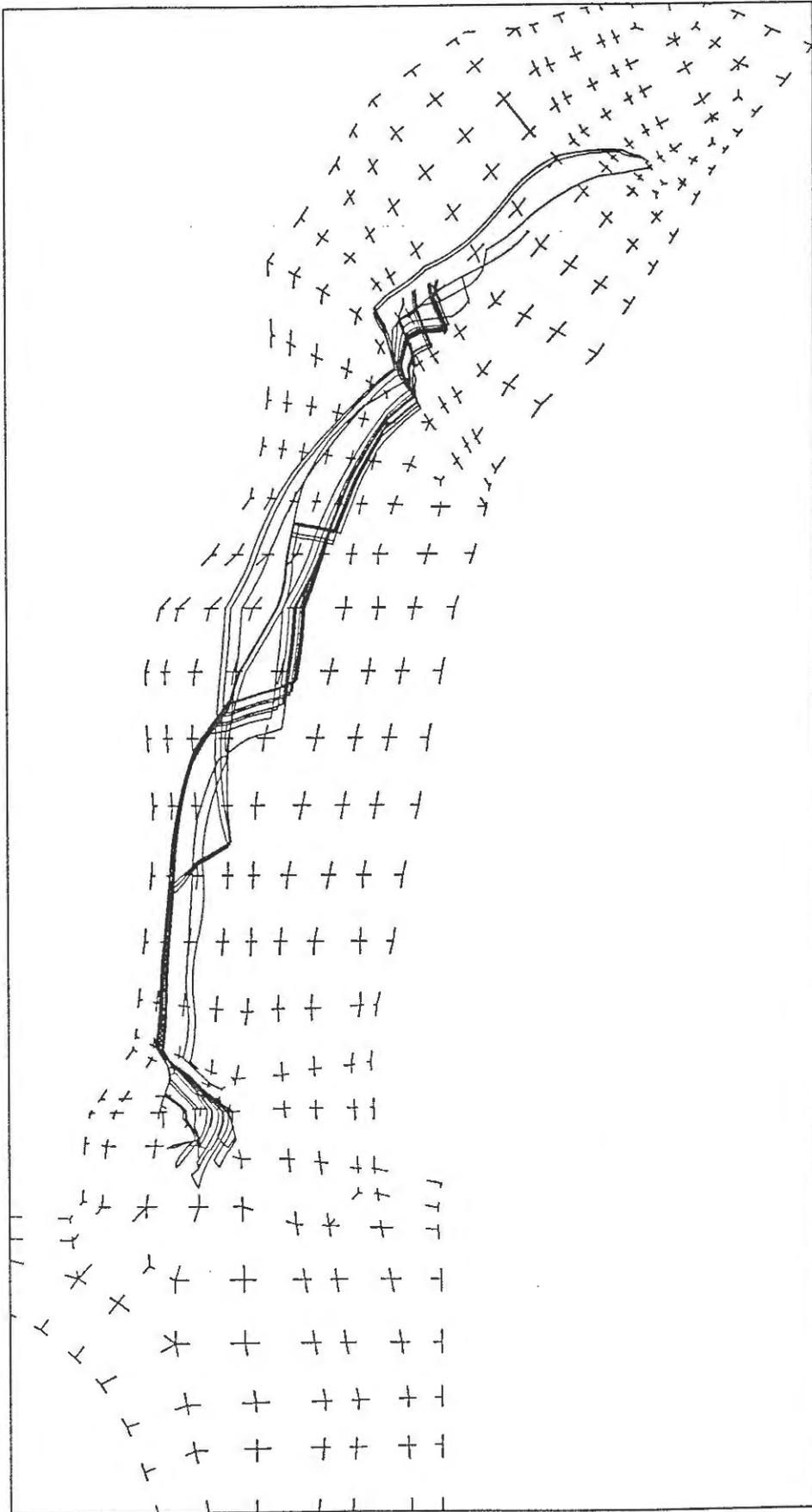


BILD 38: PROJEKTION VON BAHNLINIEN AUF HORIZONTALE EBENE
STARTPUNKTE LAGERBEREICH

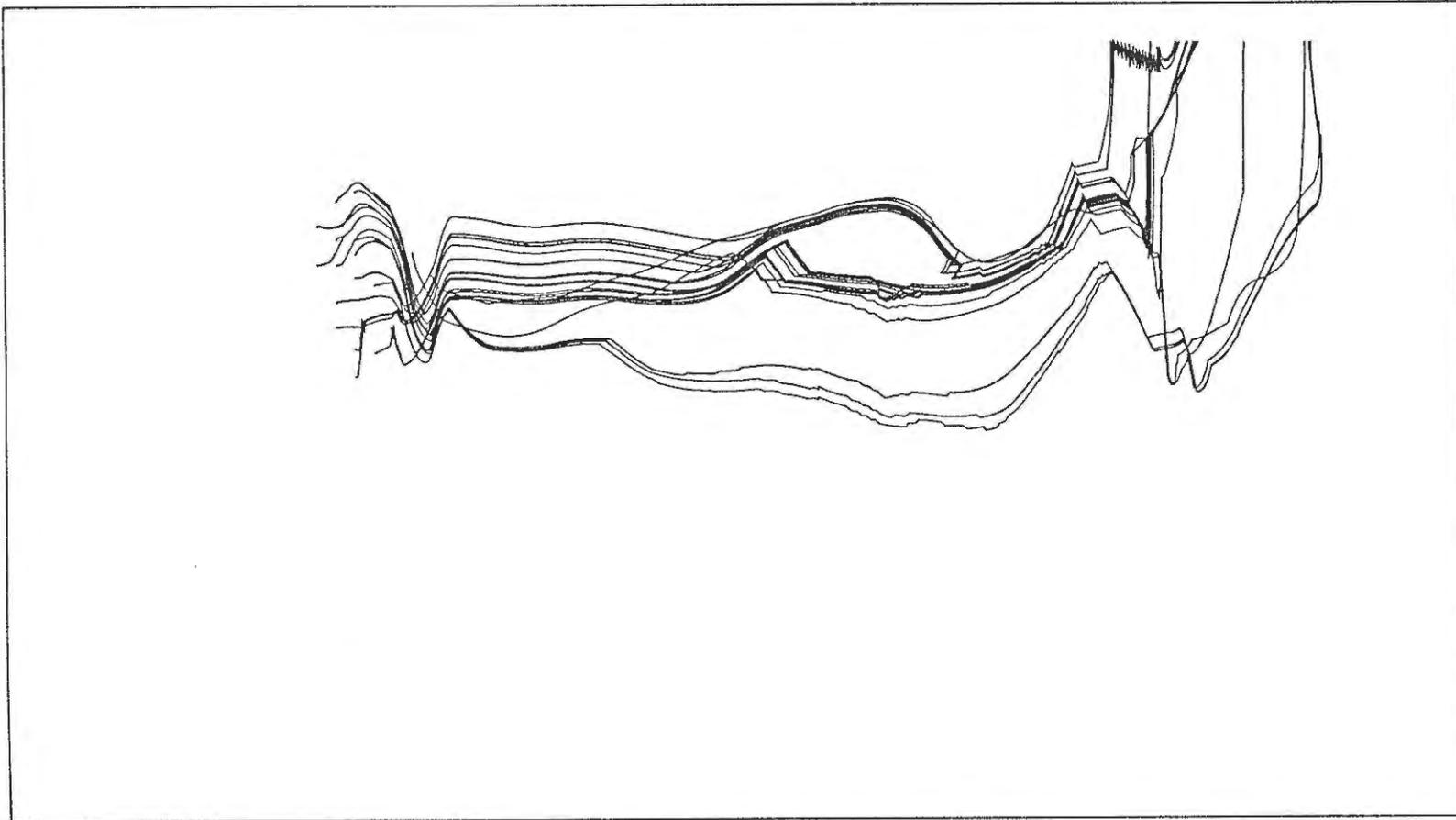


BILD 39: PROJEKTION VON BAHNLINIEN AUF VERTIKALELE EBENE
STARTPUNKTE LAGERBEREICH

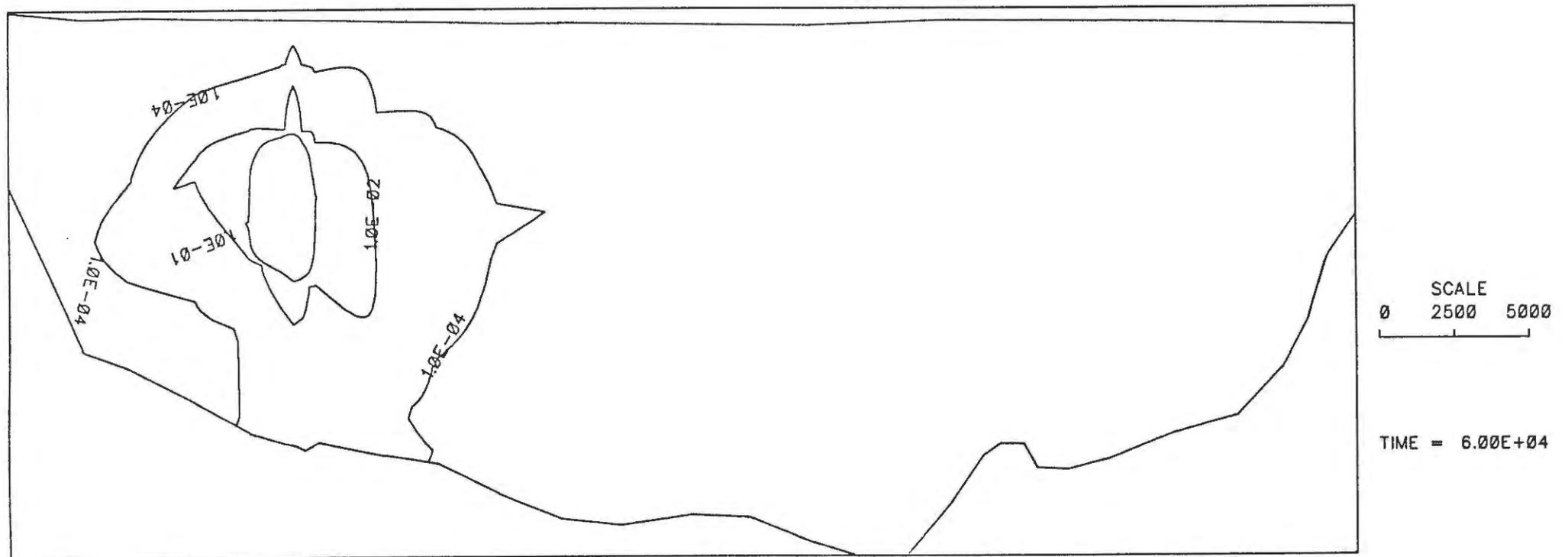


BILD 40: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT D

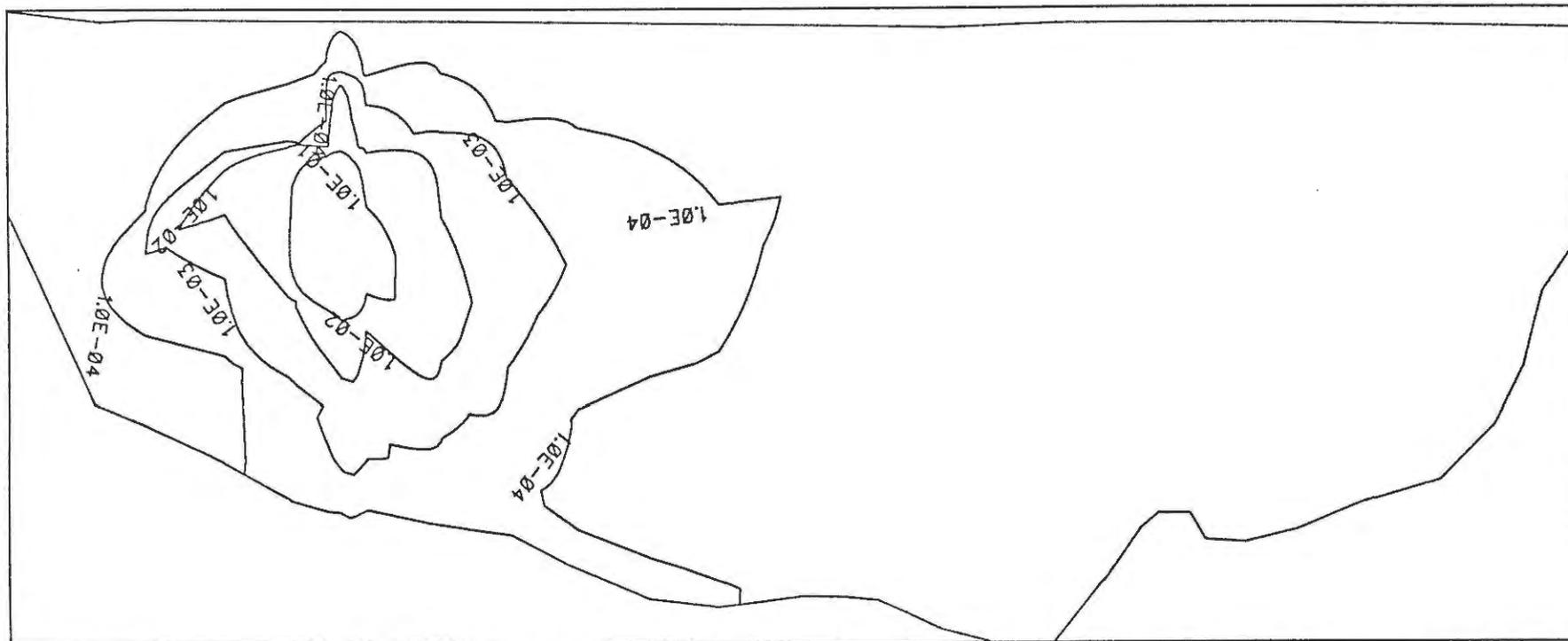
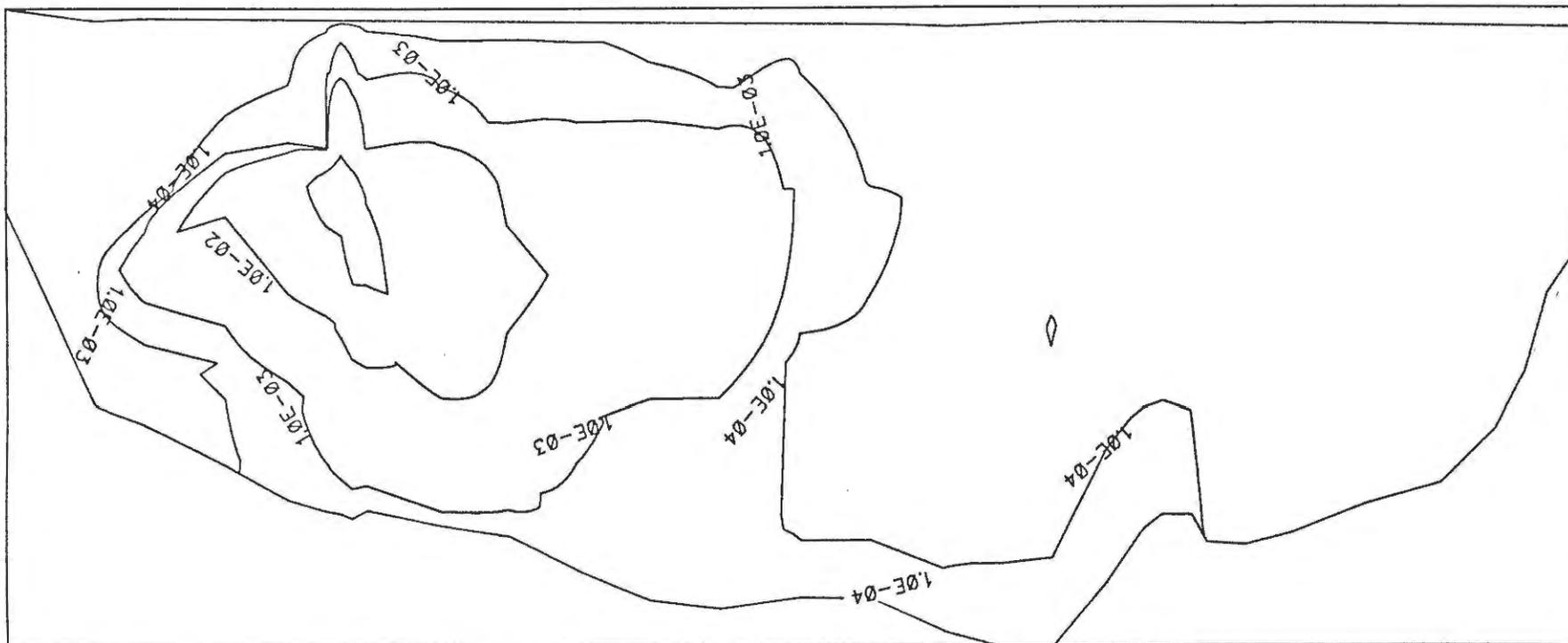


BILD 41: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D



SCALE
0 2500 5000

TIME = 2.50E+05

BILD 42: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D

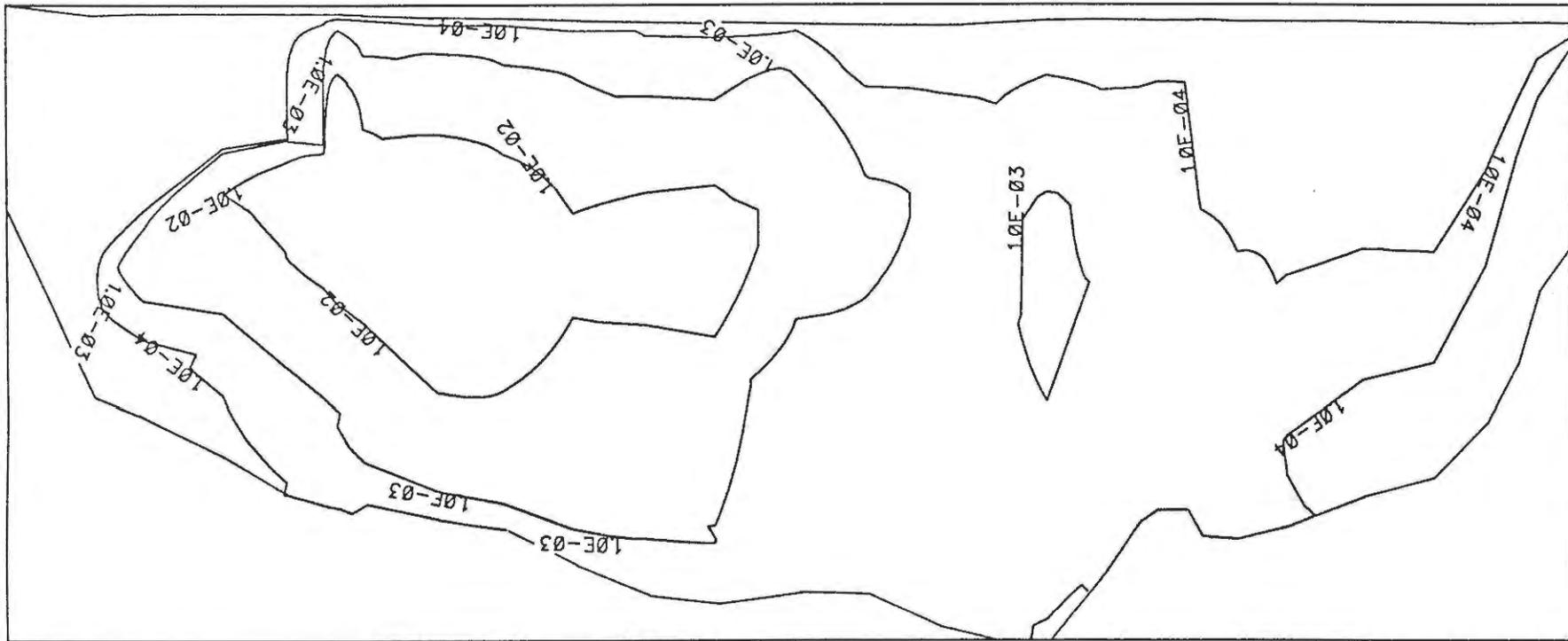
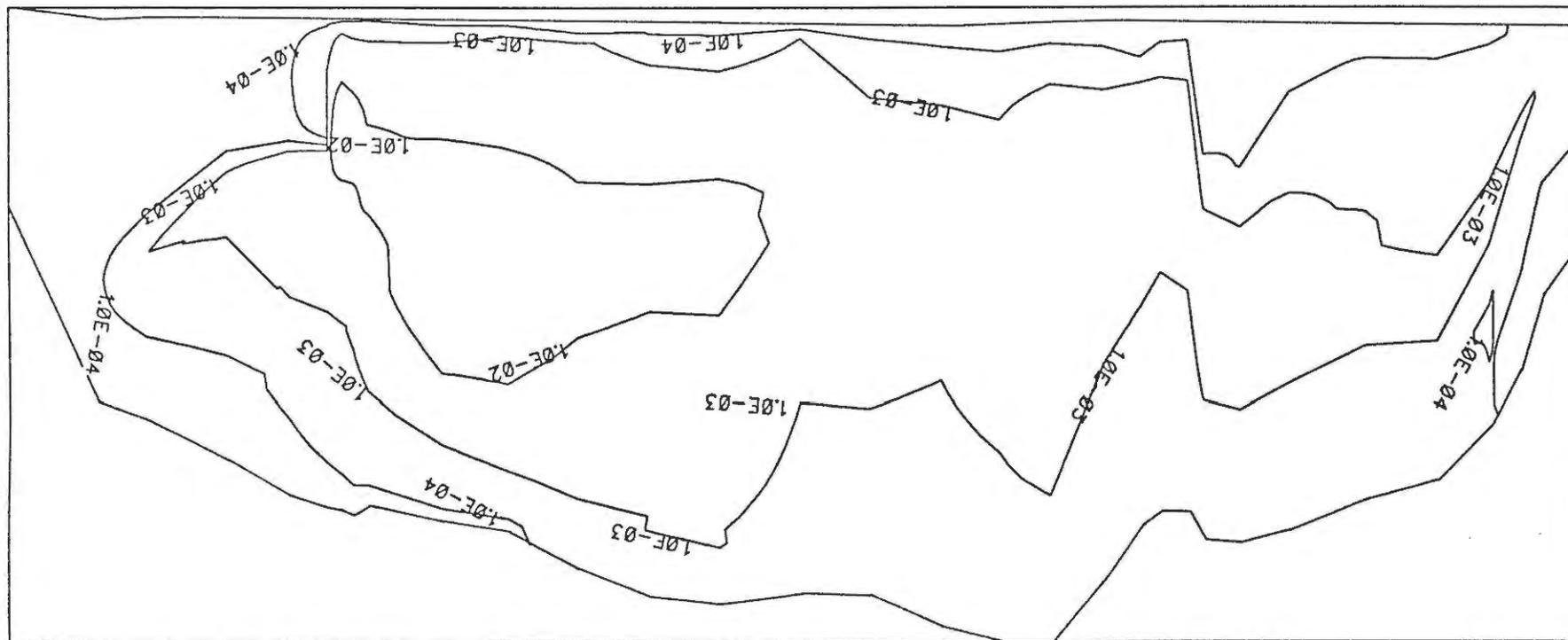


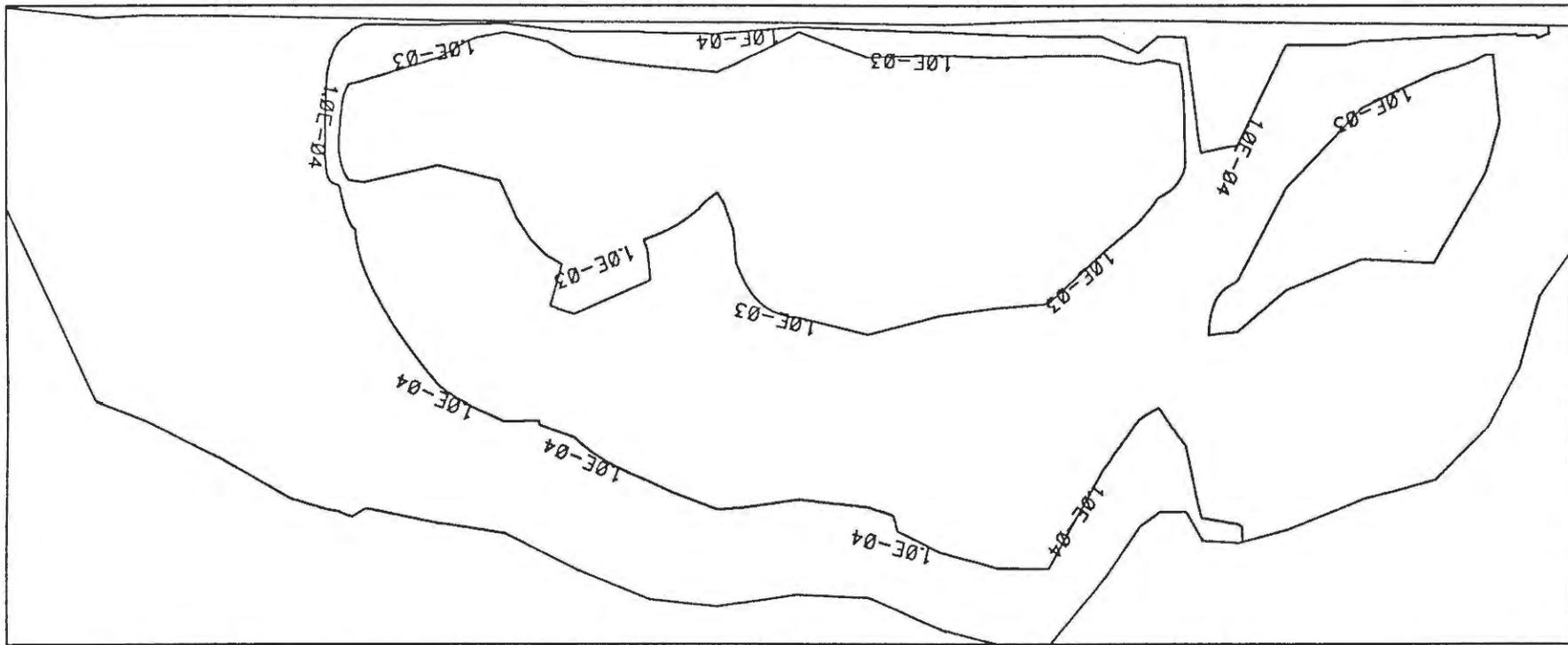
BILD 43: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D



SCALE
0 2500 5000

TIME = 1.00E+06

BILD 44: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D



SCALE
0 2500 5000

TIME = 4.00E+06

BILD 45: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT D

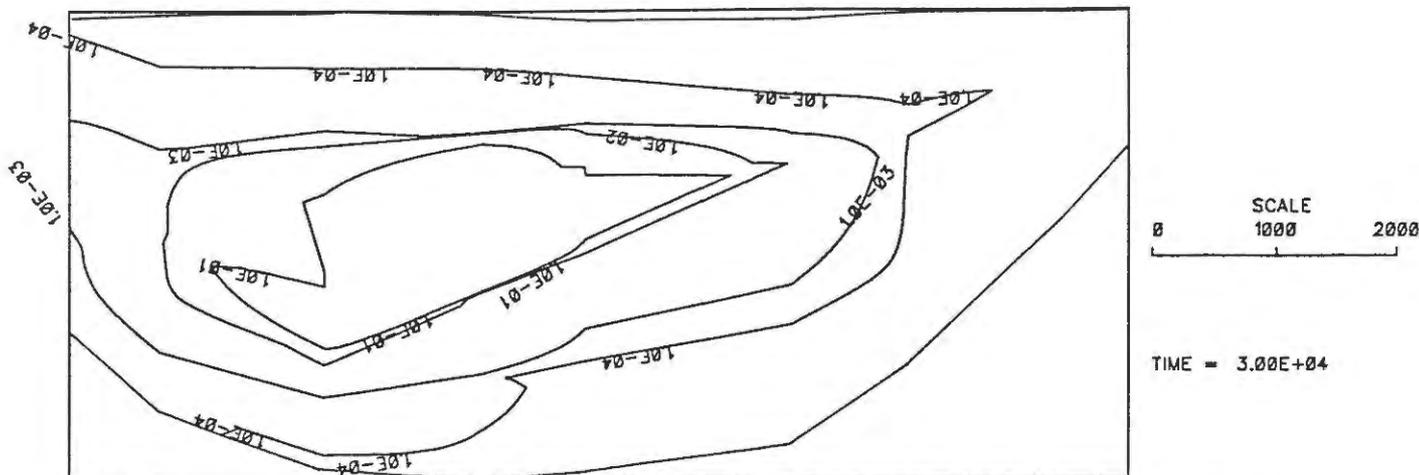


BILD 46: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT C

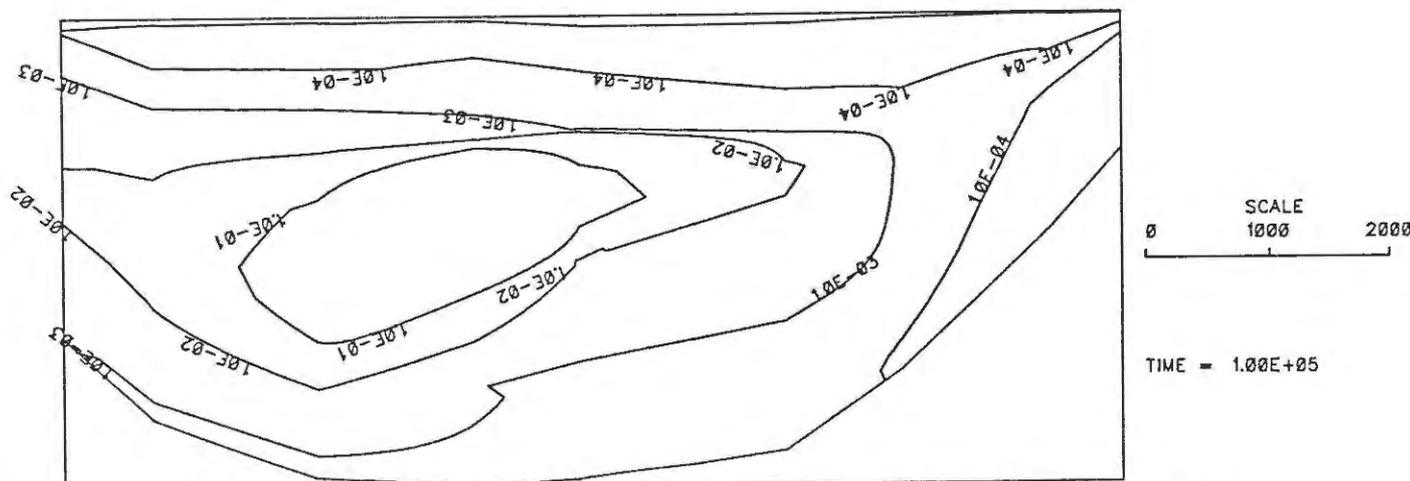


BILD 47: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT C

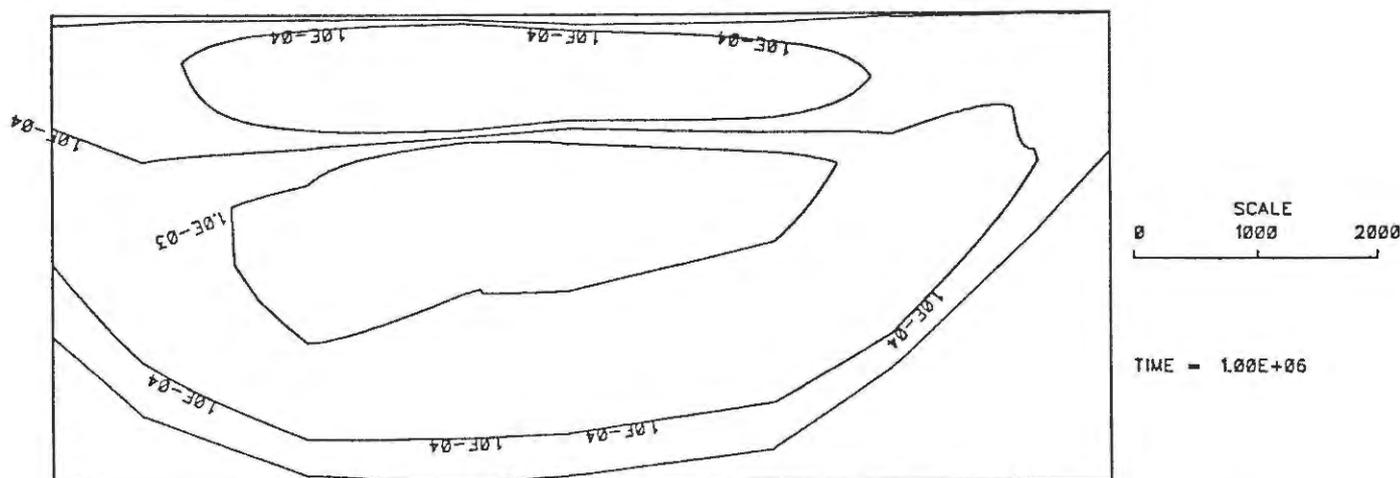


BILD 48: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT C

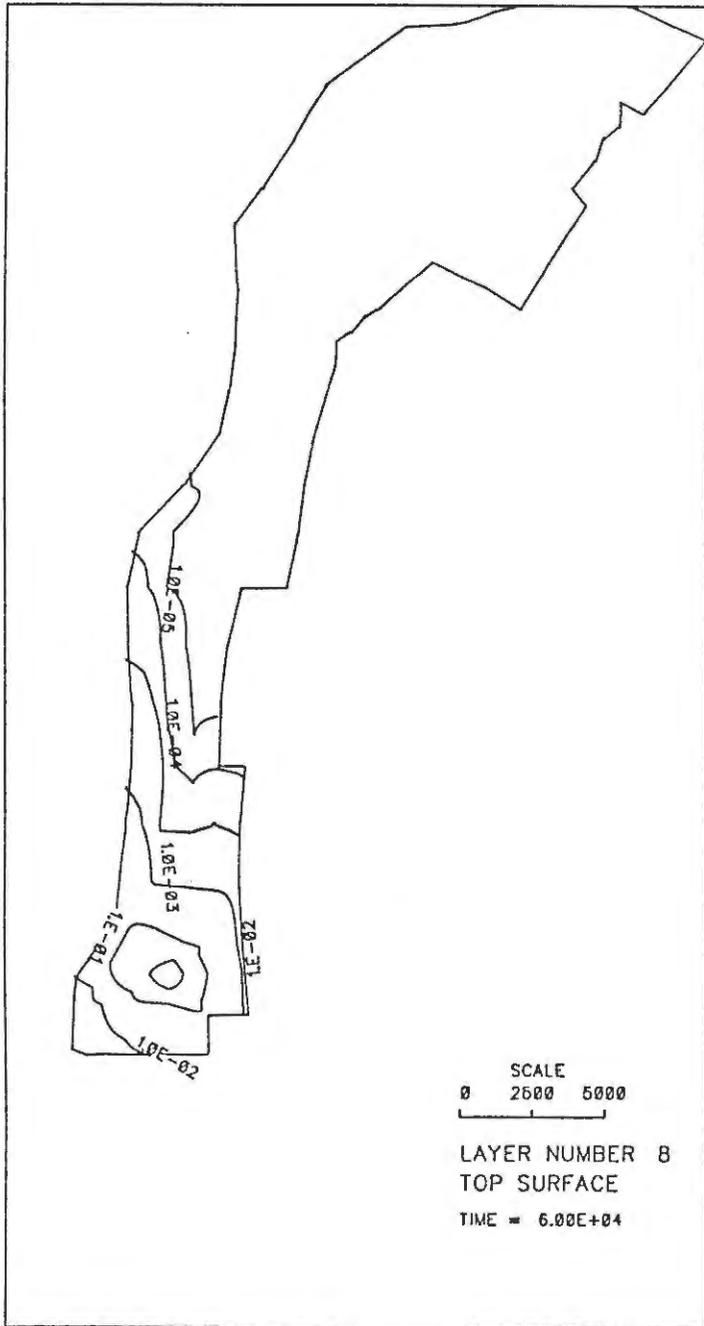


BILD 49: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

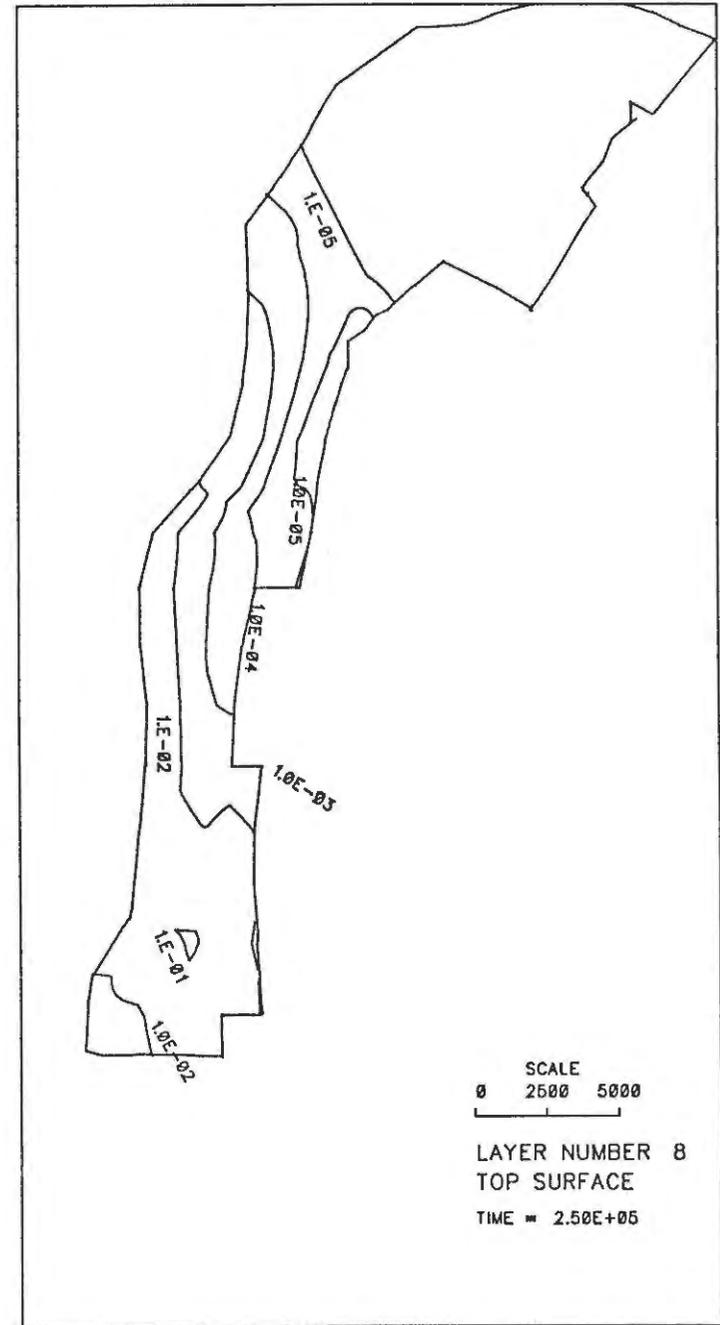


BILD 50: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

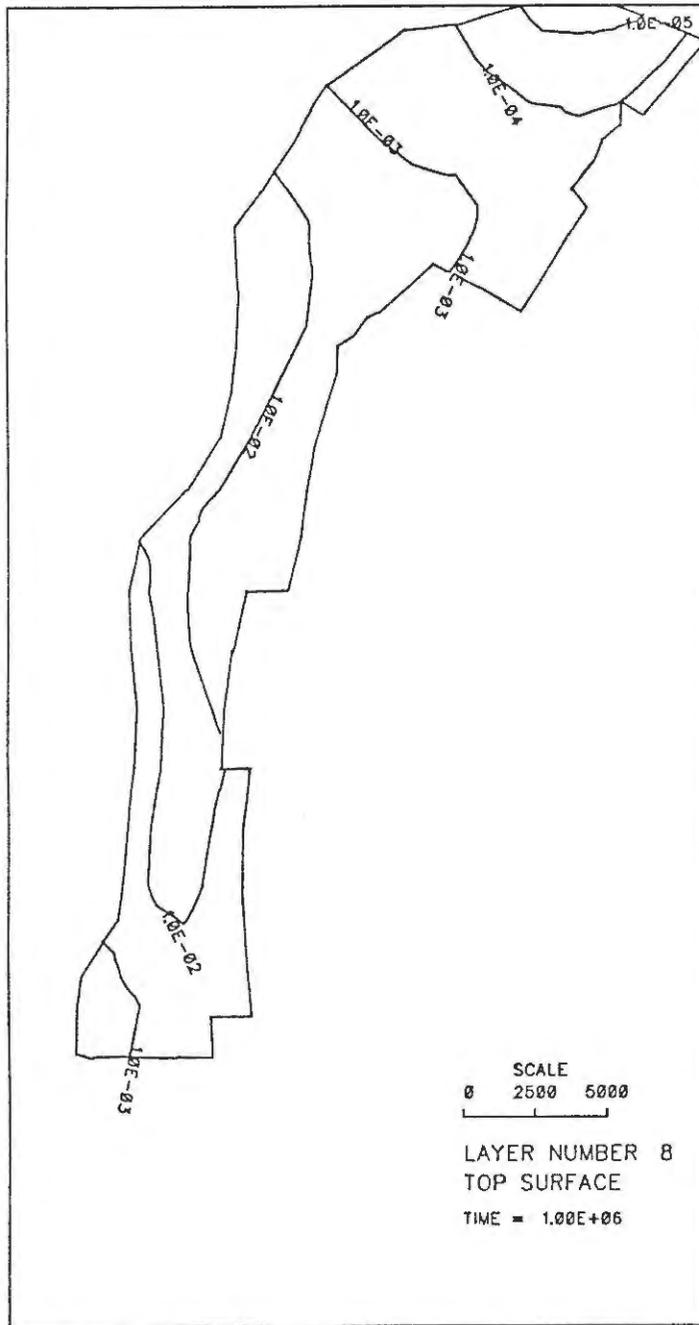


BILD 51: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

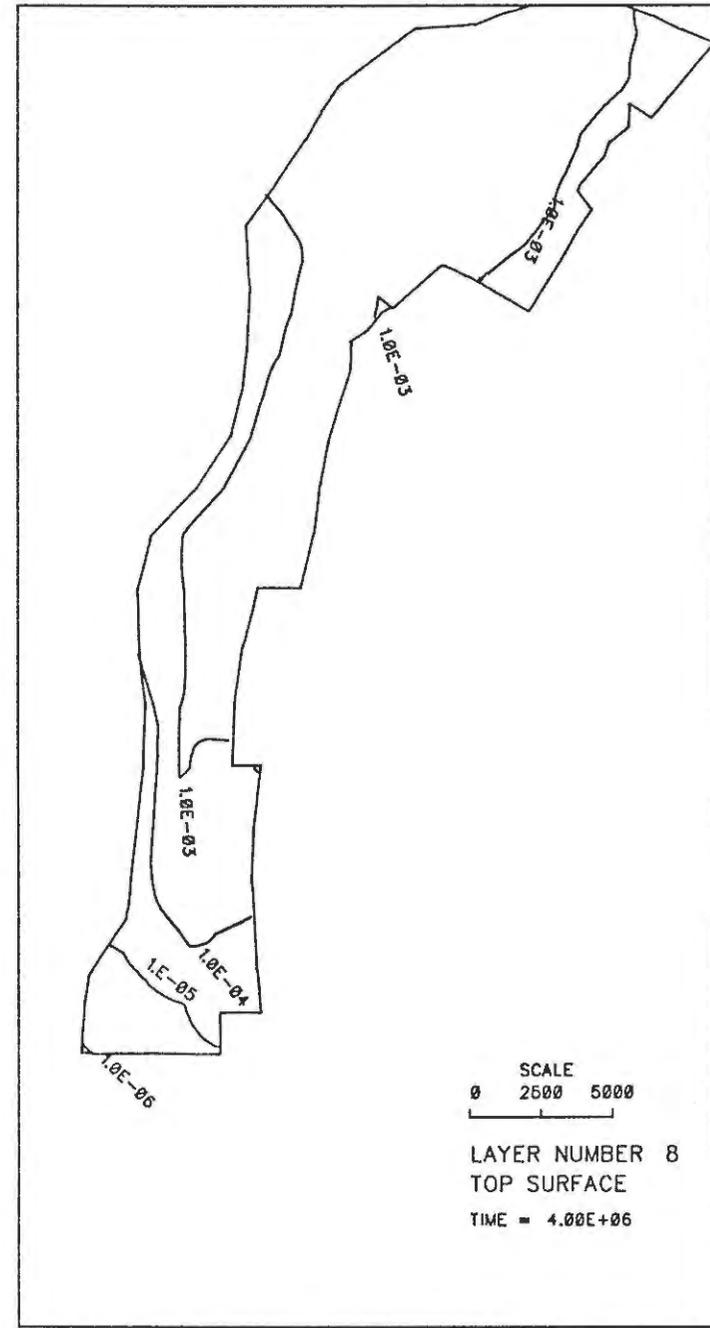


BILD 52: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

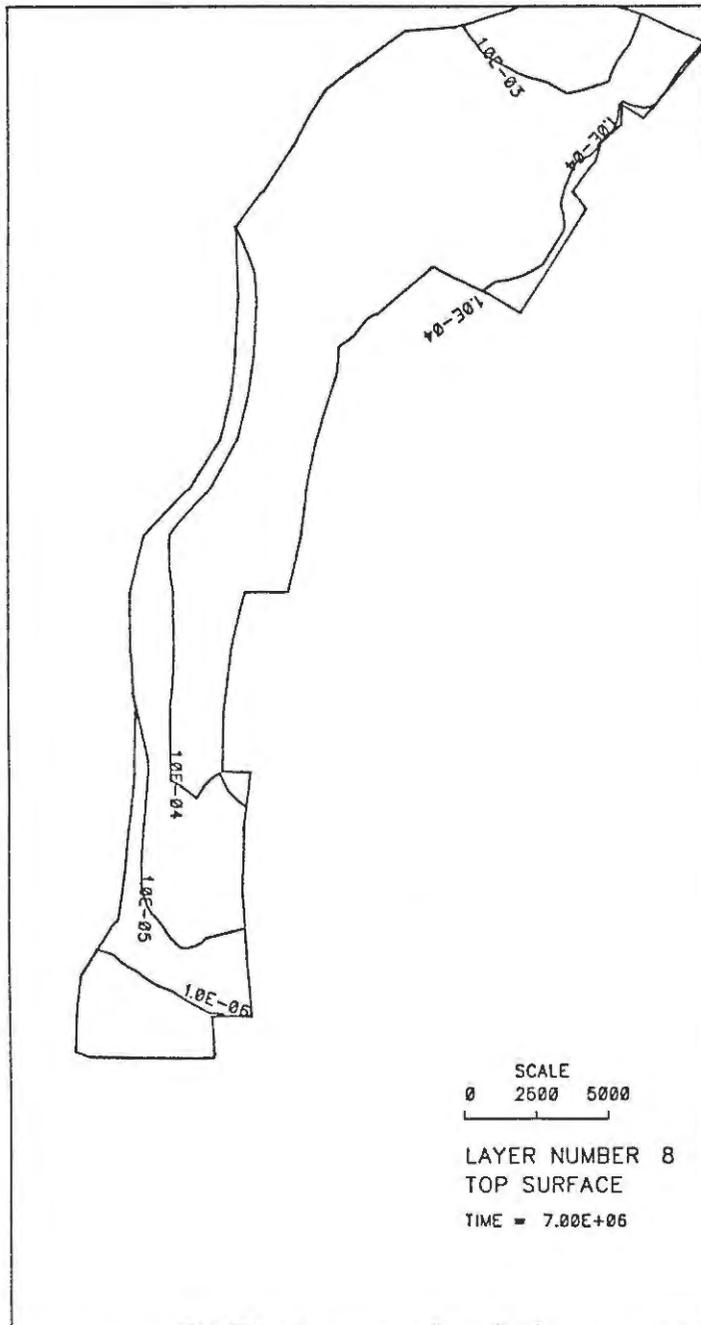


BILD 53: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

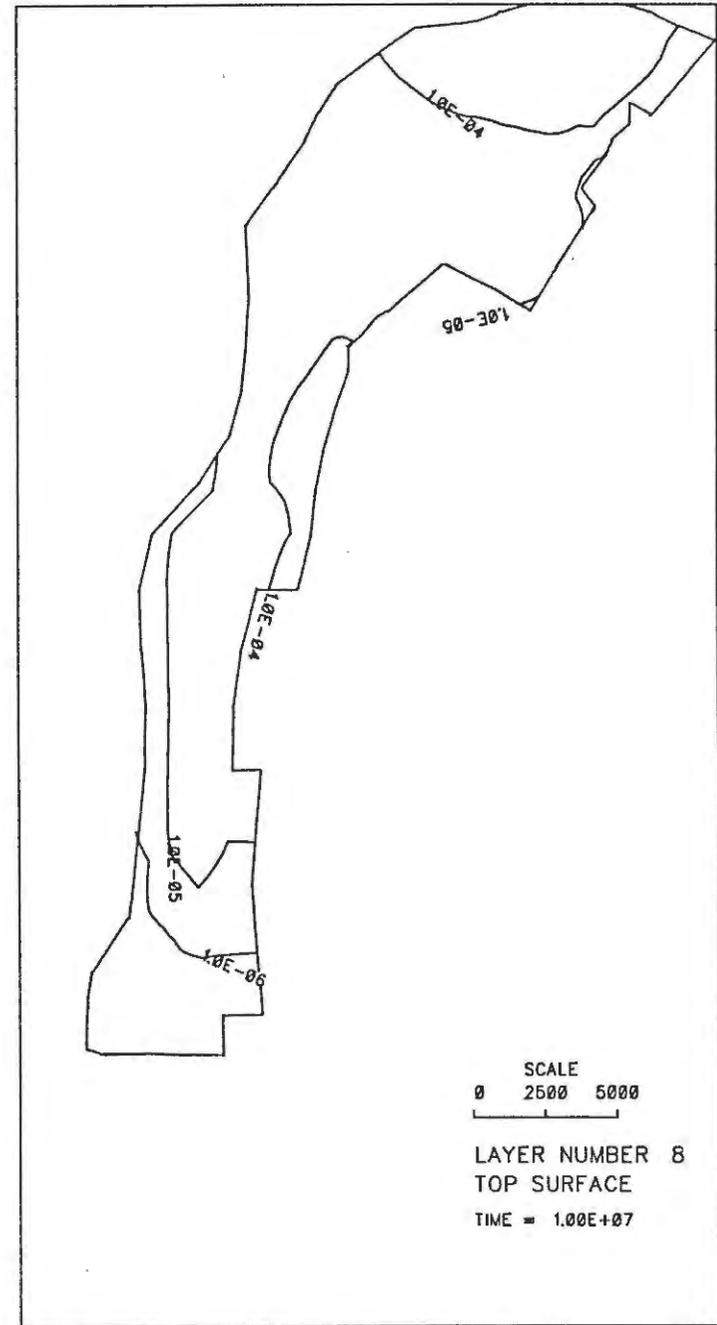


BILD 54: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

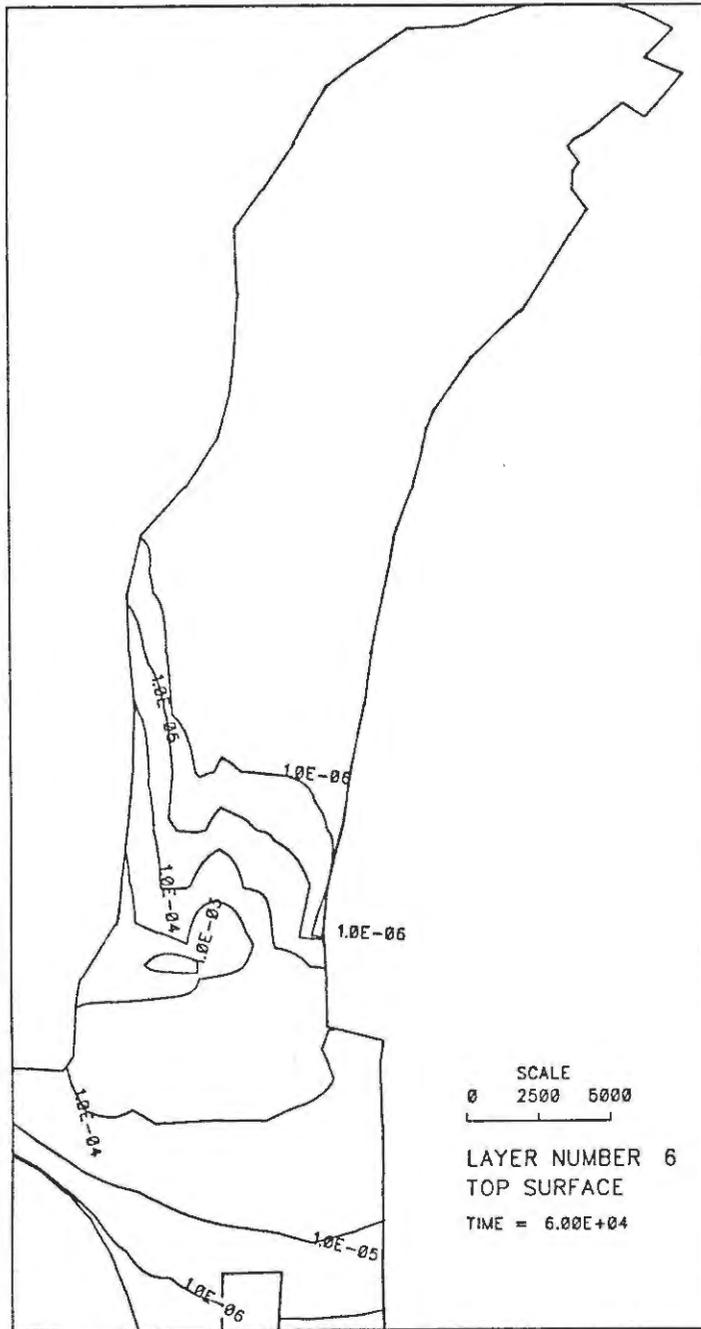


BILD 55: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) UNTERKREIDE
TEKTONISCHES MODELL

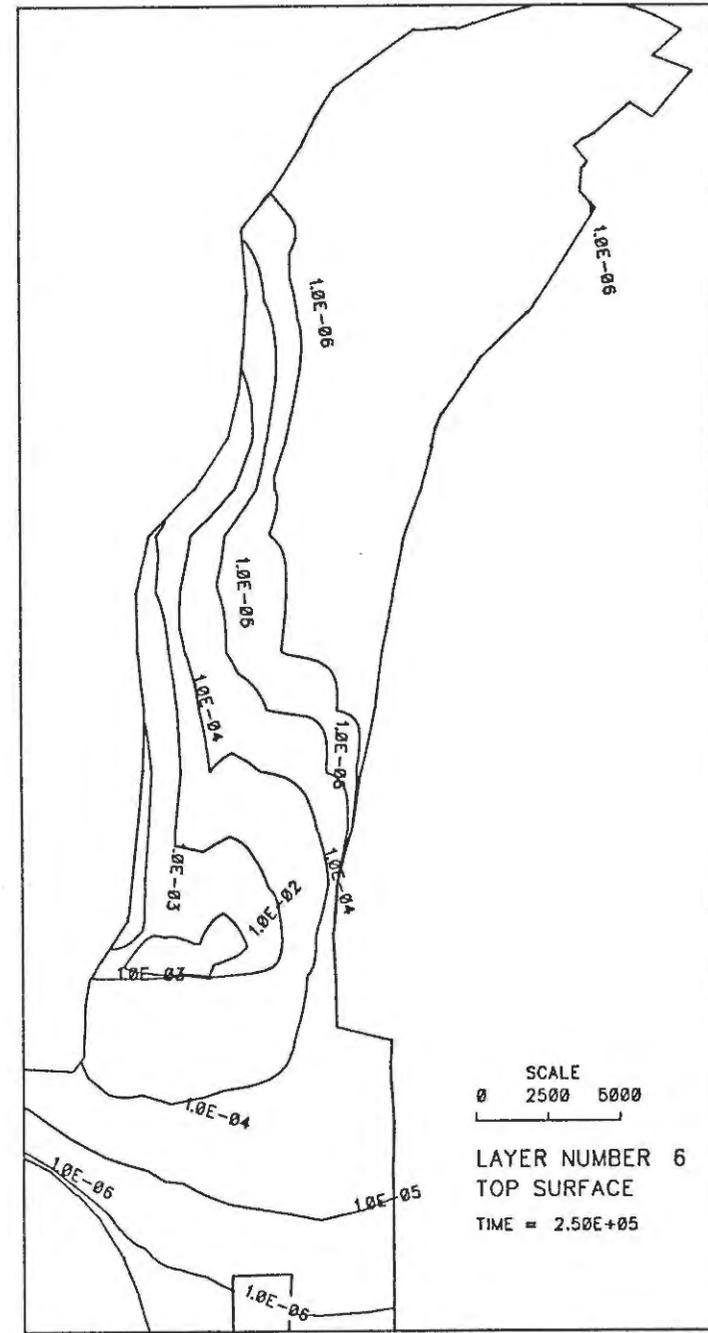


BILD 56: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) UNTERKREIDE
TEKTONISCHES MODELL

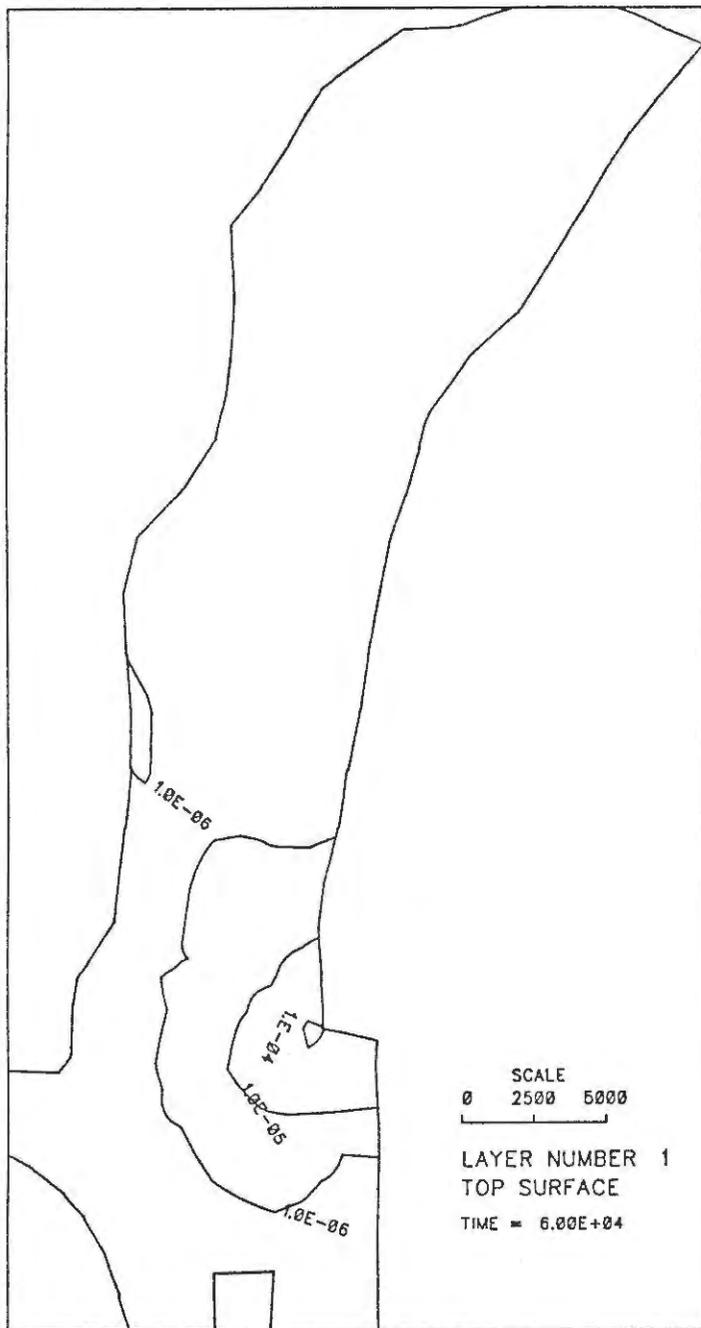


BILD 59: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

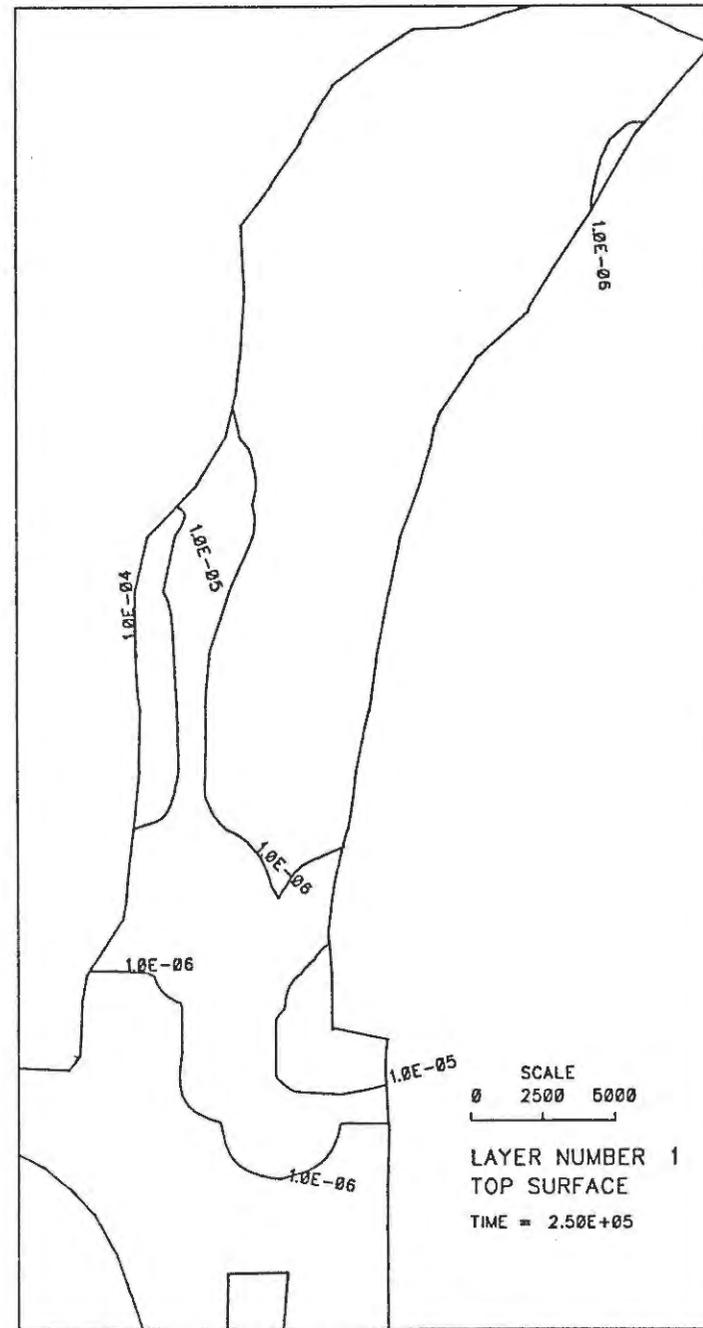


BILD 60: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

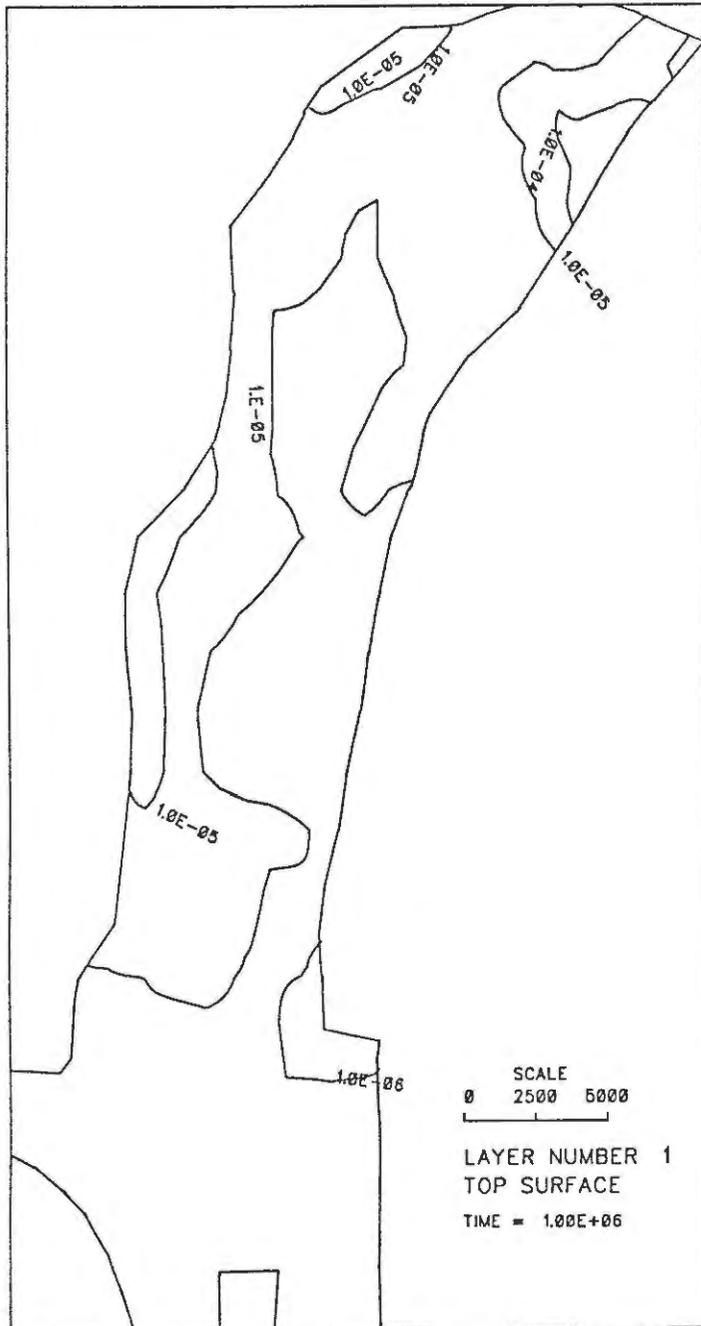


BILD 61: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

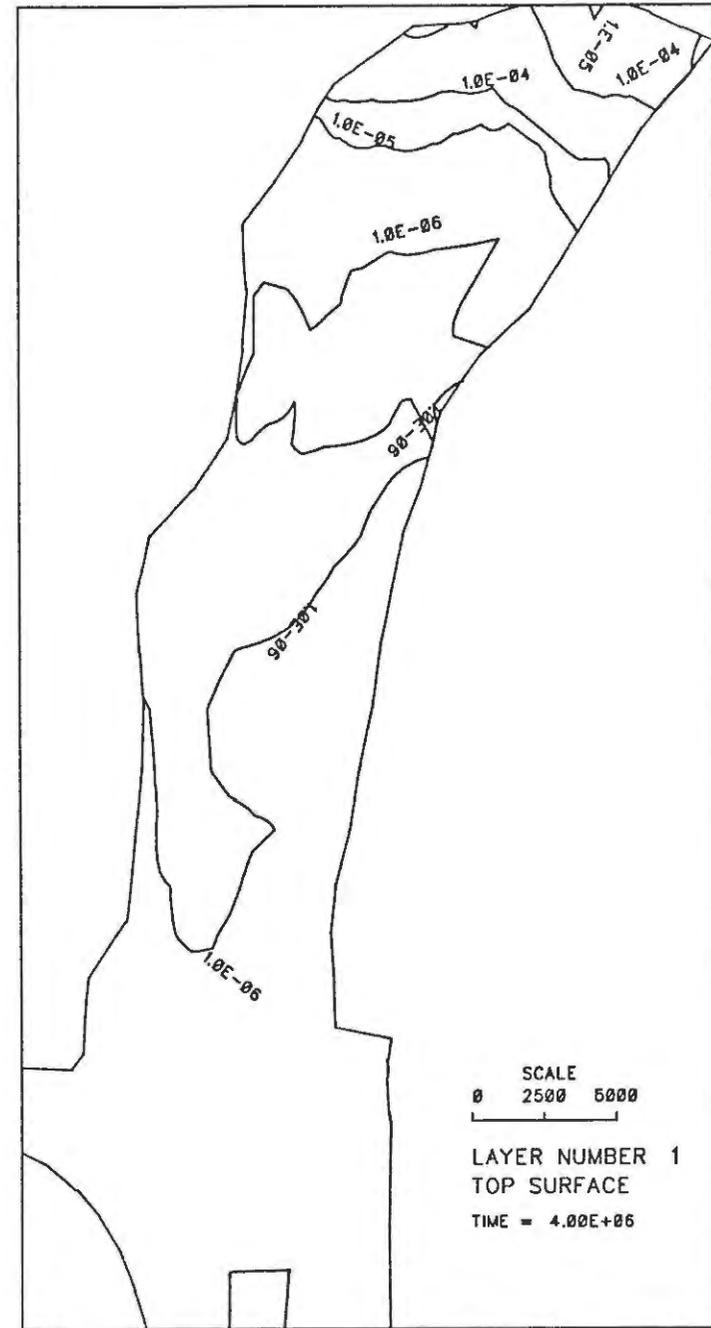


BILD 62: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

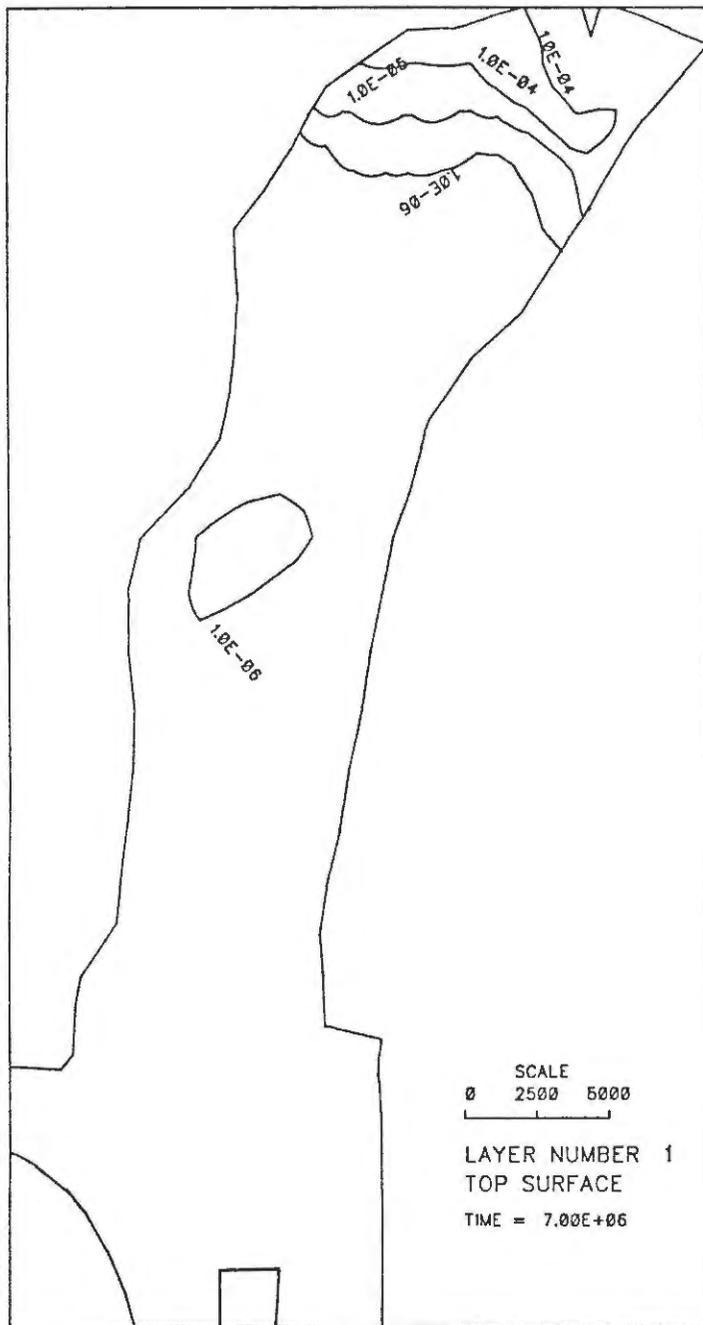


BILD 63: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

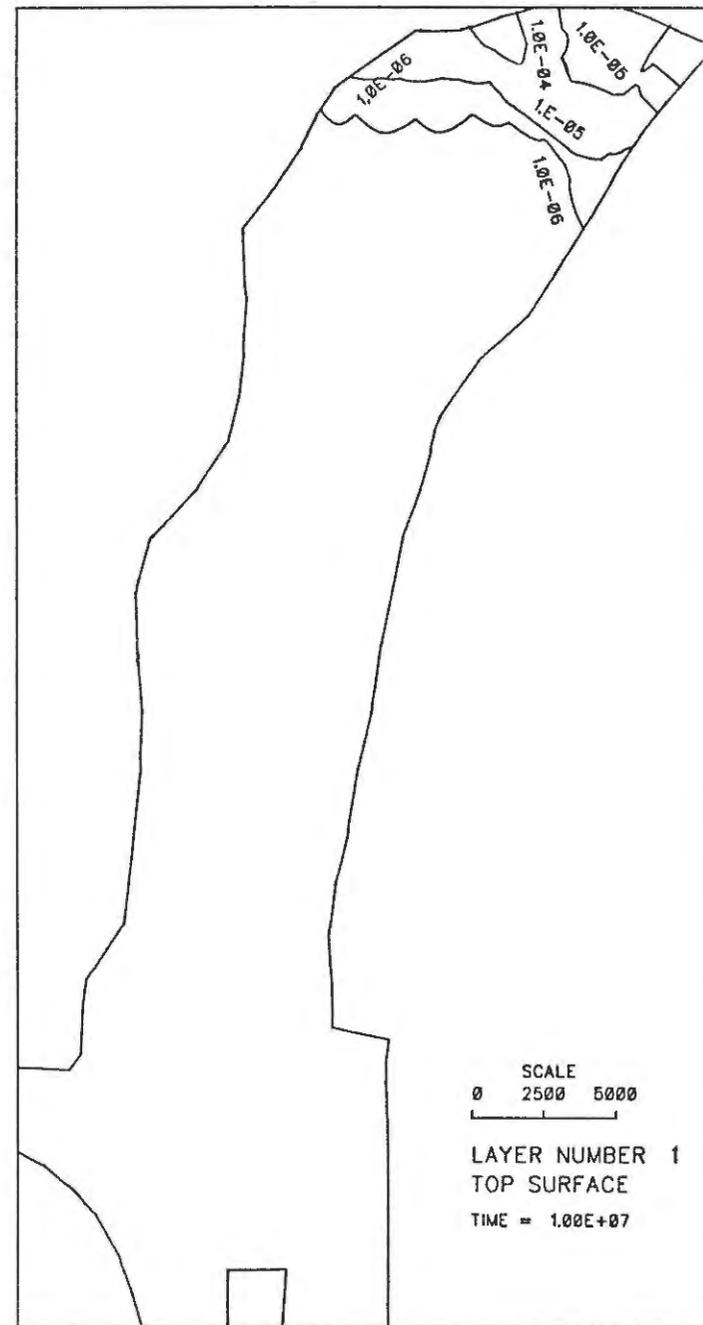


BILD 64: J-129 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

BILD 65: J-129 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL

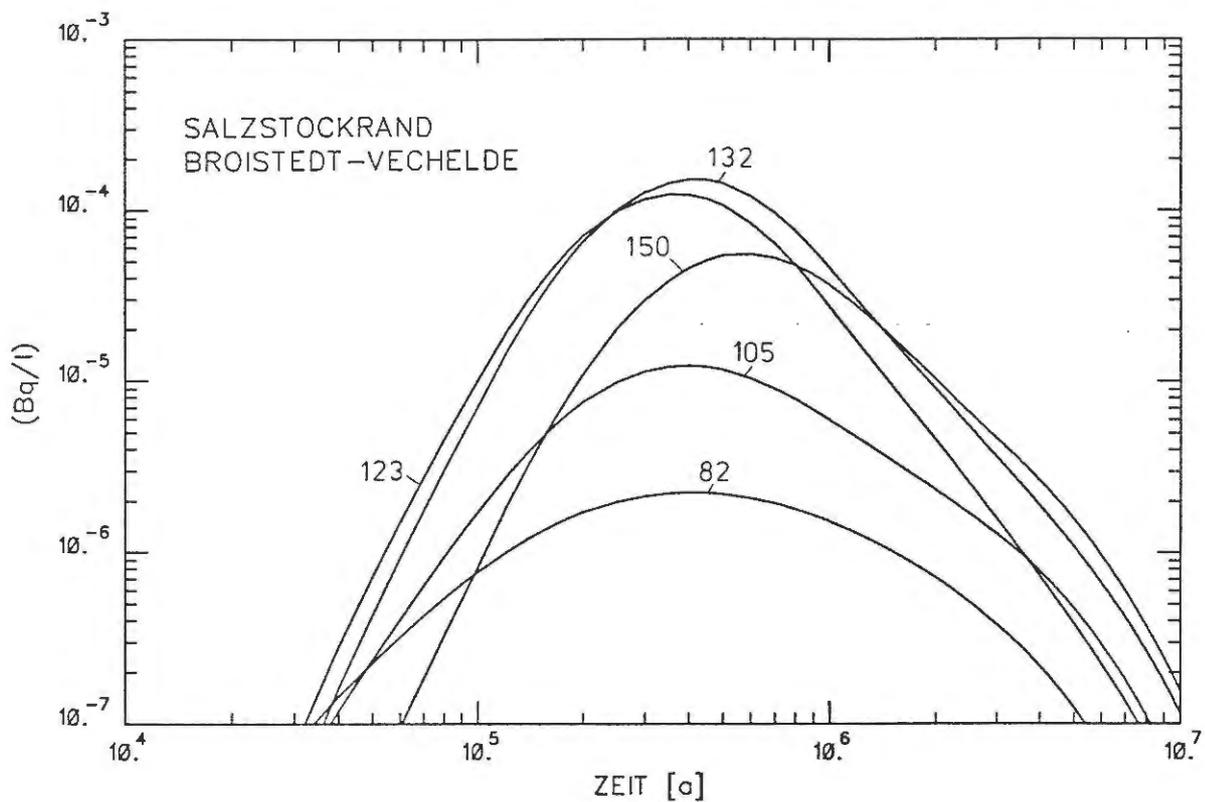


BILD 66: J-129 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL

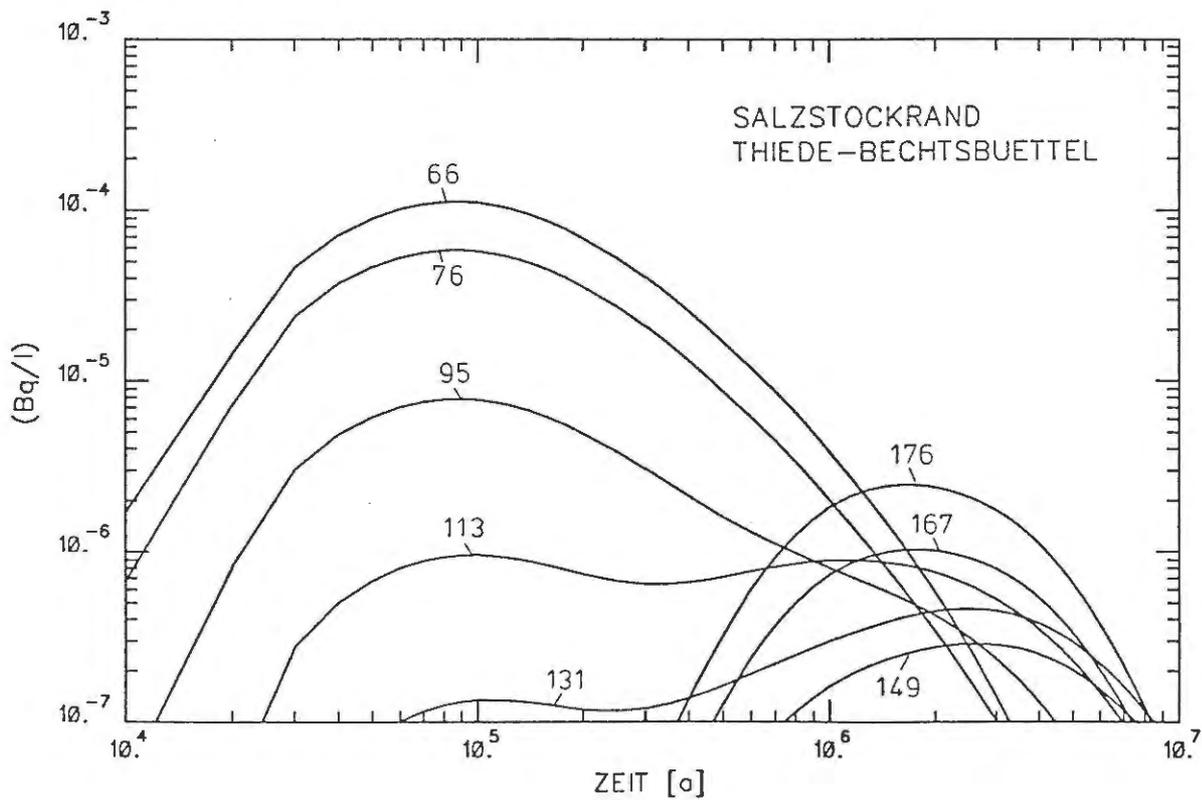


BILD 67: J-129 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL

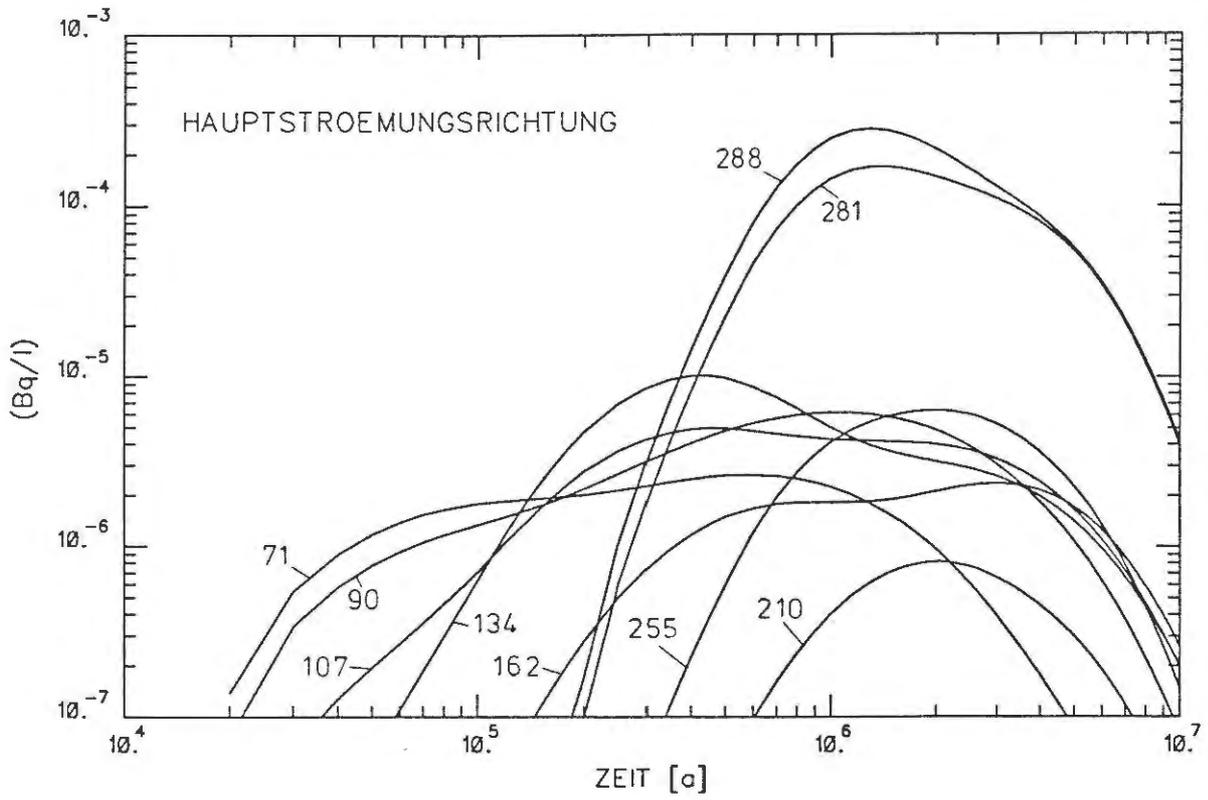
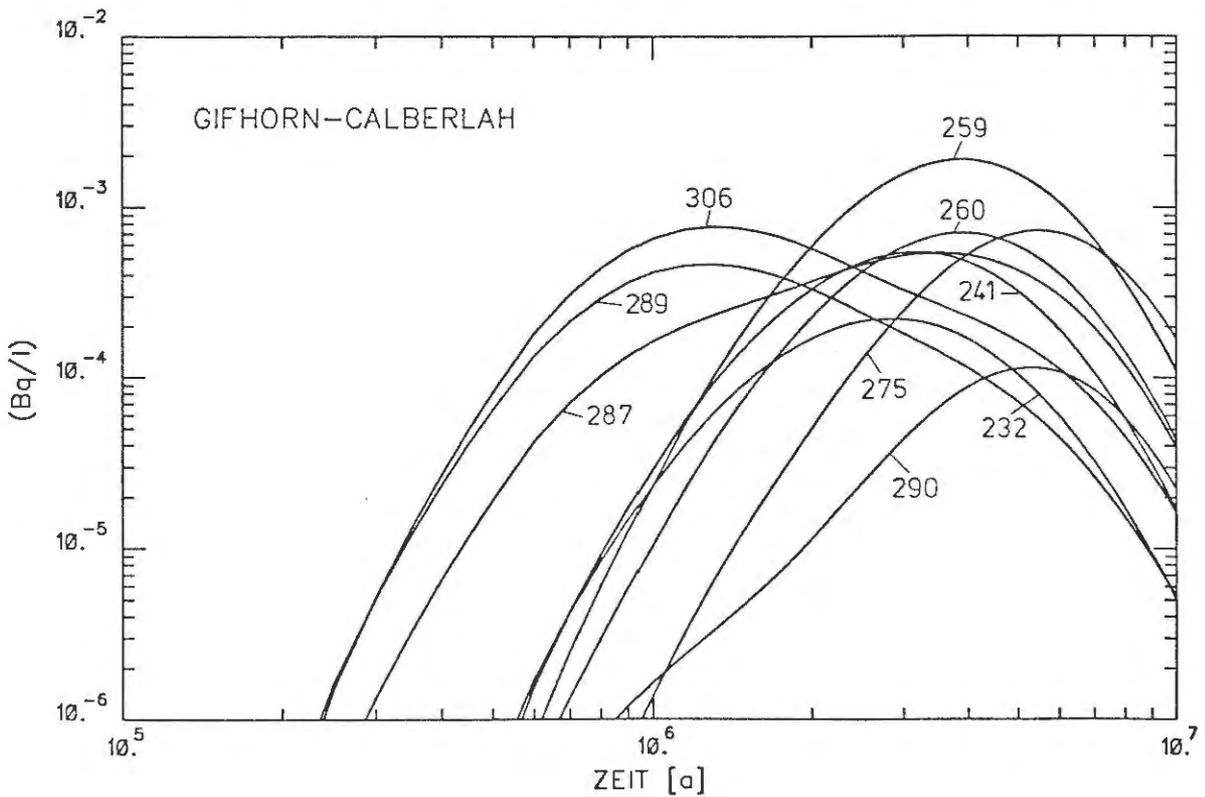


BILD 68: J-129 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL



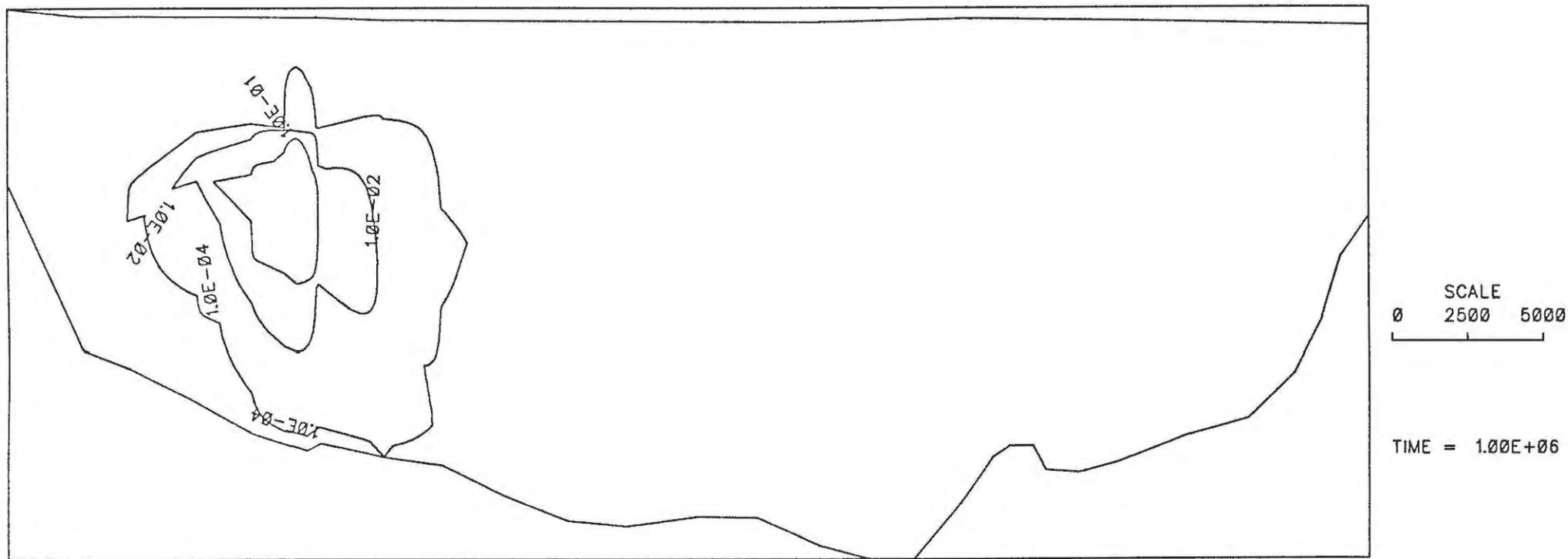
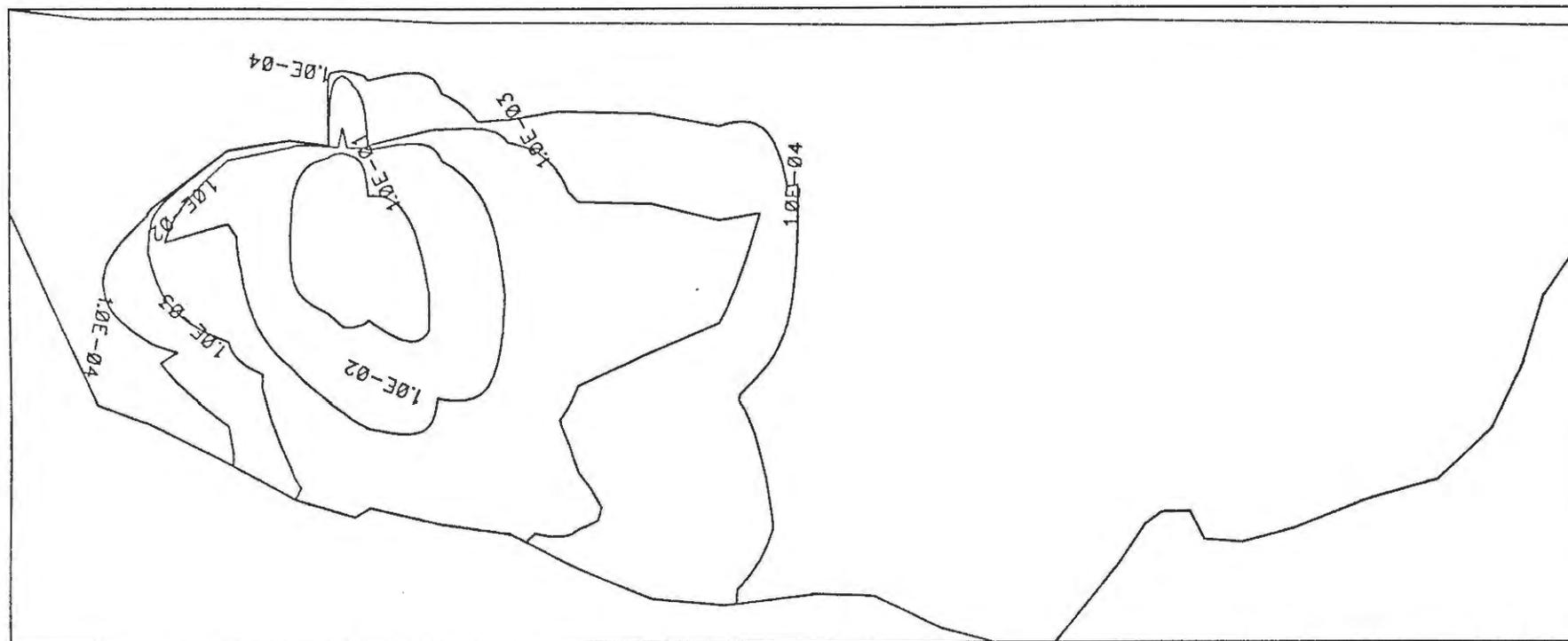


BILD 69: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D



SCALE
0 2500 5000

TIME = $5.00E+06$

BILD 70: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT D

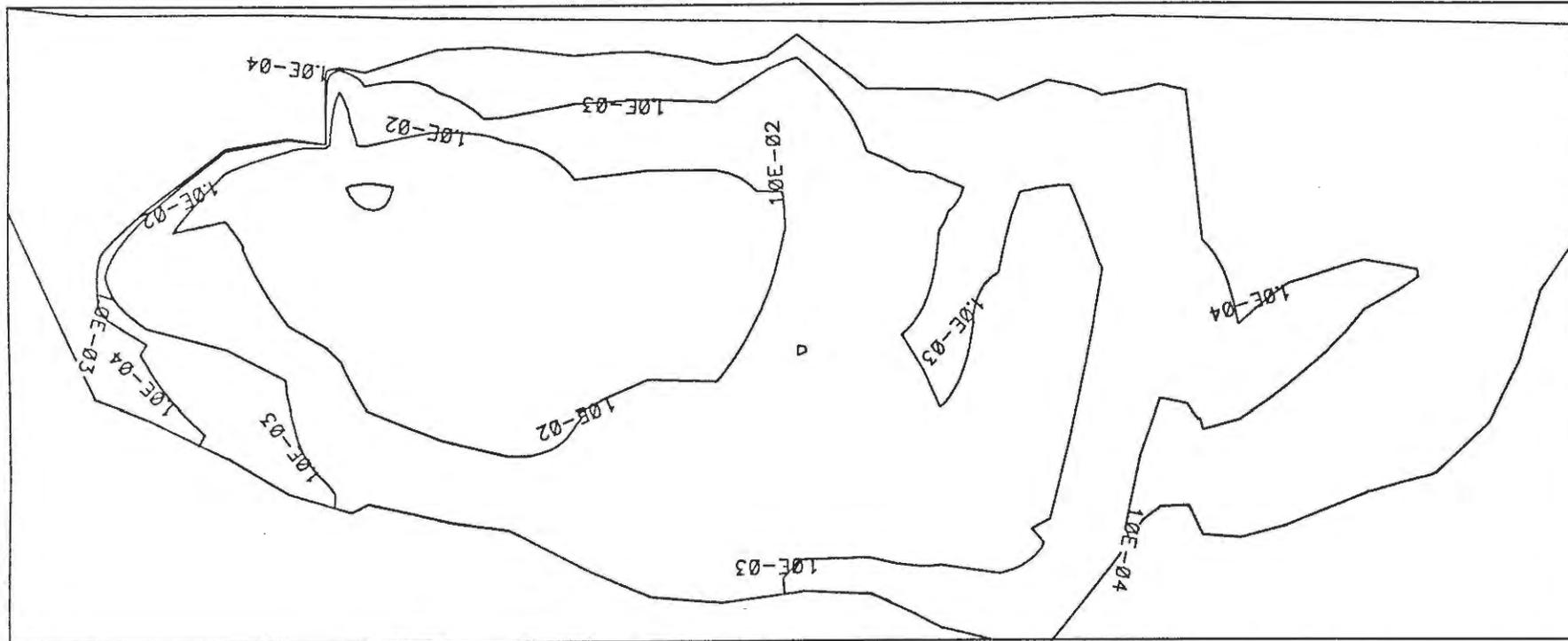
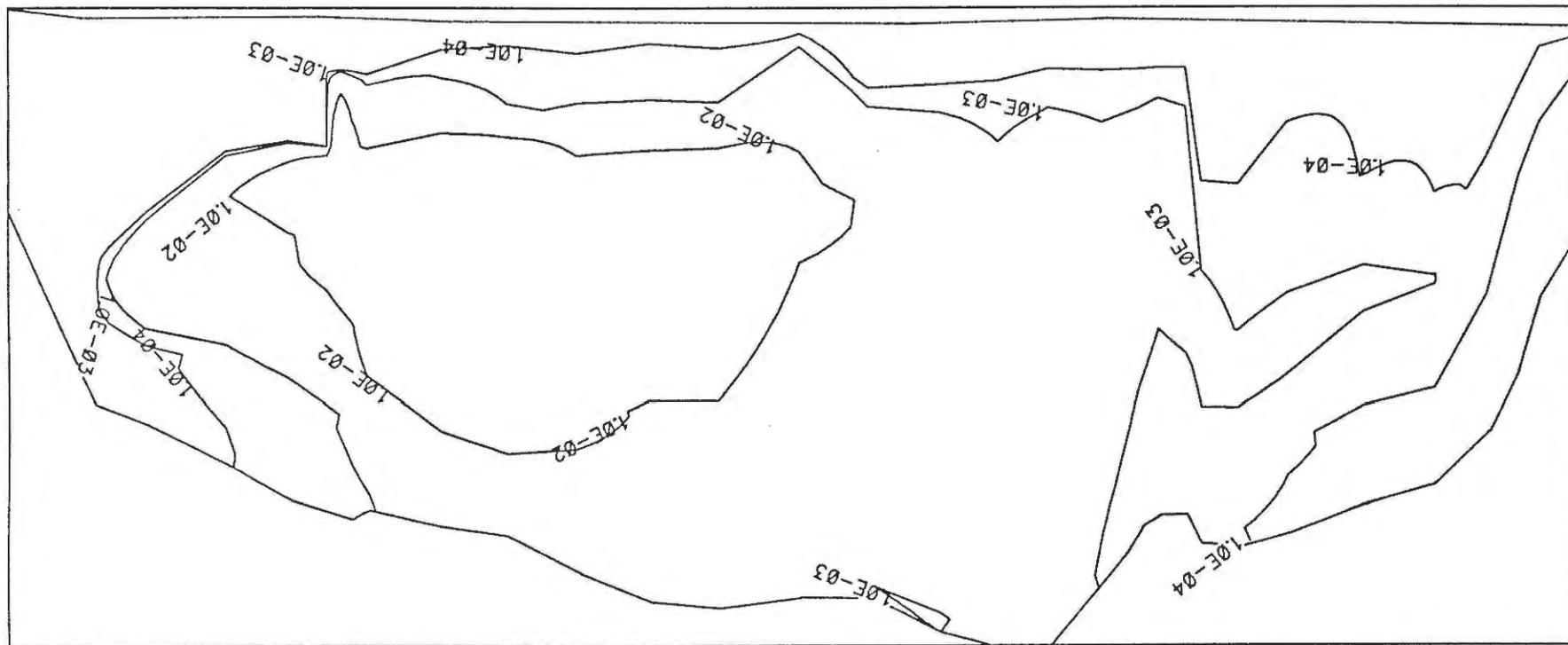


BILD 71: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT D



SCALE
 0 2500 5000

TIME = 3.00E+07

BILD 72: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D

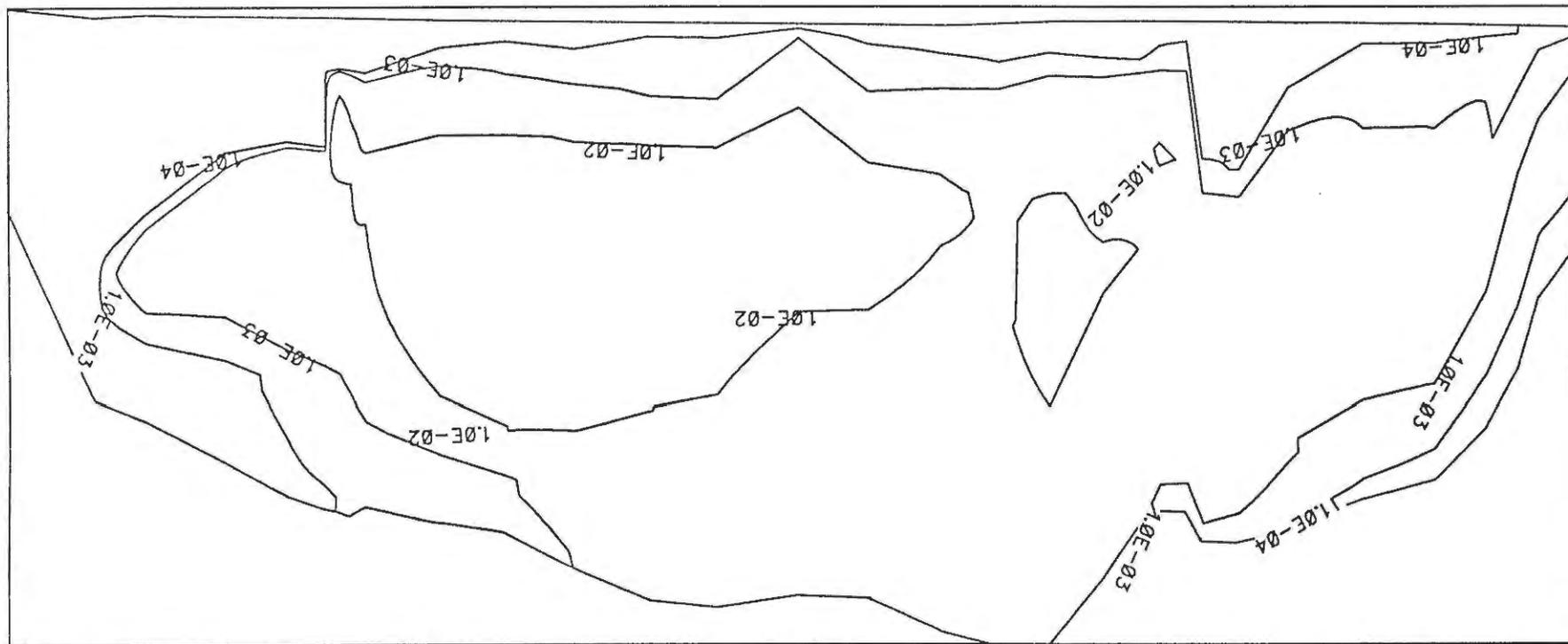


BILD 73: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D

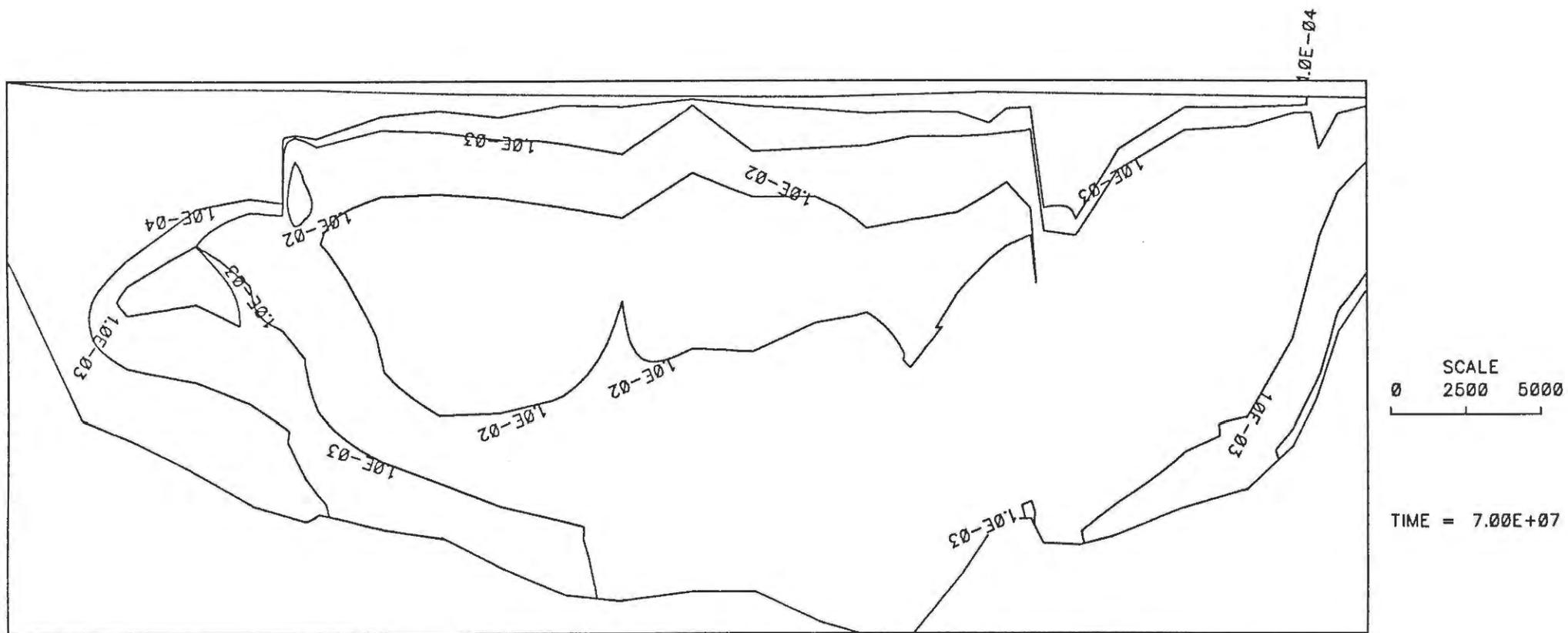
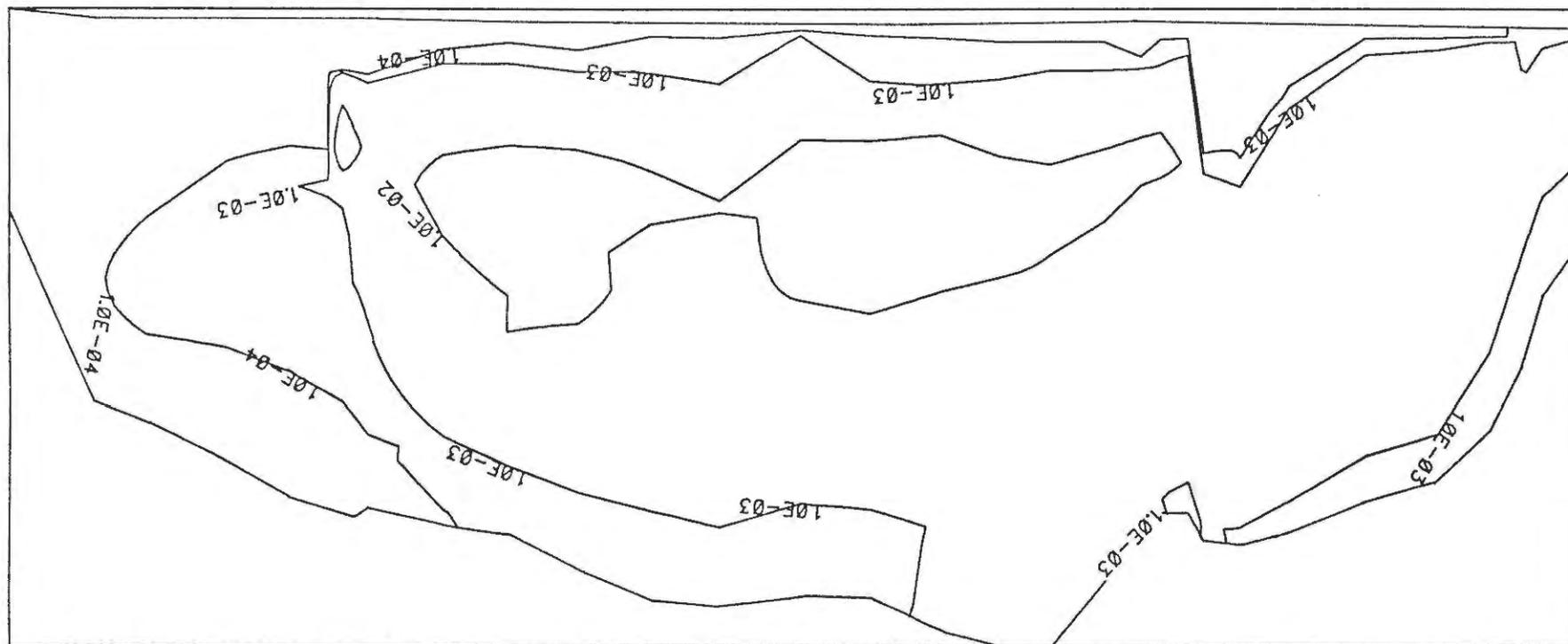


BILD 74: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT D



SCALE
0 2500 5000

TIME = 9.00E+07

BILD 75: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL - SCHNITT D

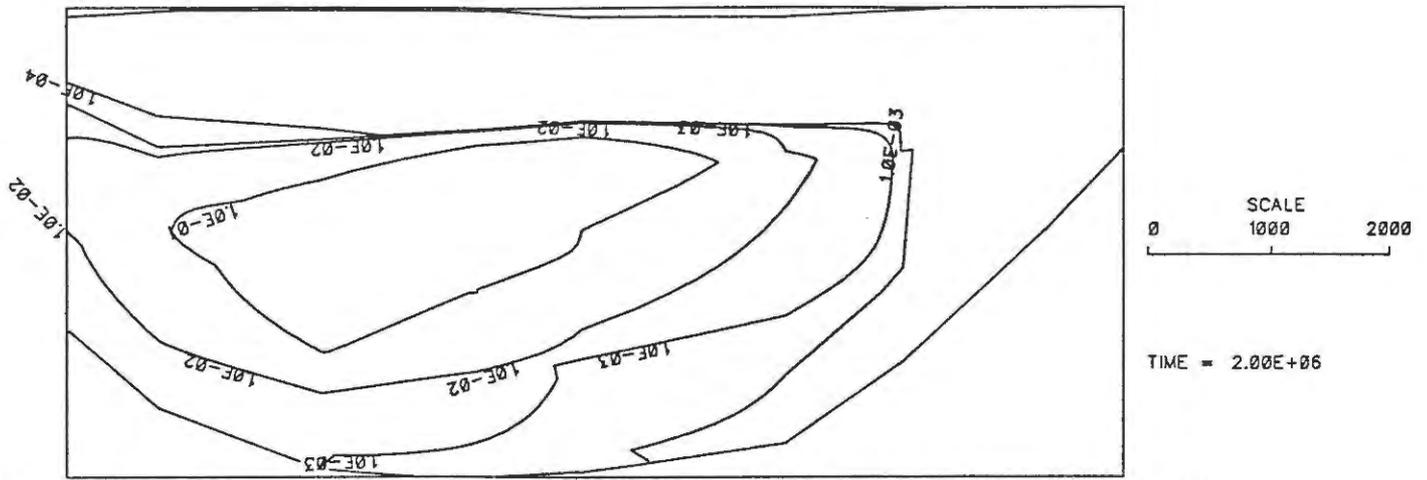


BILD 76: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT C

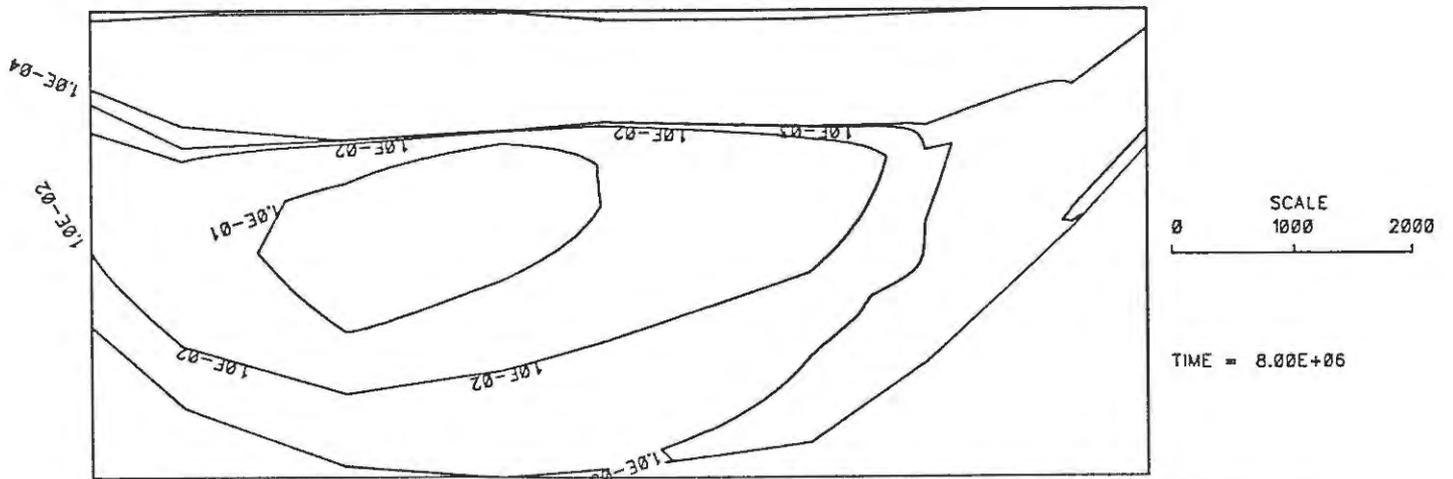


BILD 77: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT C

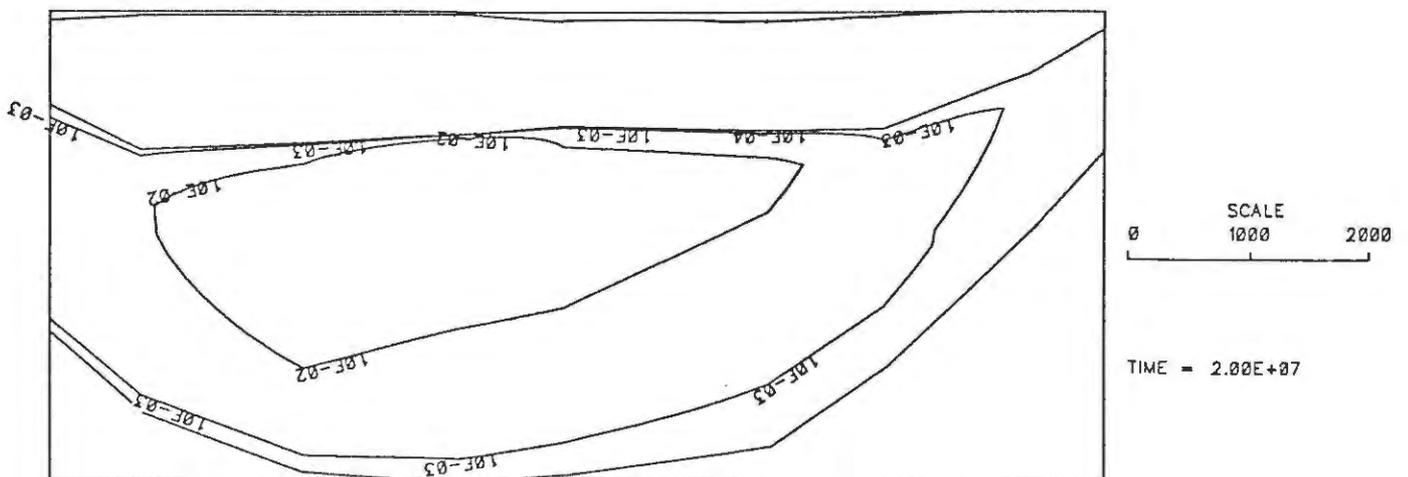


BILD 78: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) TEKTONISCHES MODELL – SCHNITT C

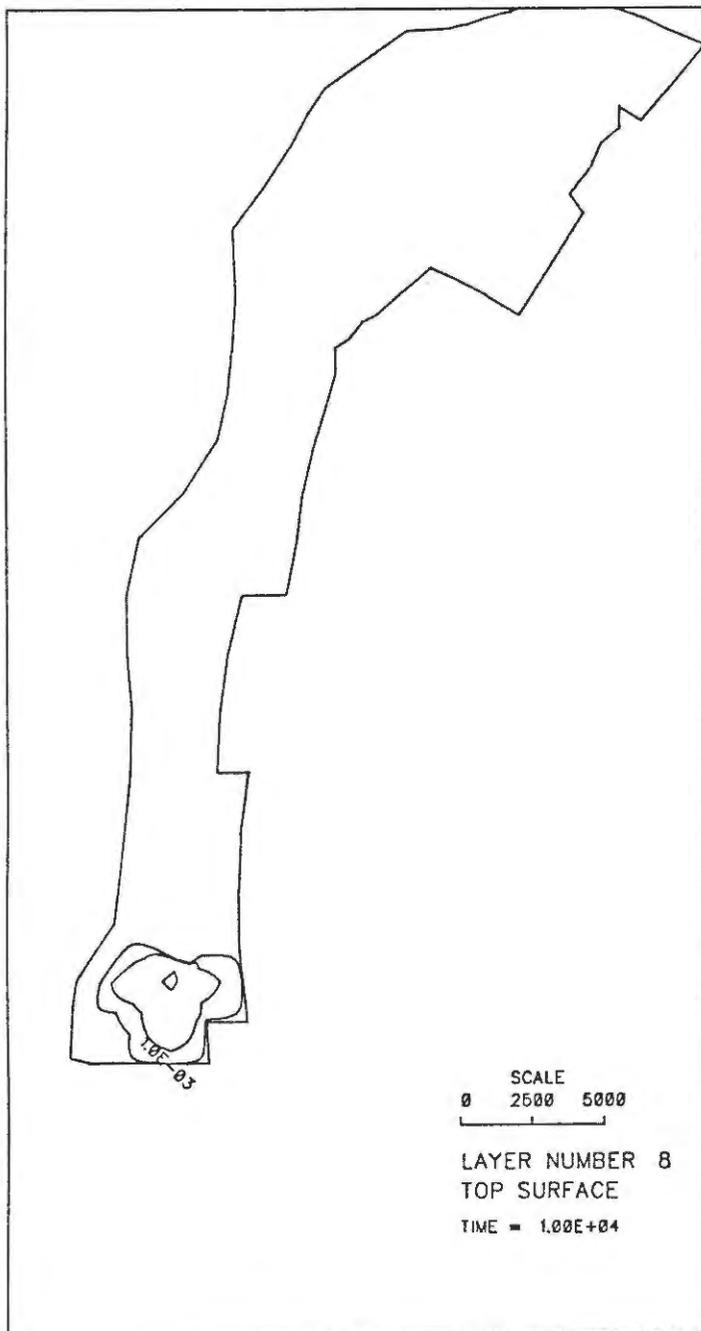


BILD 79: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

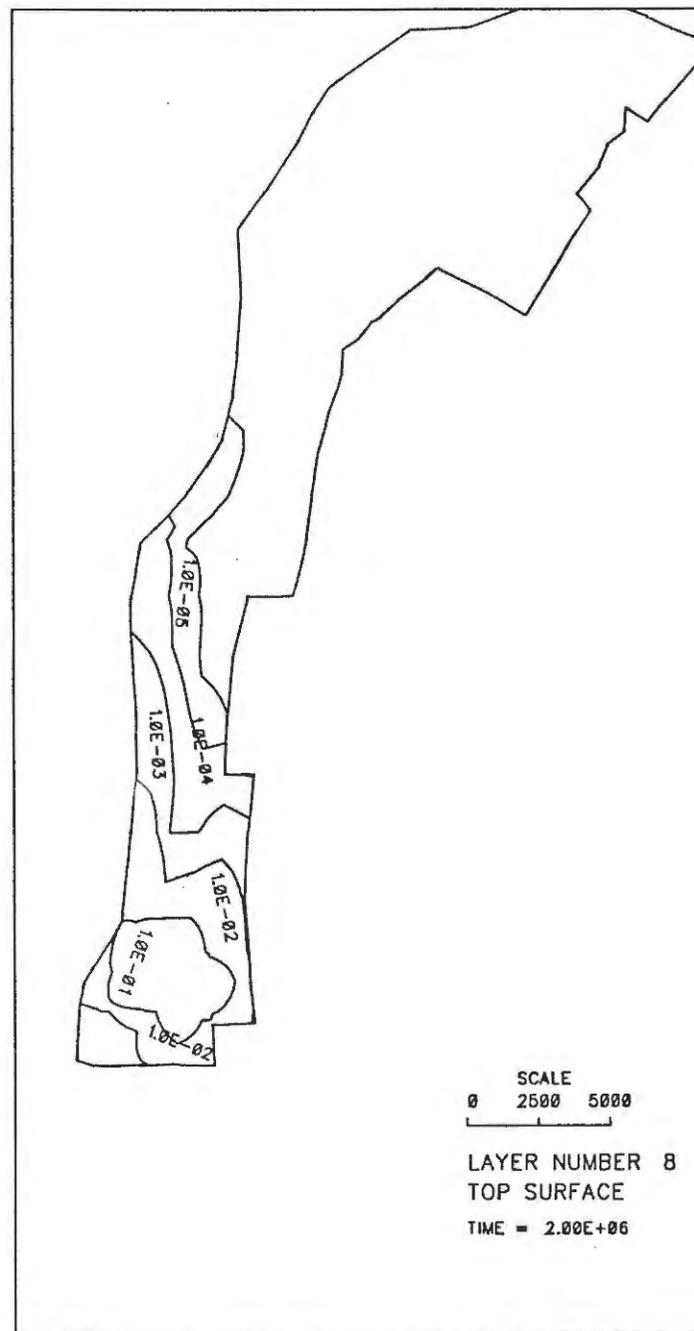


BILD 80: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

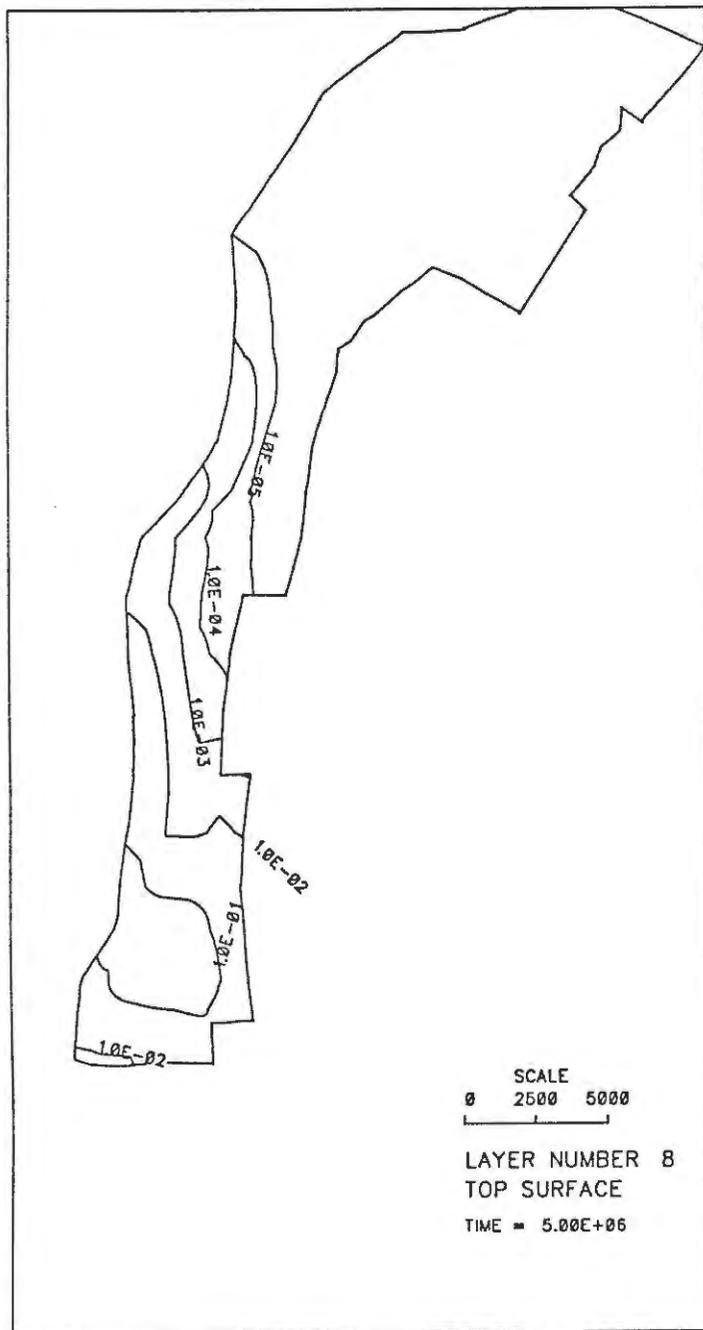


BILD 81: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

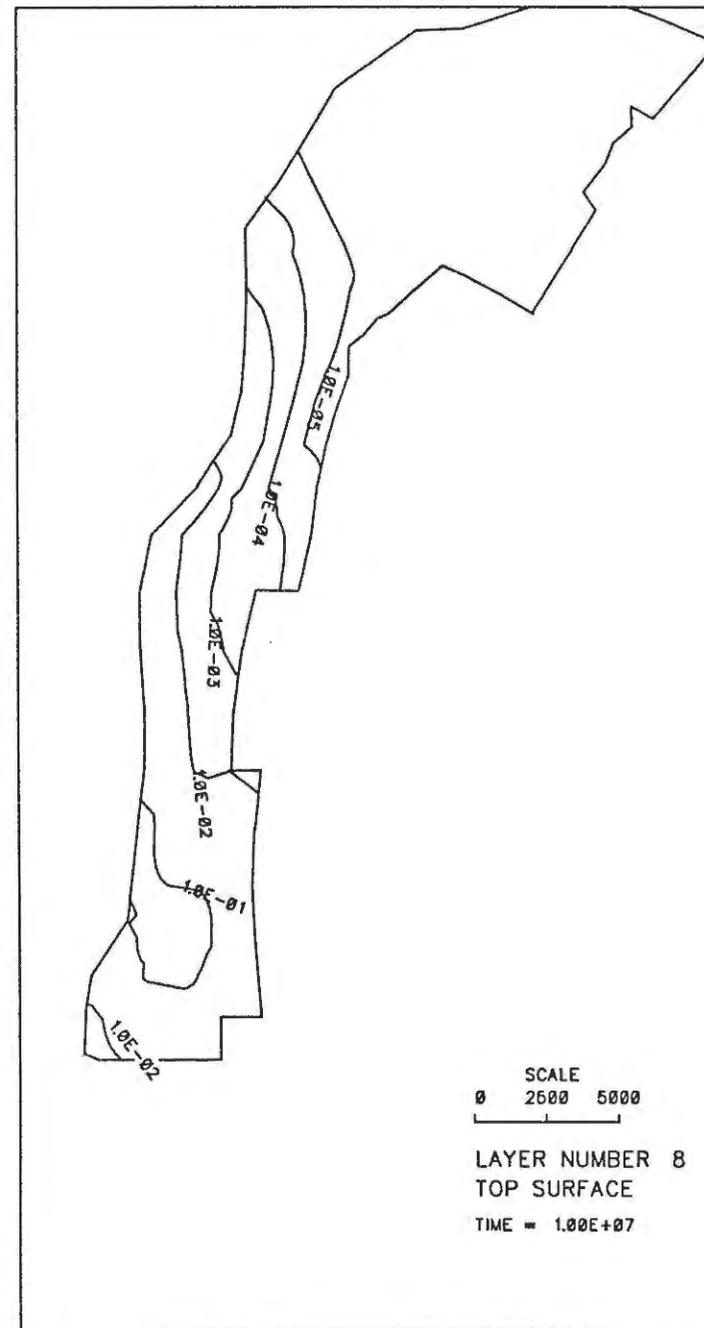


BILD 82: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

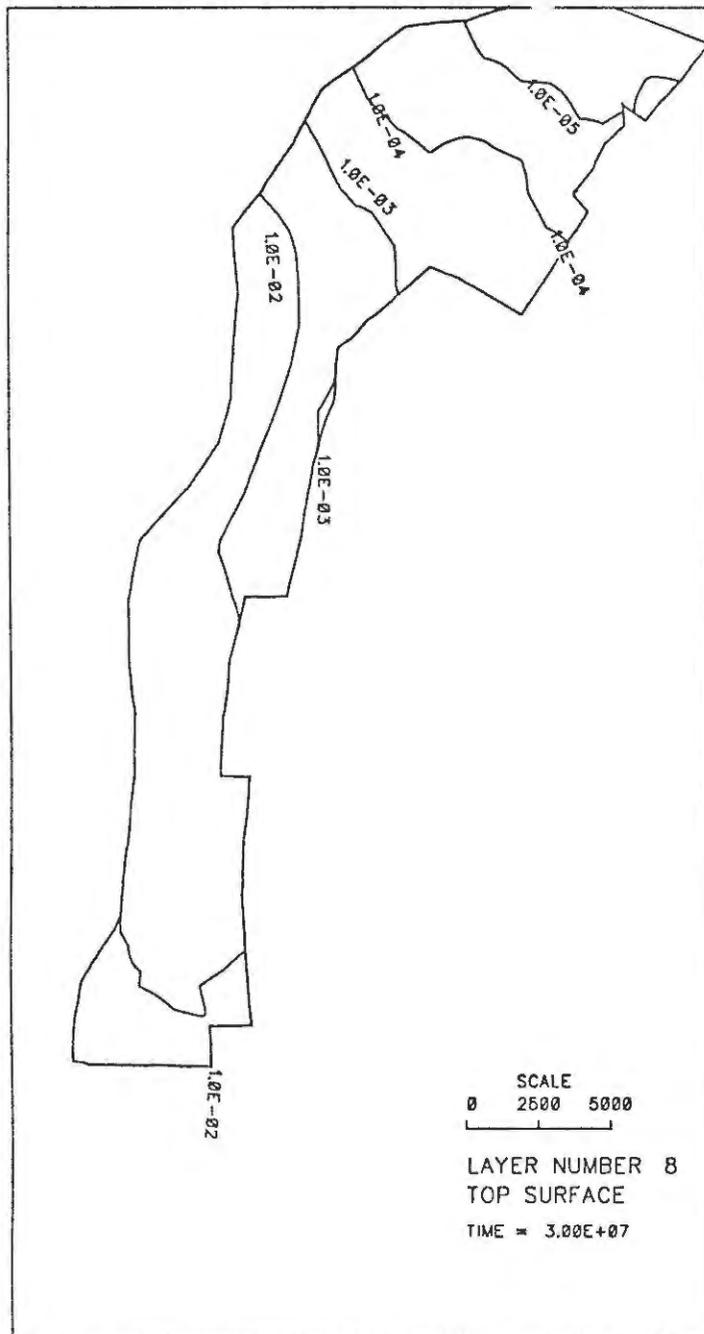


BILD 83: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

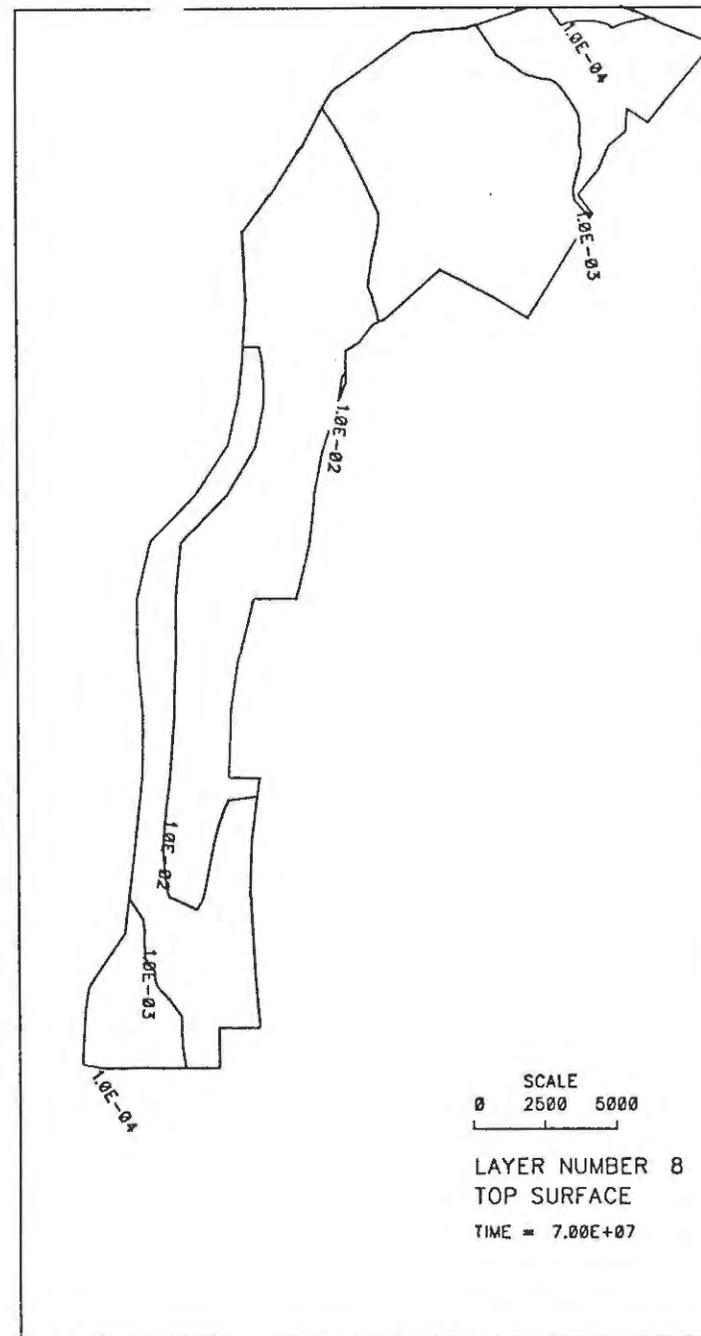


BILD 84: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OXFORD
TEKTONISCHES MODELL

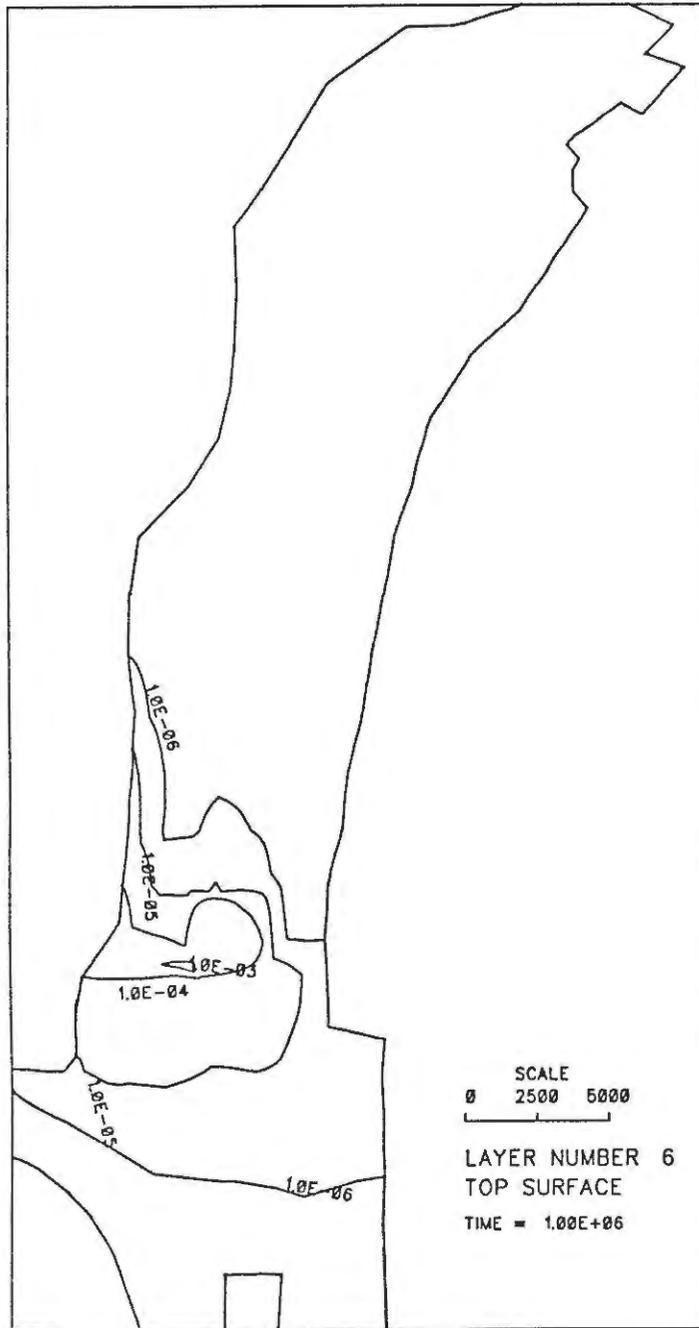


BILD 85: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) UNTERKREIDE
TEKTONISCHES MODELL

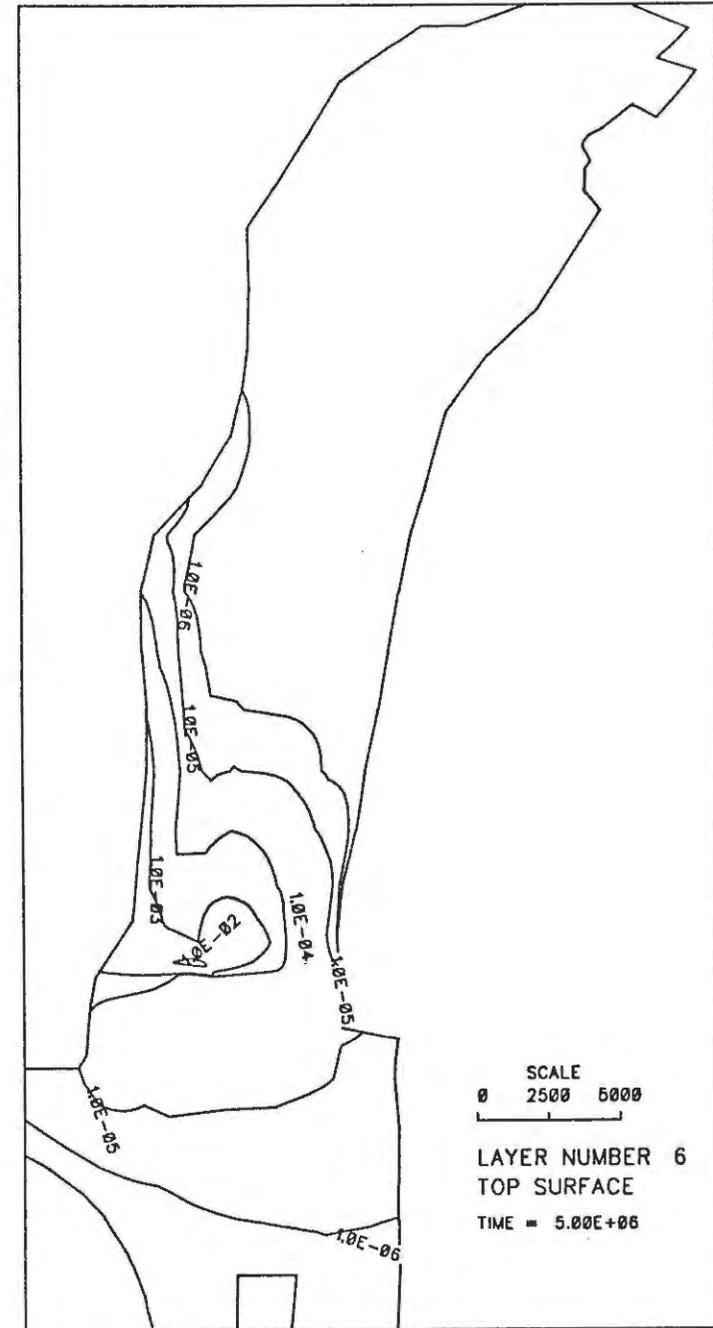


BILD 86: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) UNTERKREIDE
TEKTONISCHES MODELL

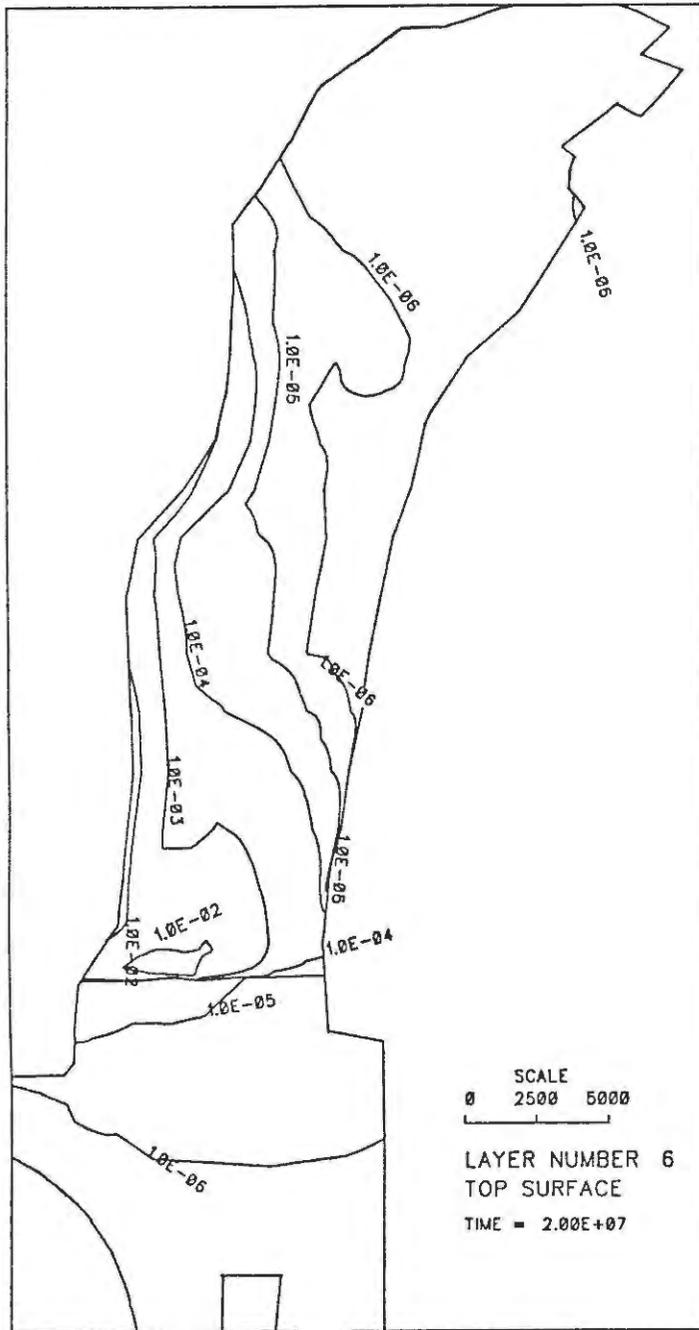


BILD 87: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) UNTERKREIDE
TEKTONISCHES MODELL

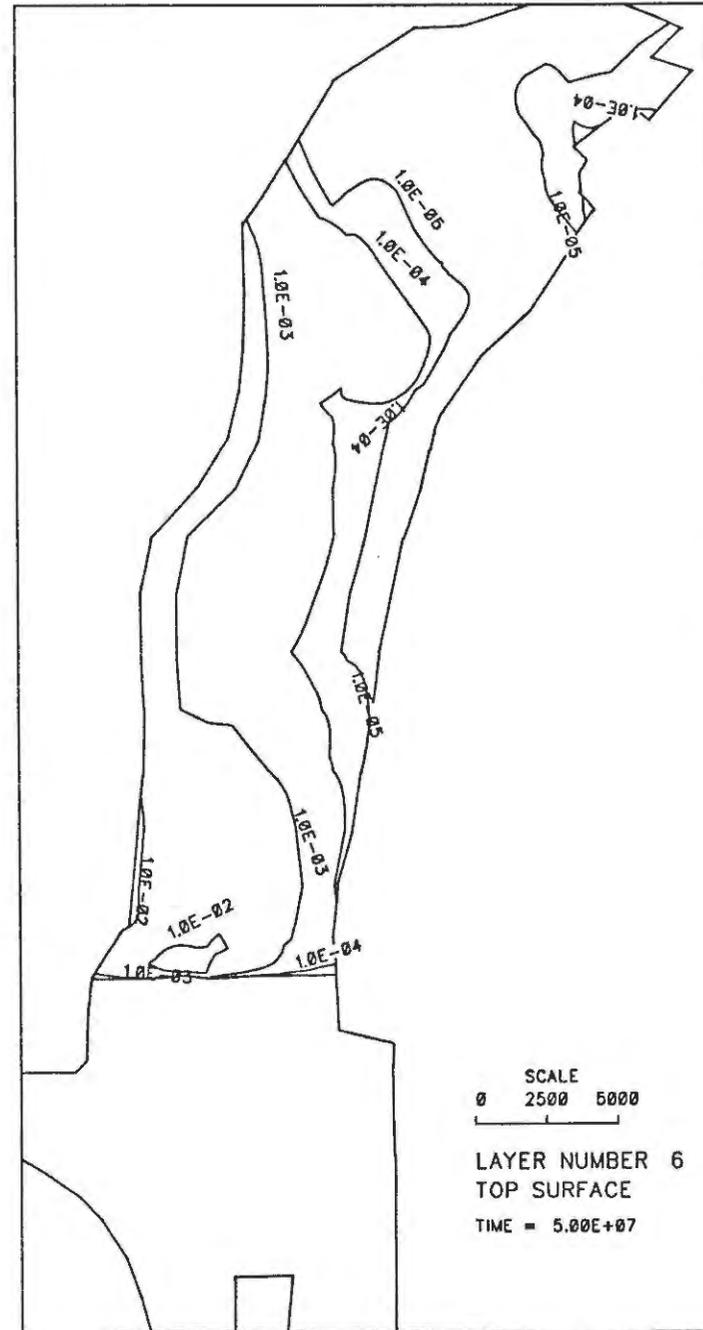


BILD 88: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) UNTERKREIDE
TEKTONISCHES MODELL

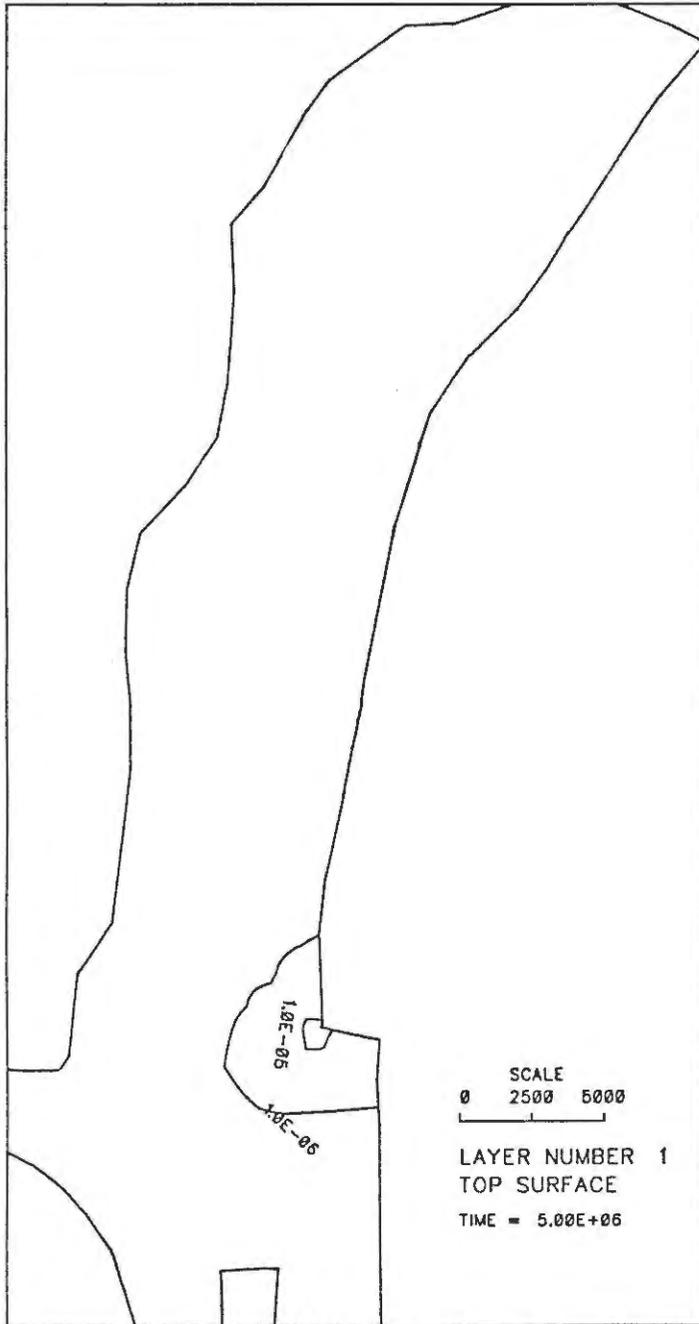


BILD 89: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

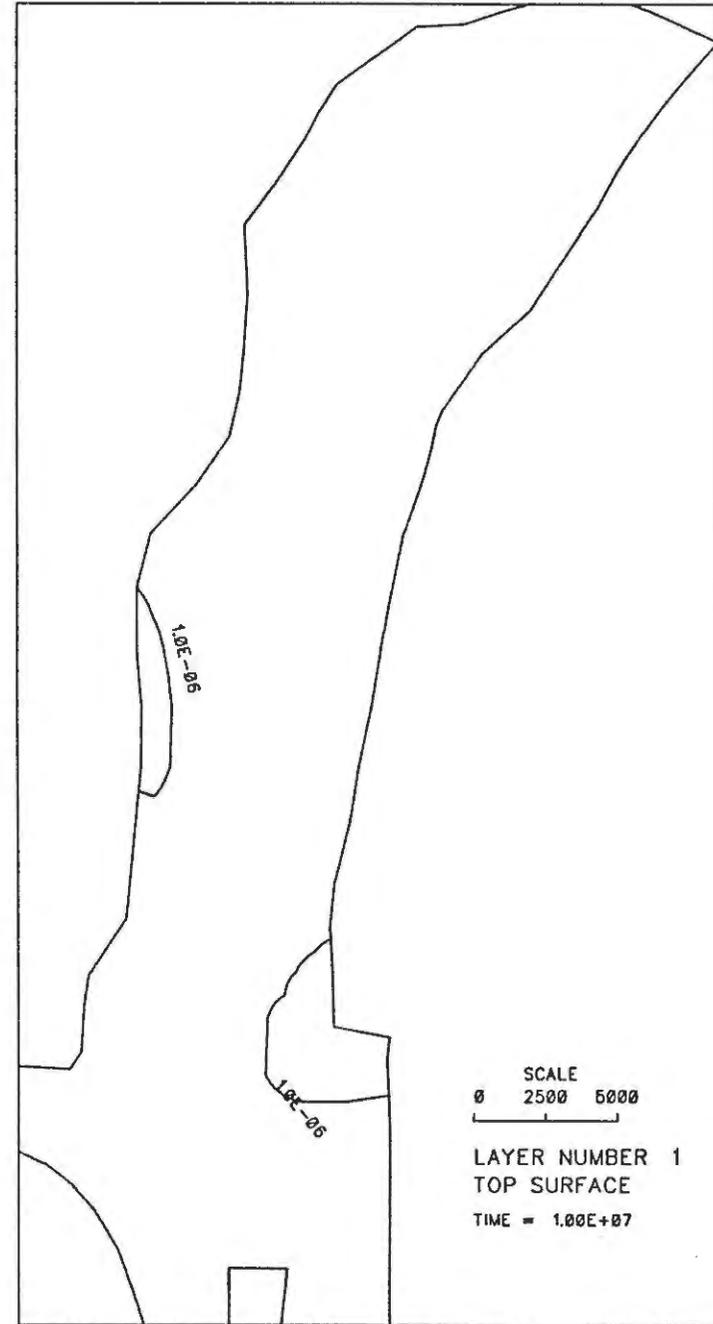


BILD 90: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

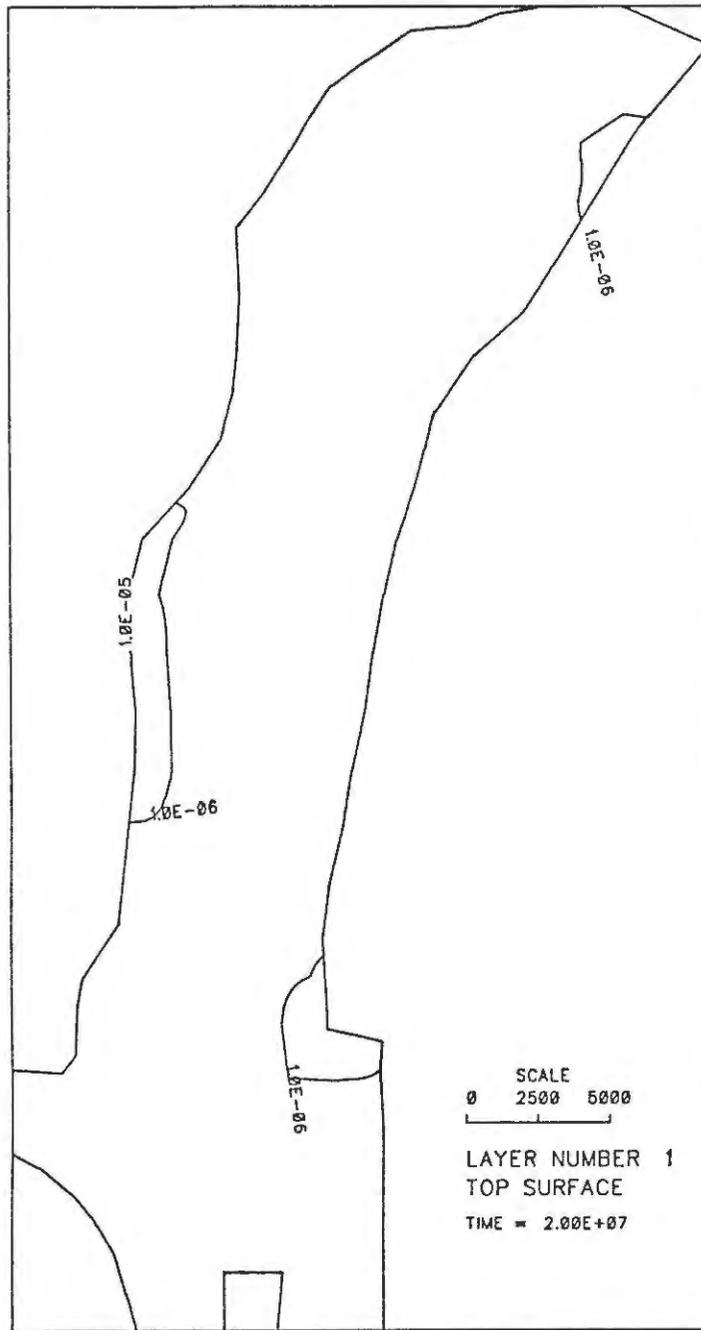


BILD 91: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

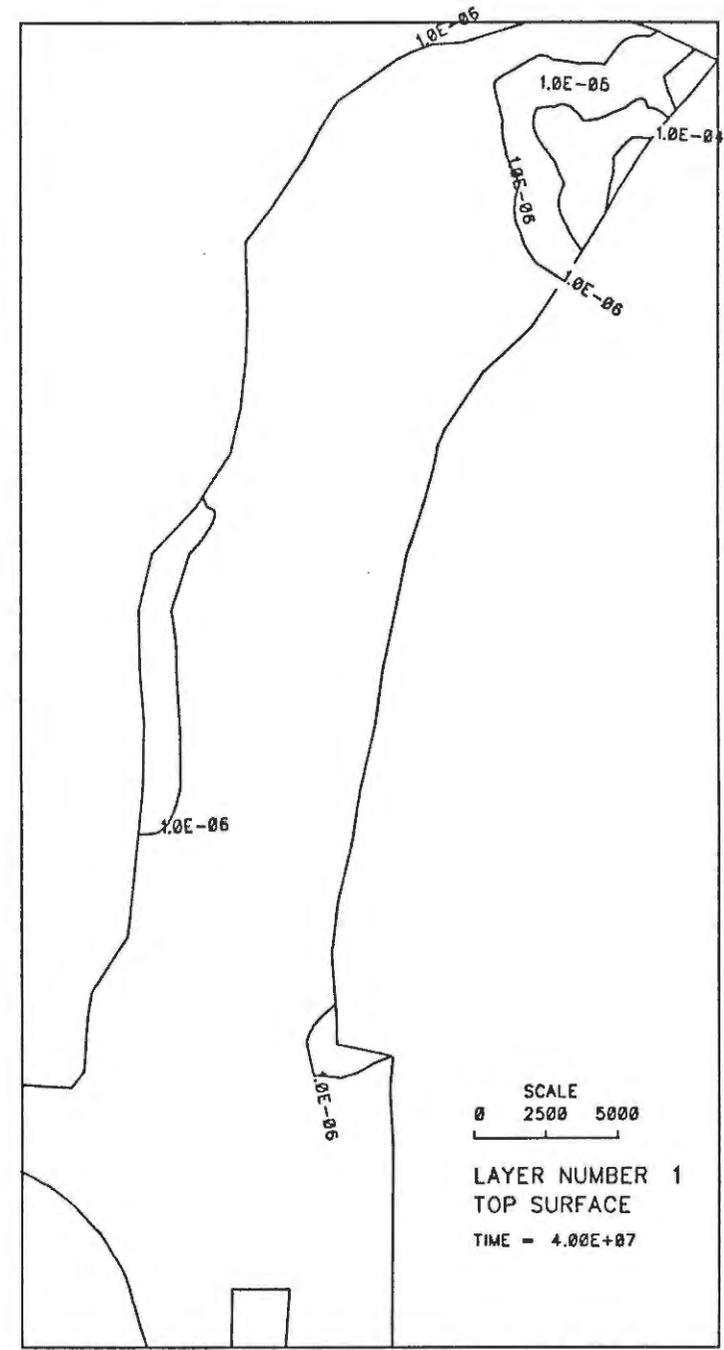


BILD 92: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

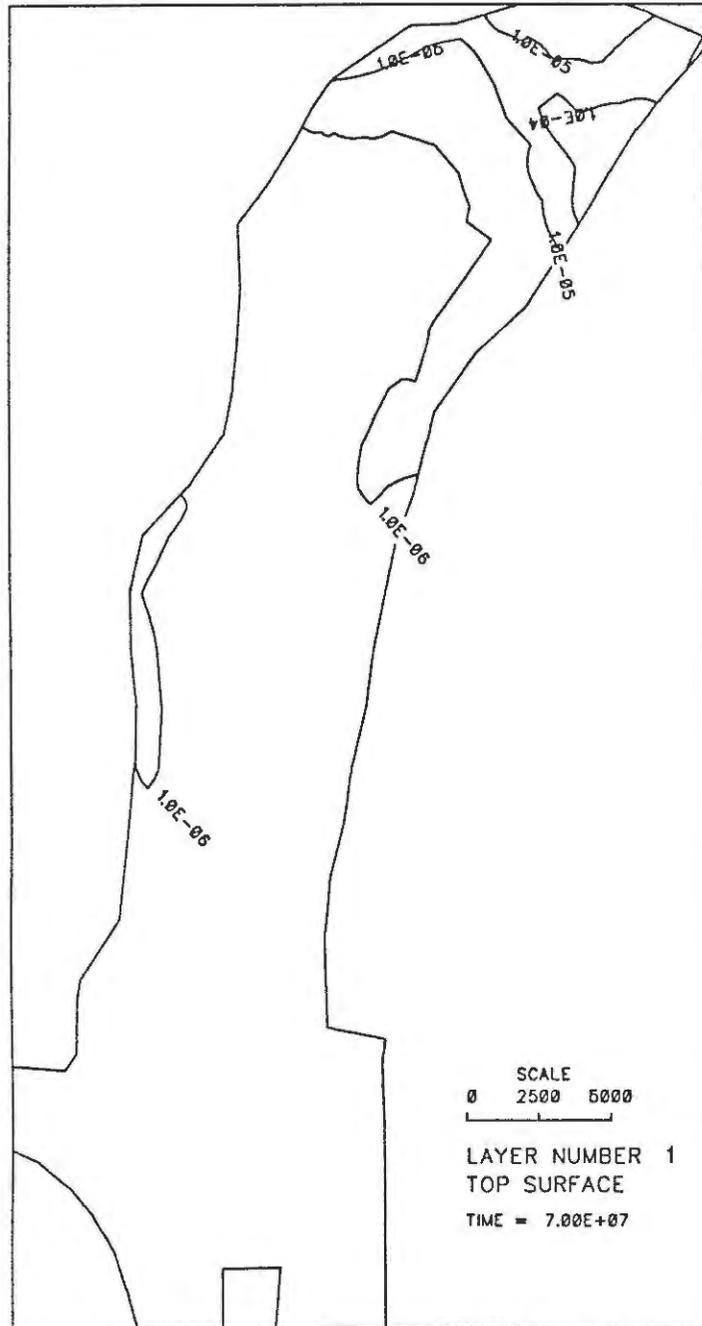


BILD 93: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

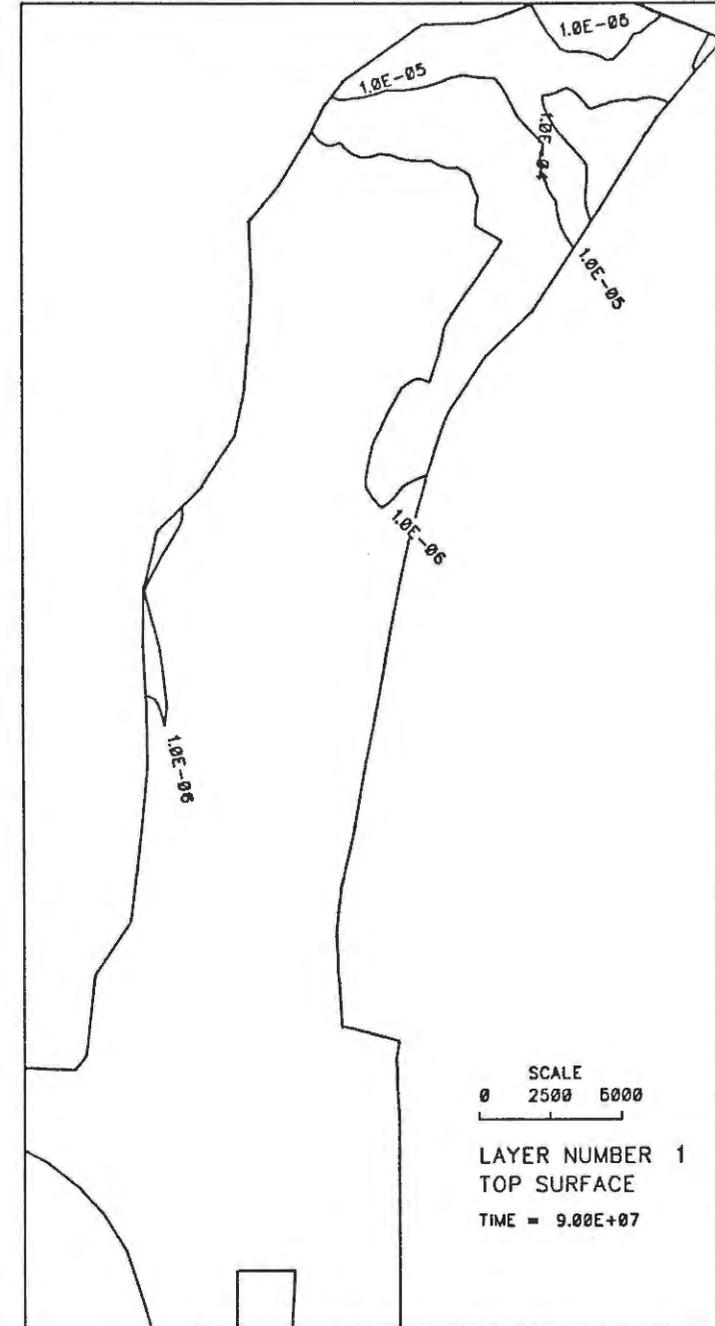


BILD 94: U-238 KONZENTRATION (Bq/l) OBERFLAECHE
TEKTONISCHES MODELL

BILD 95: U-238 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL

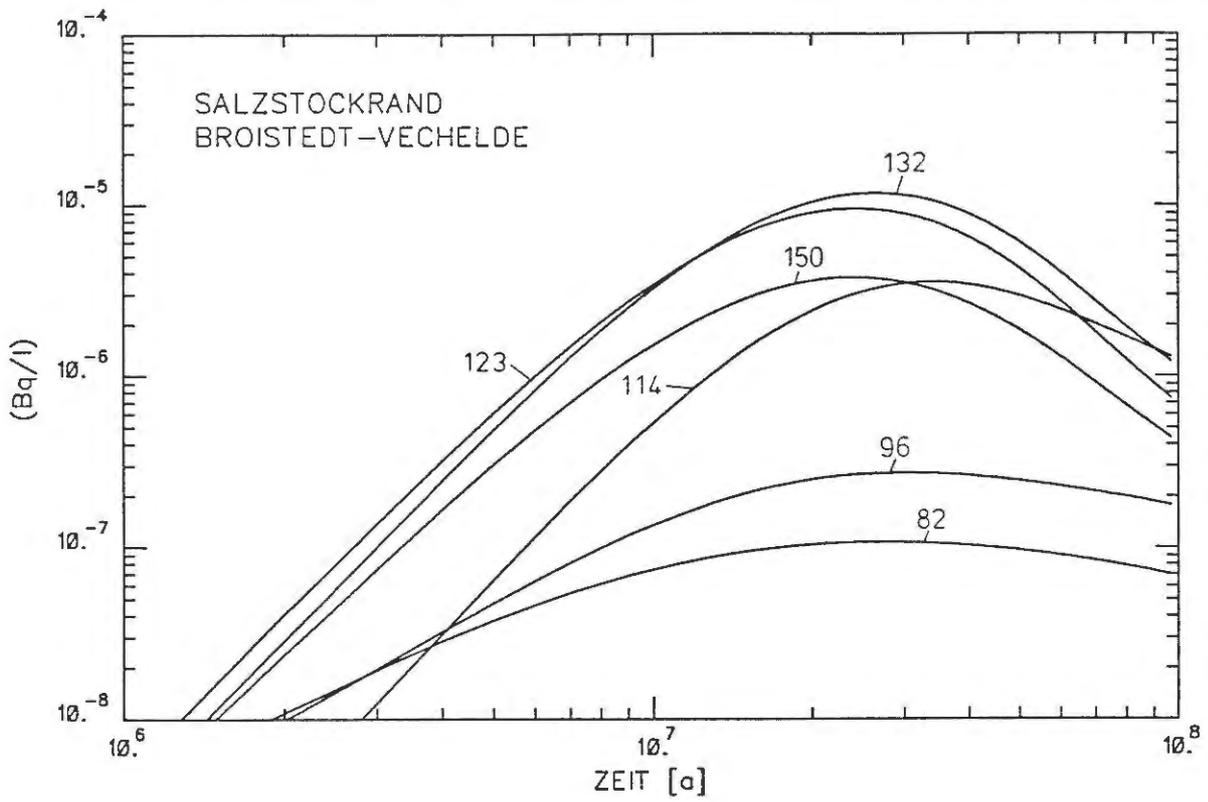


BILD 96: U-238 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL

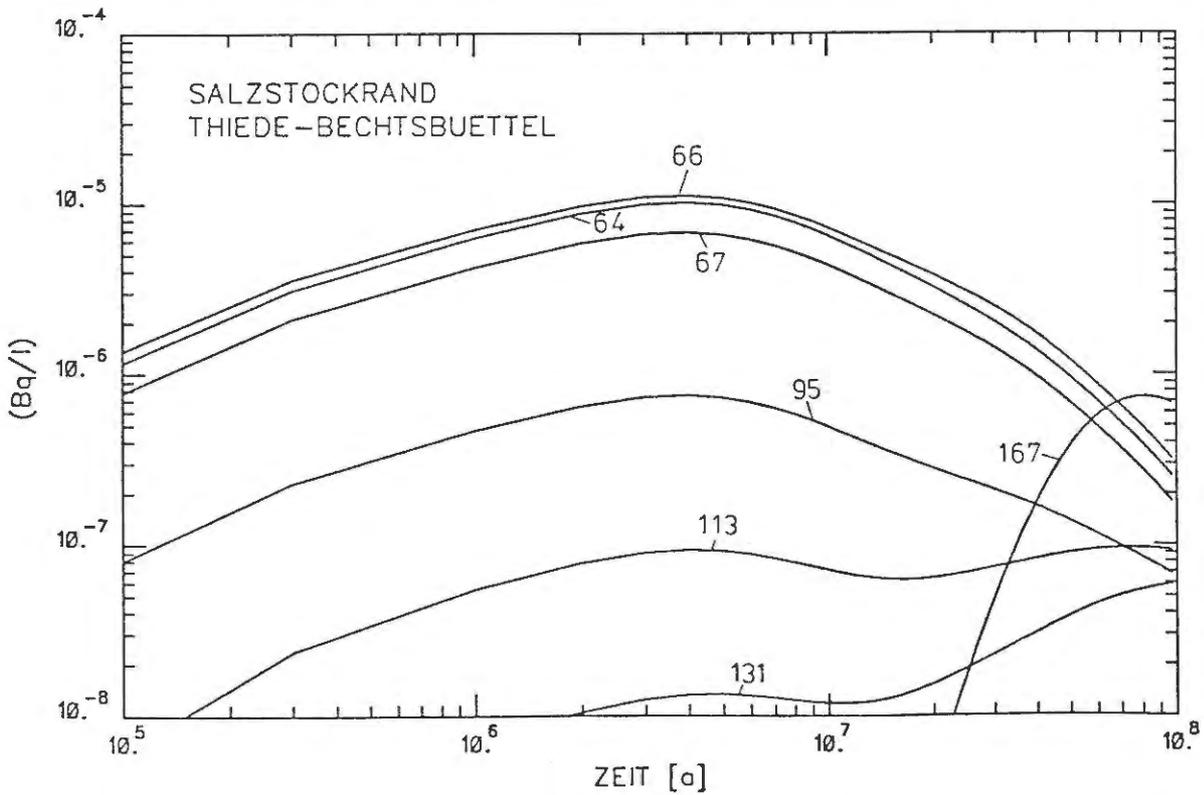


BILD 97: U-238 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL

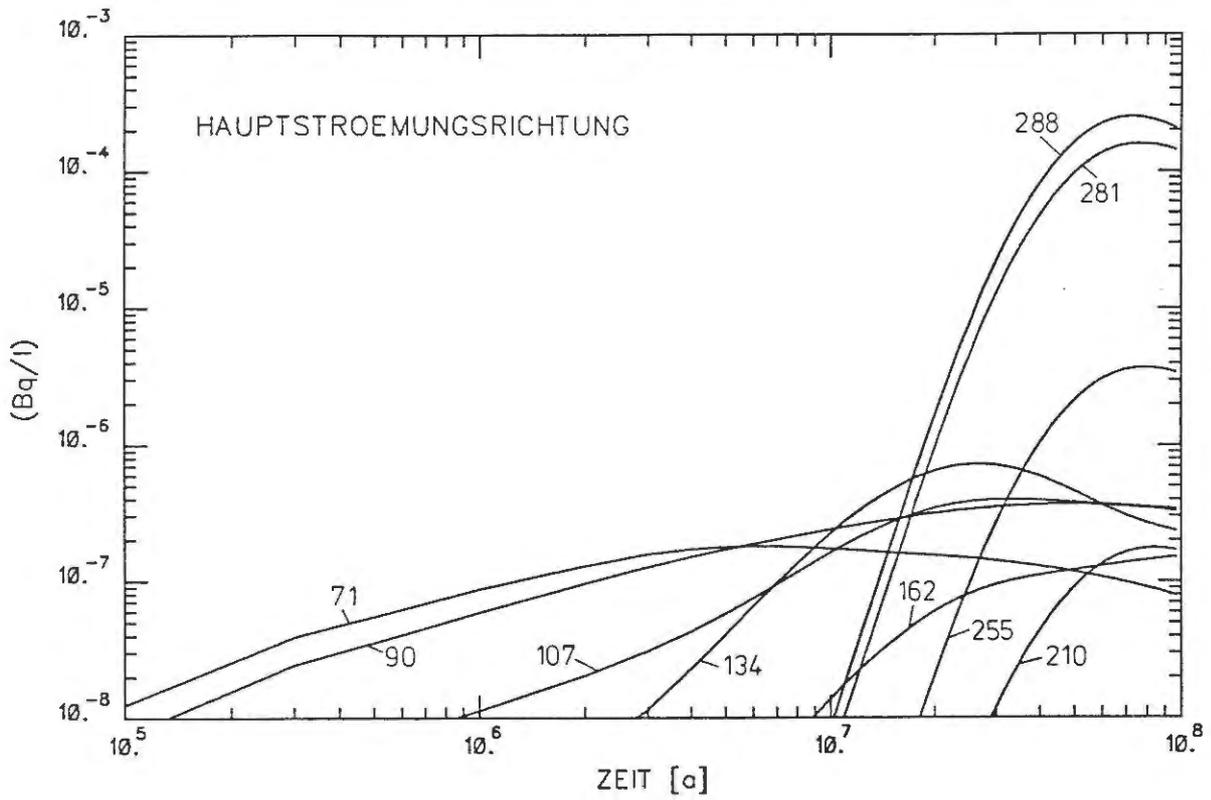
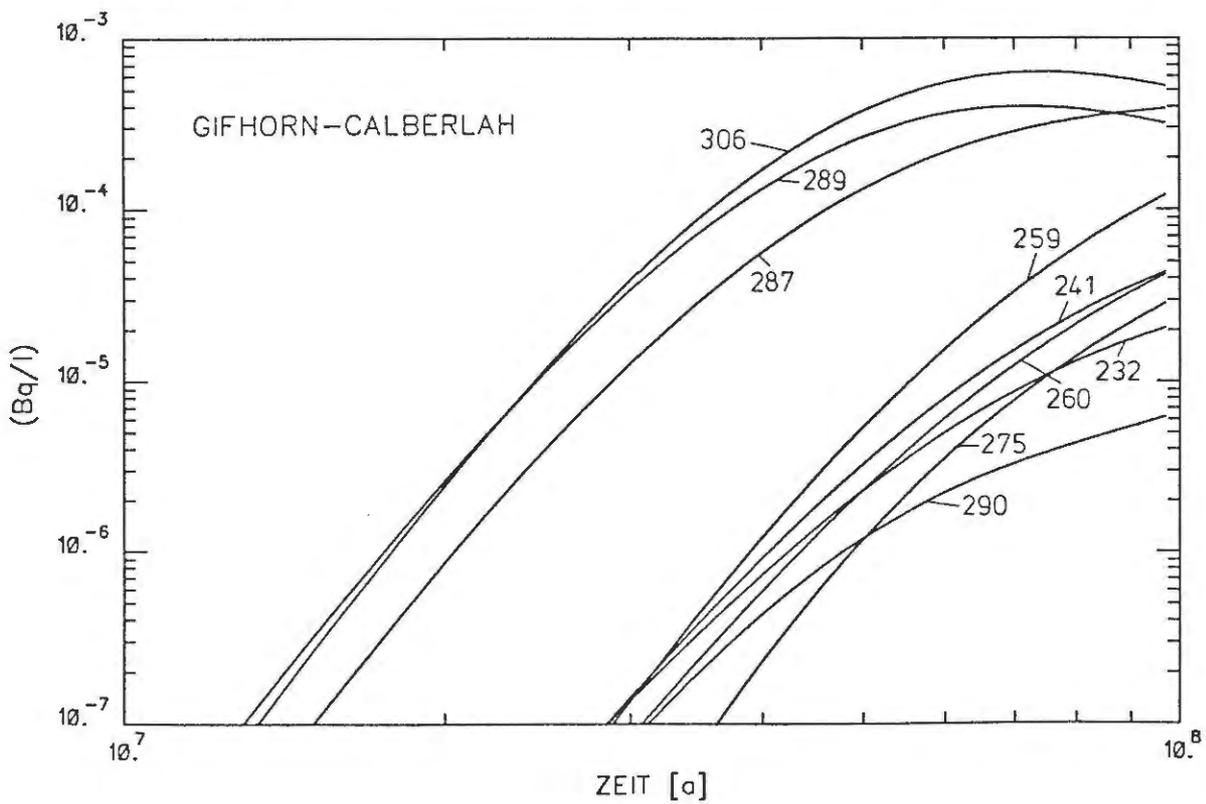


BILD 98: U-238 KONZENTRATION OBERFLAECHE TEKTONISCHES MODELL



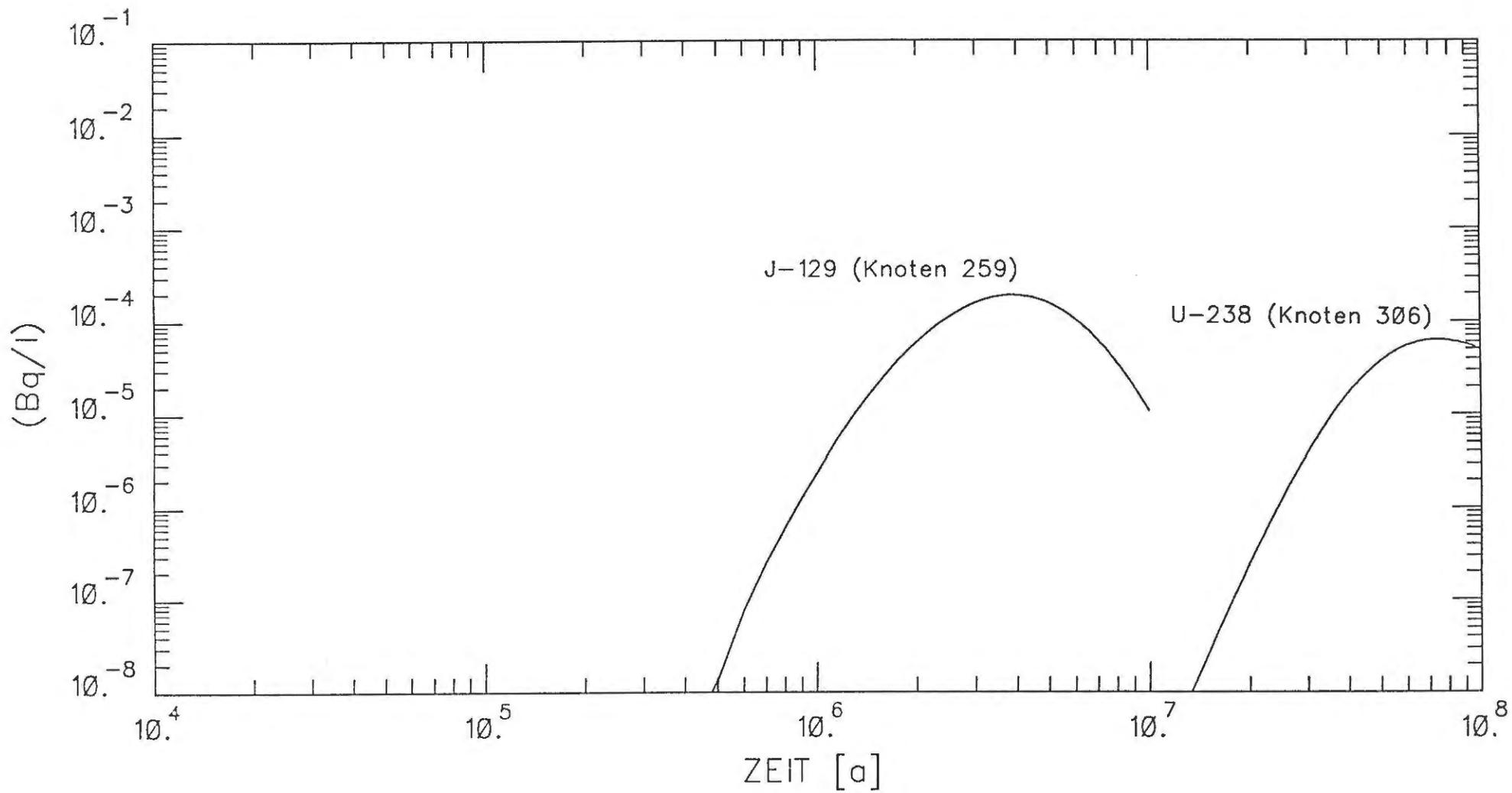


BILD 99: MAXIMALKONZENTRATION IM QUARTAER

A n h a n g

Dokumentation der Materialnummern

Tabelle A1: Zuordnung der Materialnummern zu den geologischen Schichten und Durchlässigkeitsbeiwerten*

Schichteinheit	Erhöhungsfaktor Durchlässigkeitsbeiwert				
	1	10	25	50	60
Quartär, Tertiär	1	17	33	49	65
Emscher Mergel	2	18	34	50	66
Oberkreide (Süden)	3	19	35	51	67
Alb	4	20	36	52	68
Hilssandstein	5	21	37	53	69
Unterkreide	6	22	38	54	70
Kimmeridge, Portland, Wealden	7	23	39	55	71
Oxford	8	24	40	56	72
Dogger	9	25	41	57	79
Cornbrash (Süden)	10	26	42	58	74
Lias	11	27	43	59	75
Rhät	12	28	44	60	76
Keuper	13	29	45	61	77
Ob. Muschelkalk	14	30	46	62	78
Oberkreide (Norden)	15	31	47	63	79
Cornbrash (Norden)	16	32	48	64	80

* nicht alle Materialnummern finden im Modell Verwendung

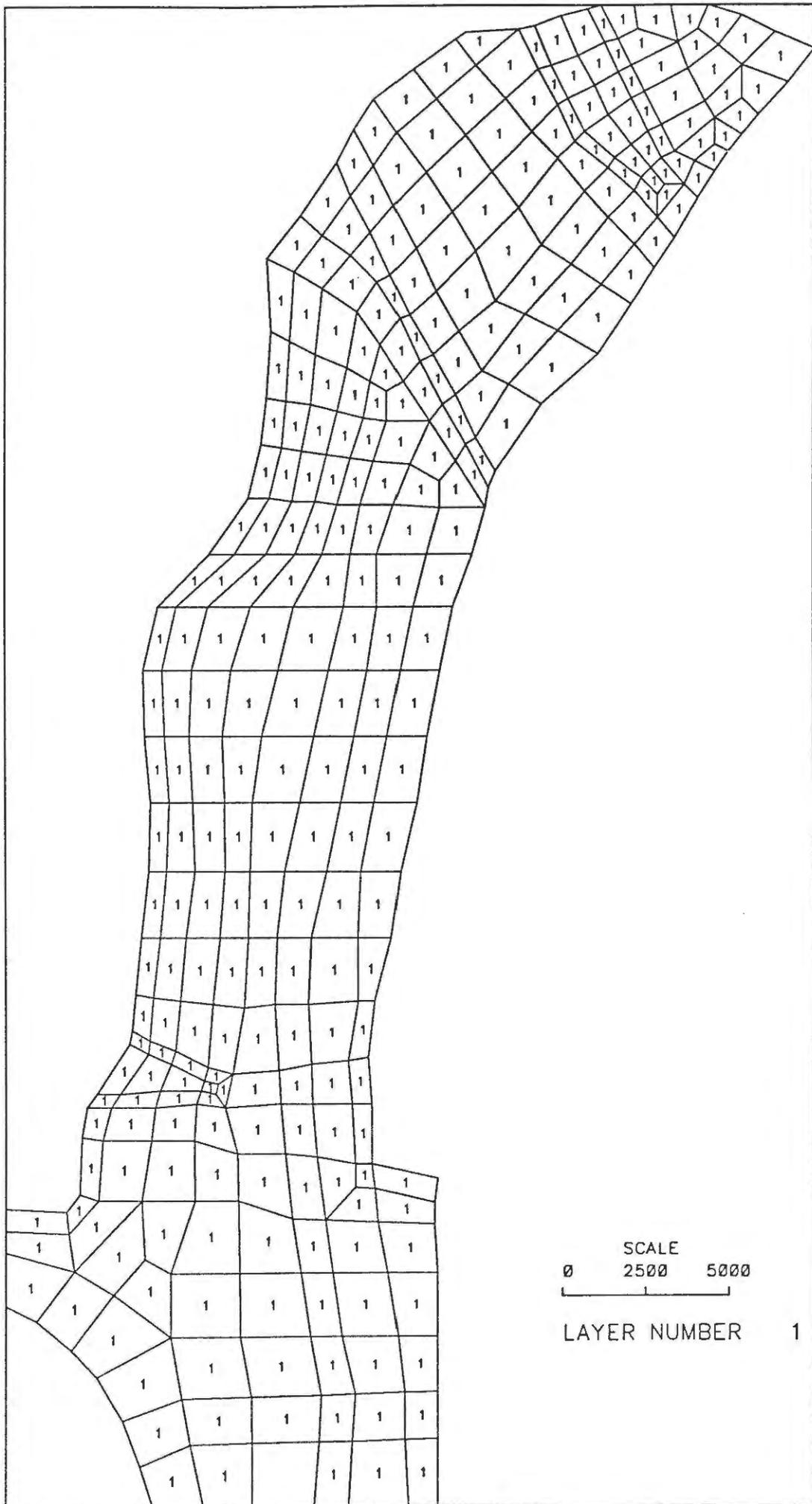


BILD A1: MATERIËLEMMERN KWARTIER

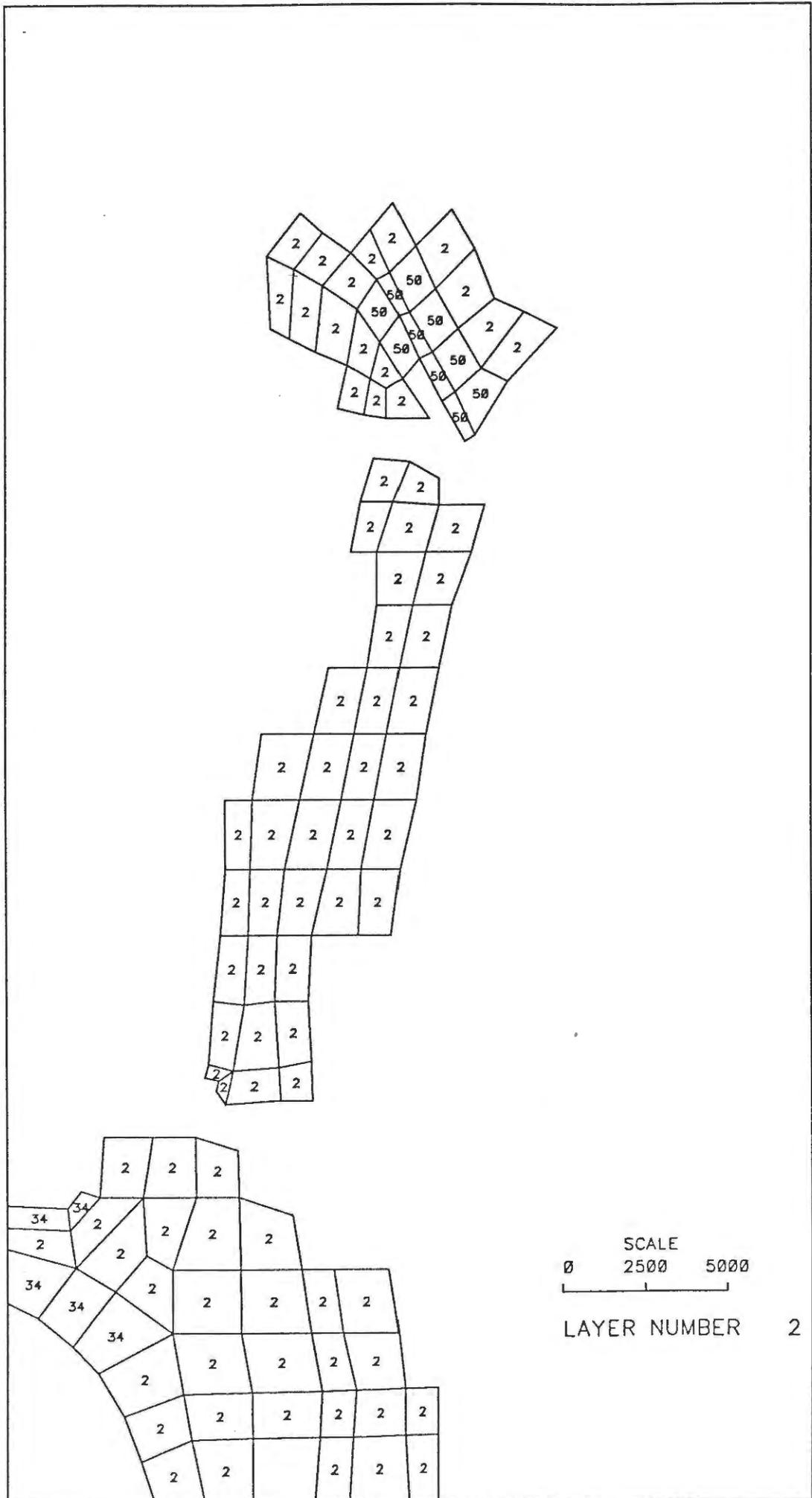


BILD A2: MATERIALNUMMERN EMSCHER MERGEL

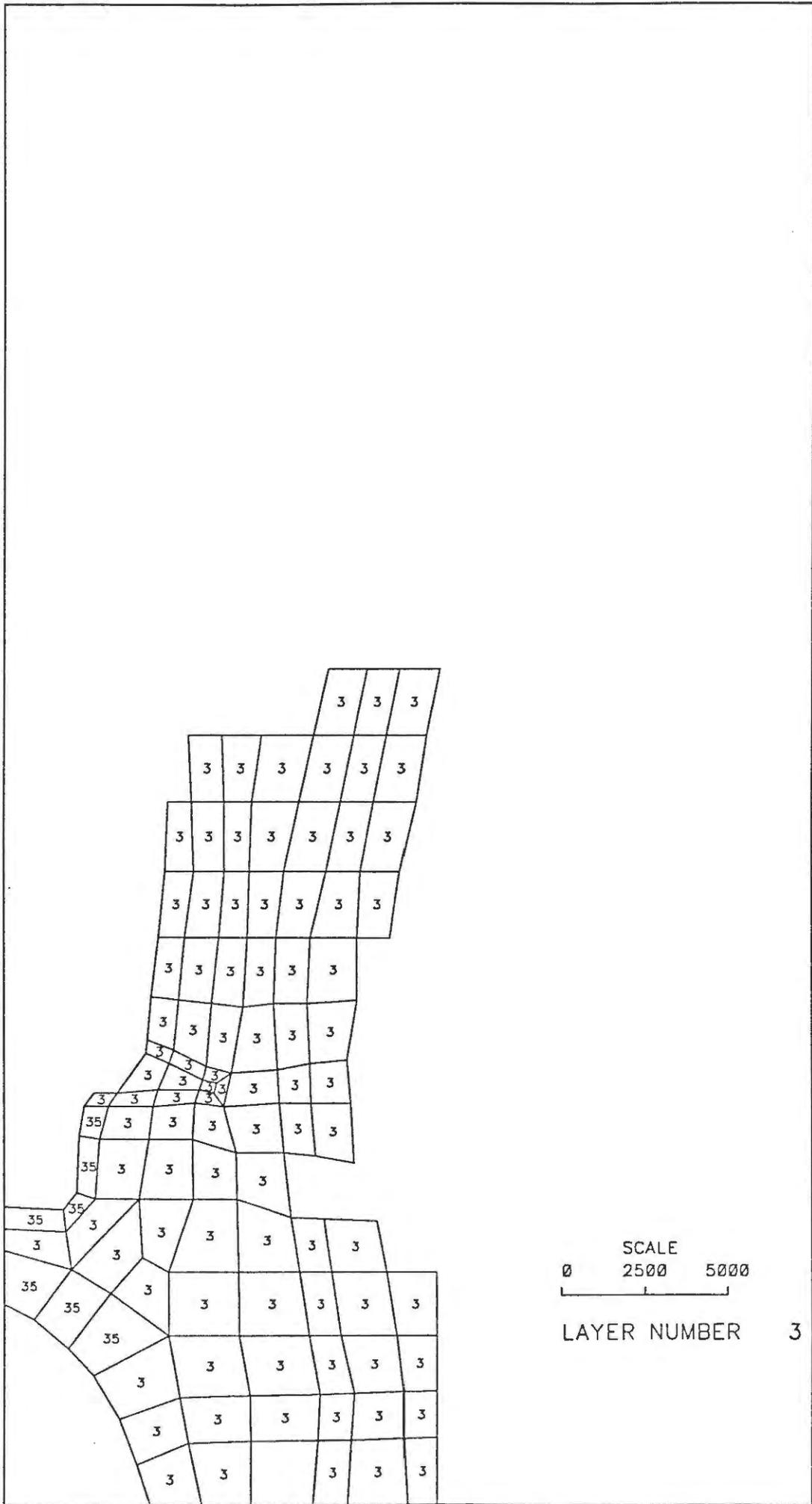


BILD A3: MATERIALNUMMERN OBERKREIDE

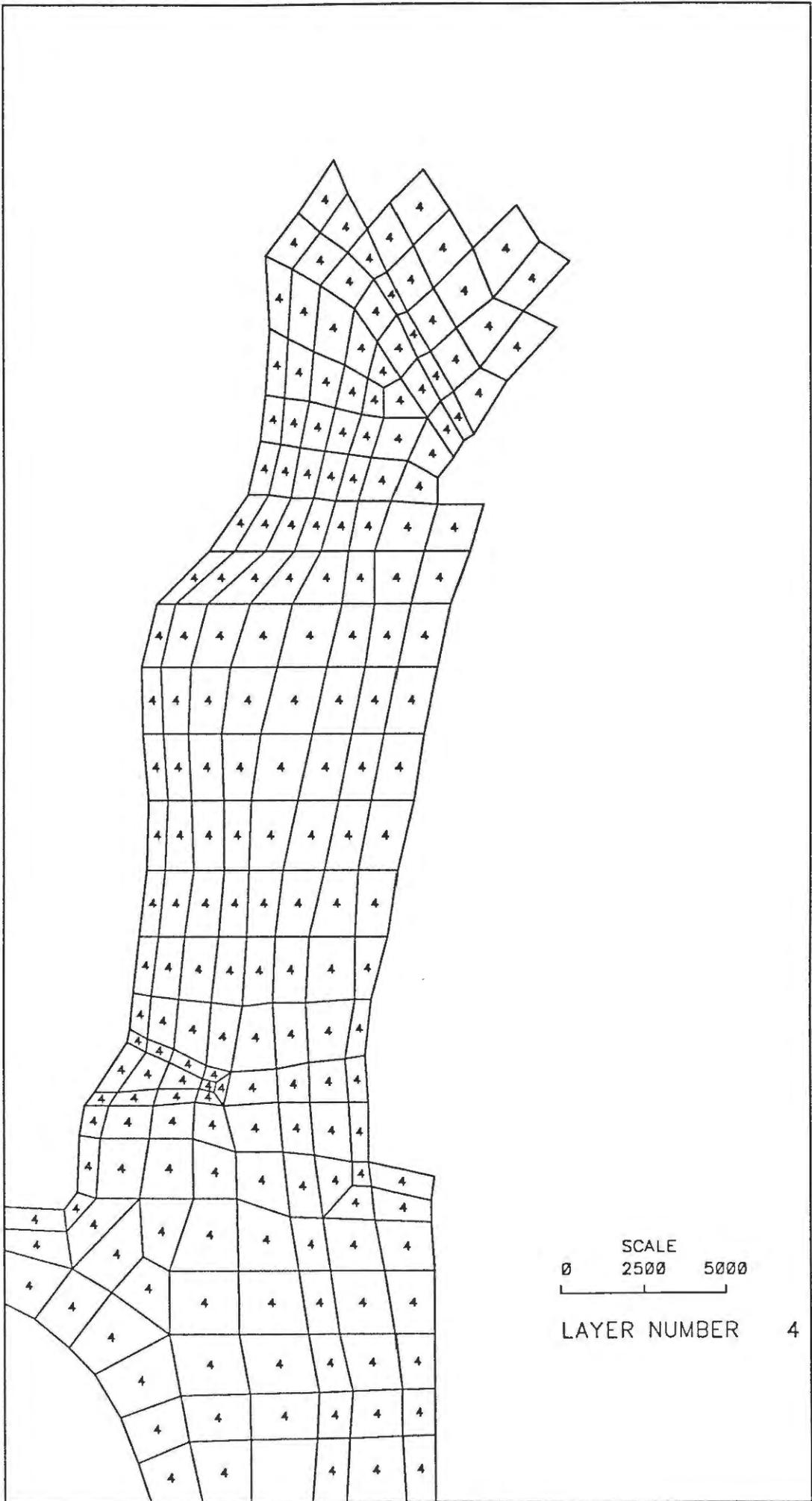


BILD A4: MATERIALNUMMERN ALB

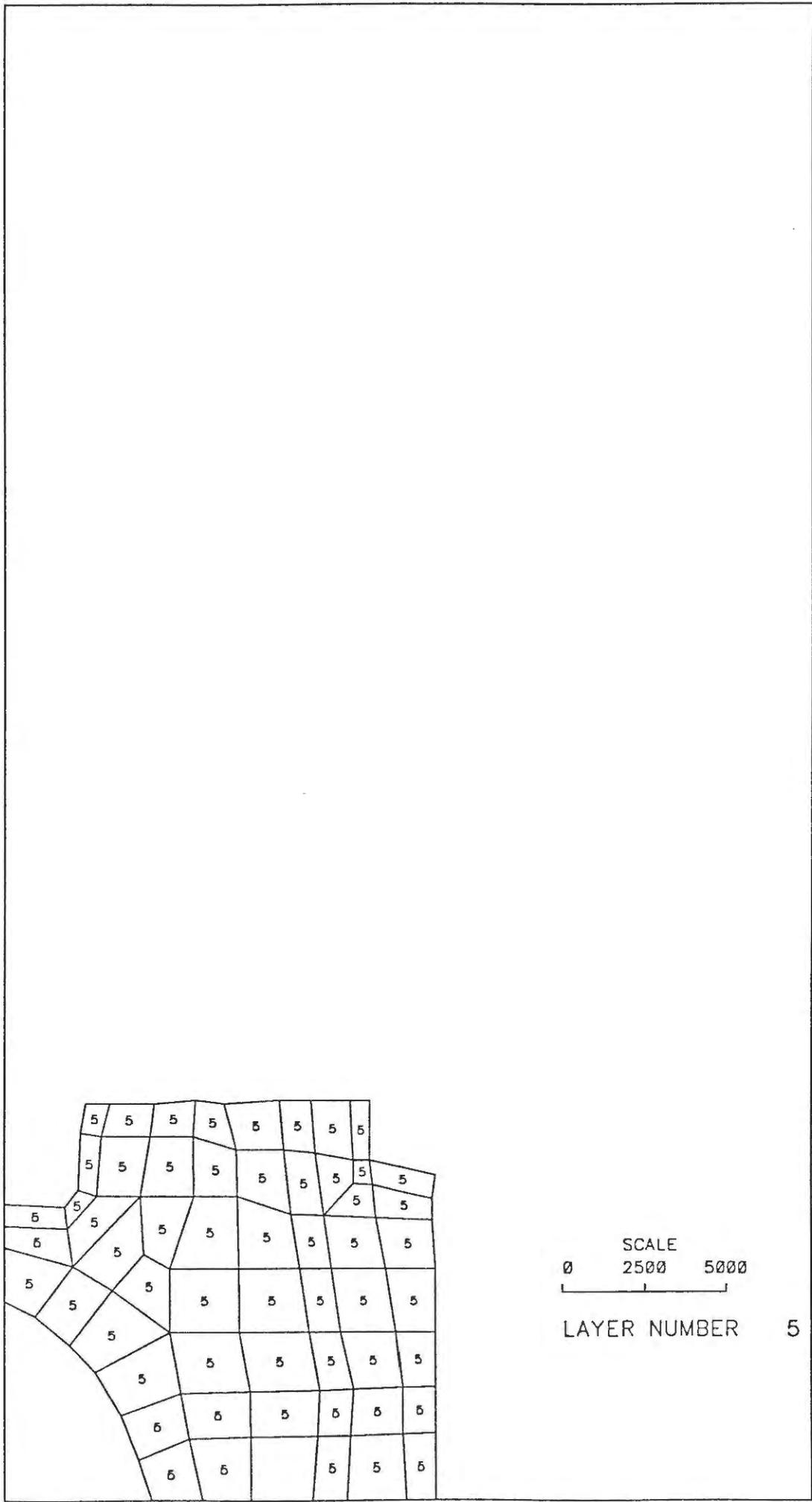


BILD A5: MATERIALNUMMERN HILSSANDSTEIN

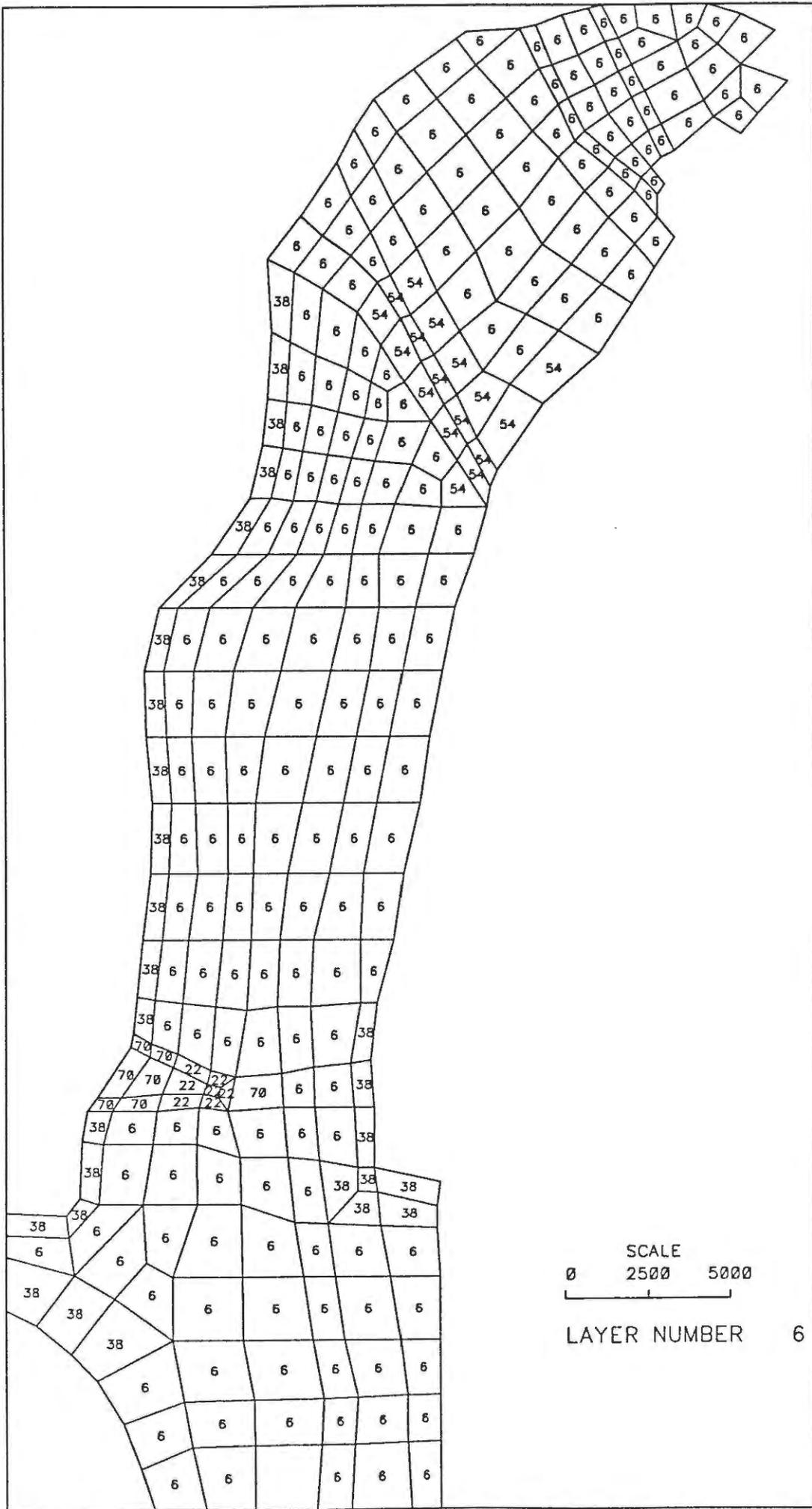


BILD A6: MATERIALNUMMERN UNTERKREIDE

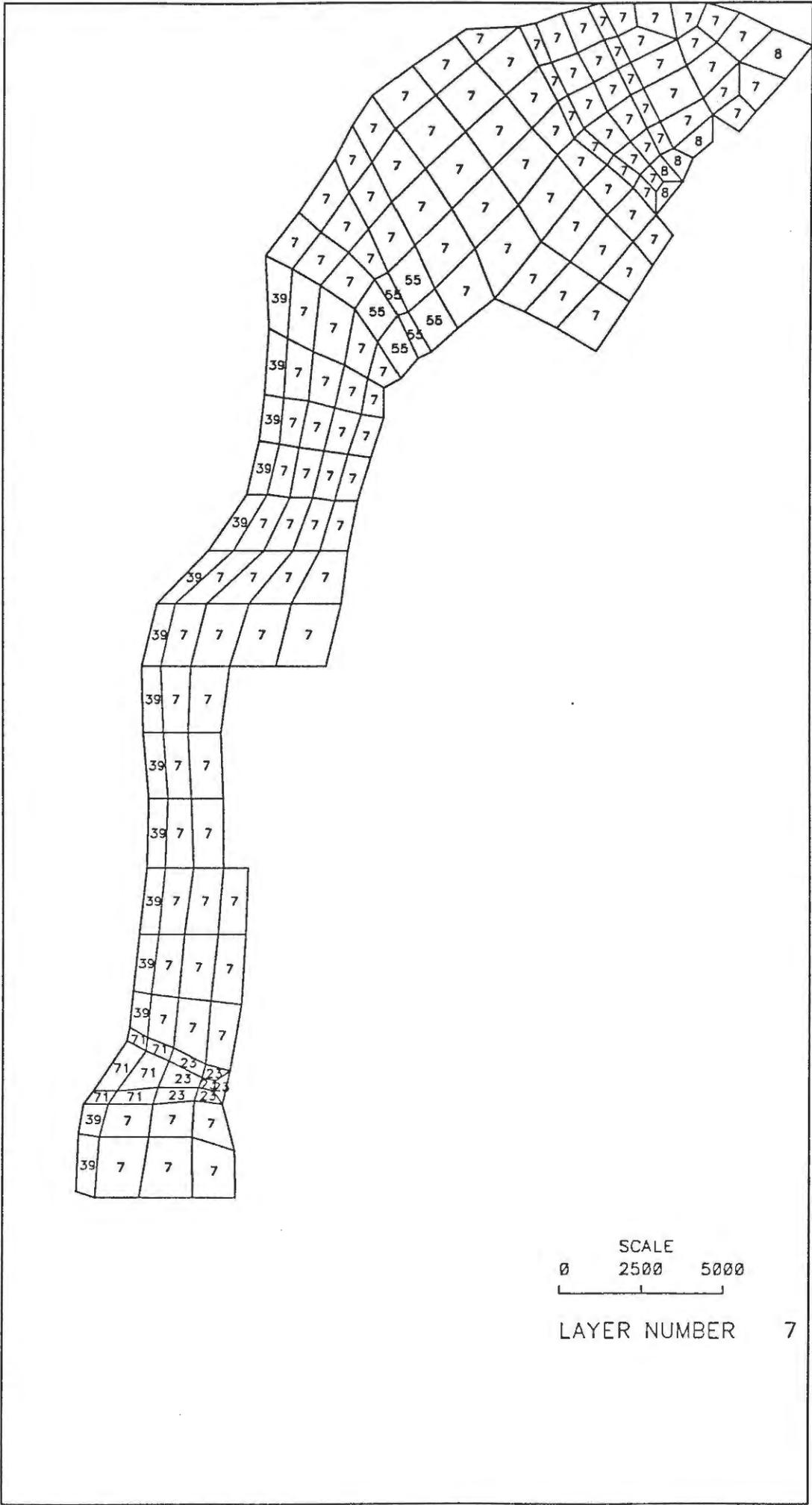


BILD A7: MATERIALNUMMERN KIMMERIDGE

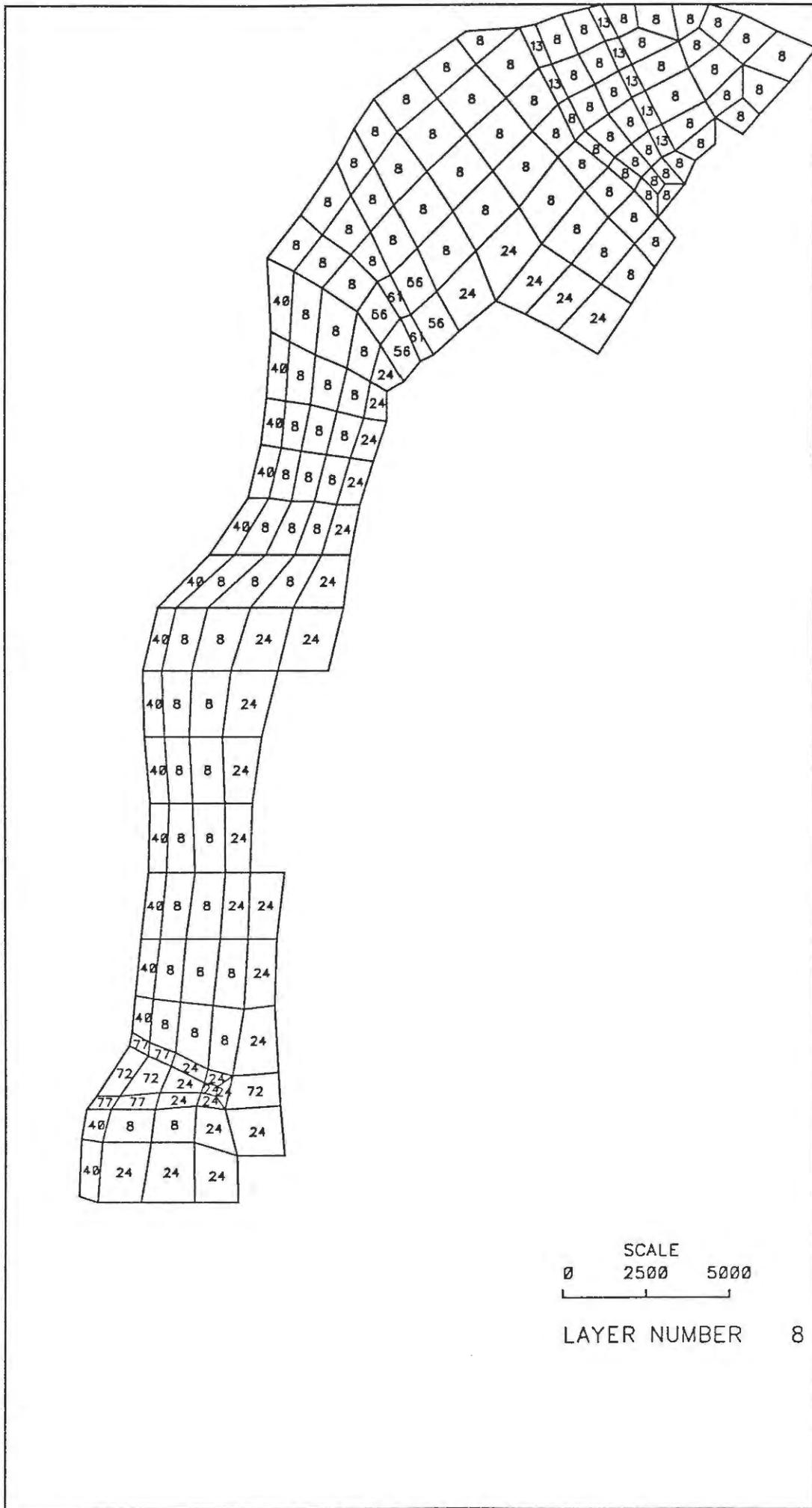


BILD A8: MATERIALNUMMERN OXFORD

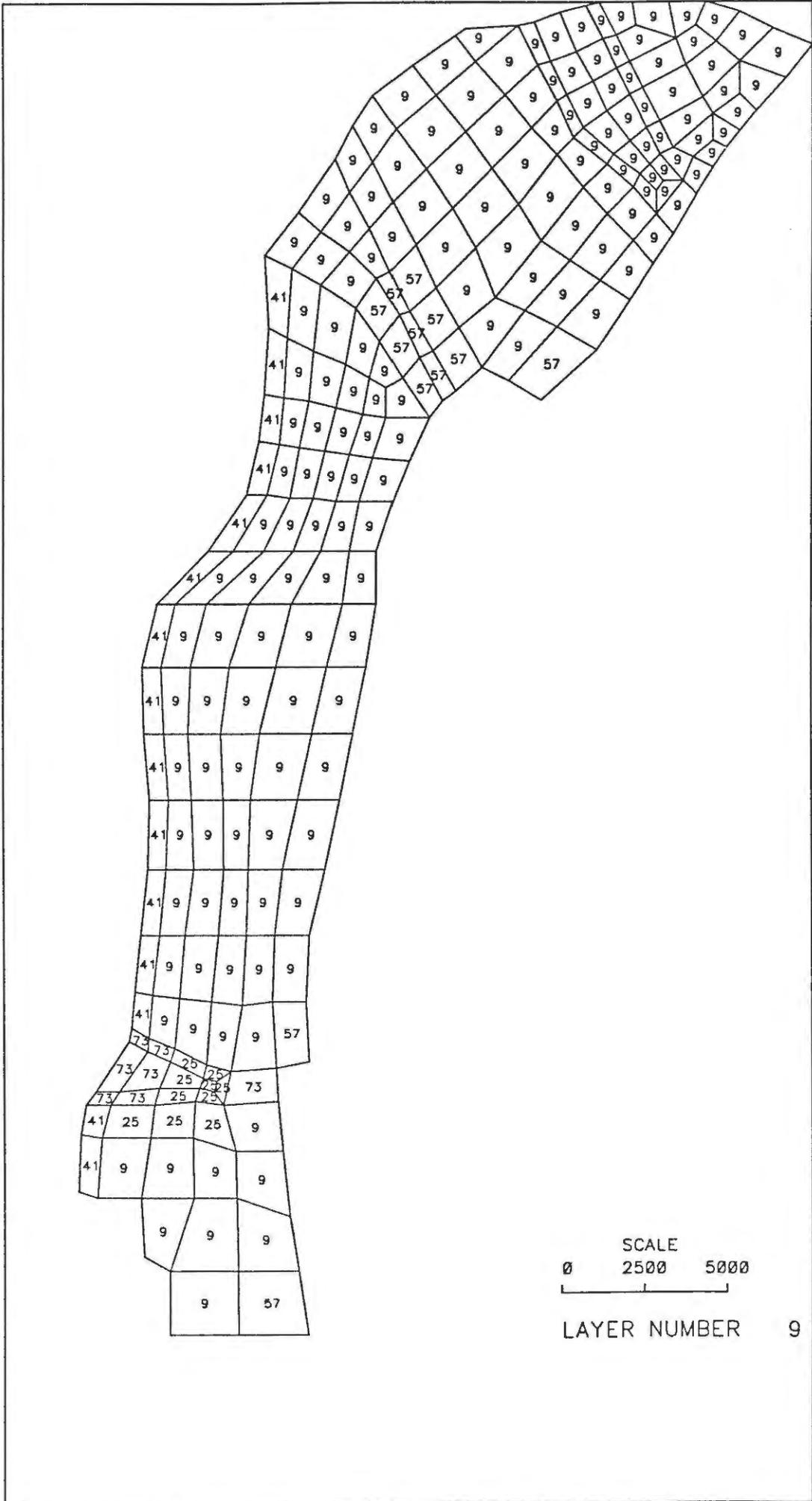


BILD A9: MATERIALNUMMERN DOGGER

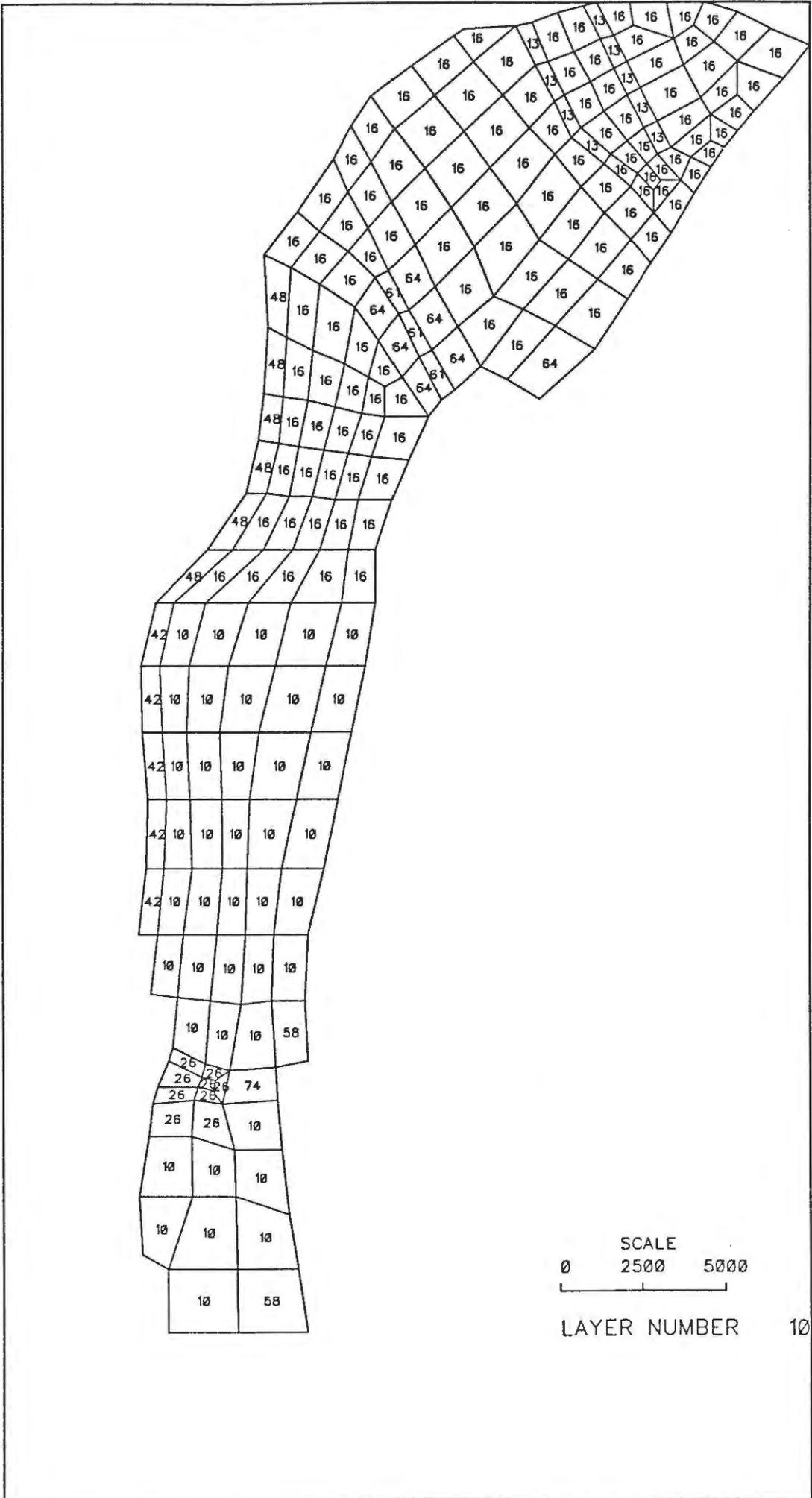


BILD A10: MATERIALNUMMERN CORNBRAUSH

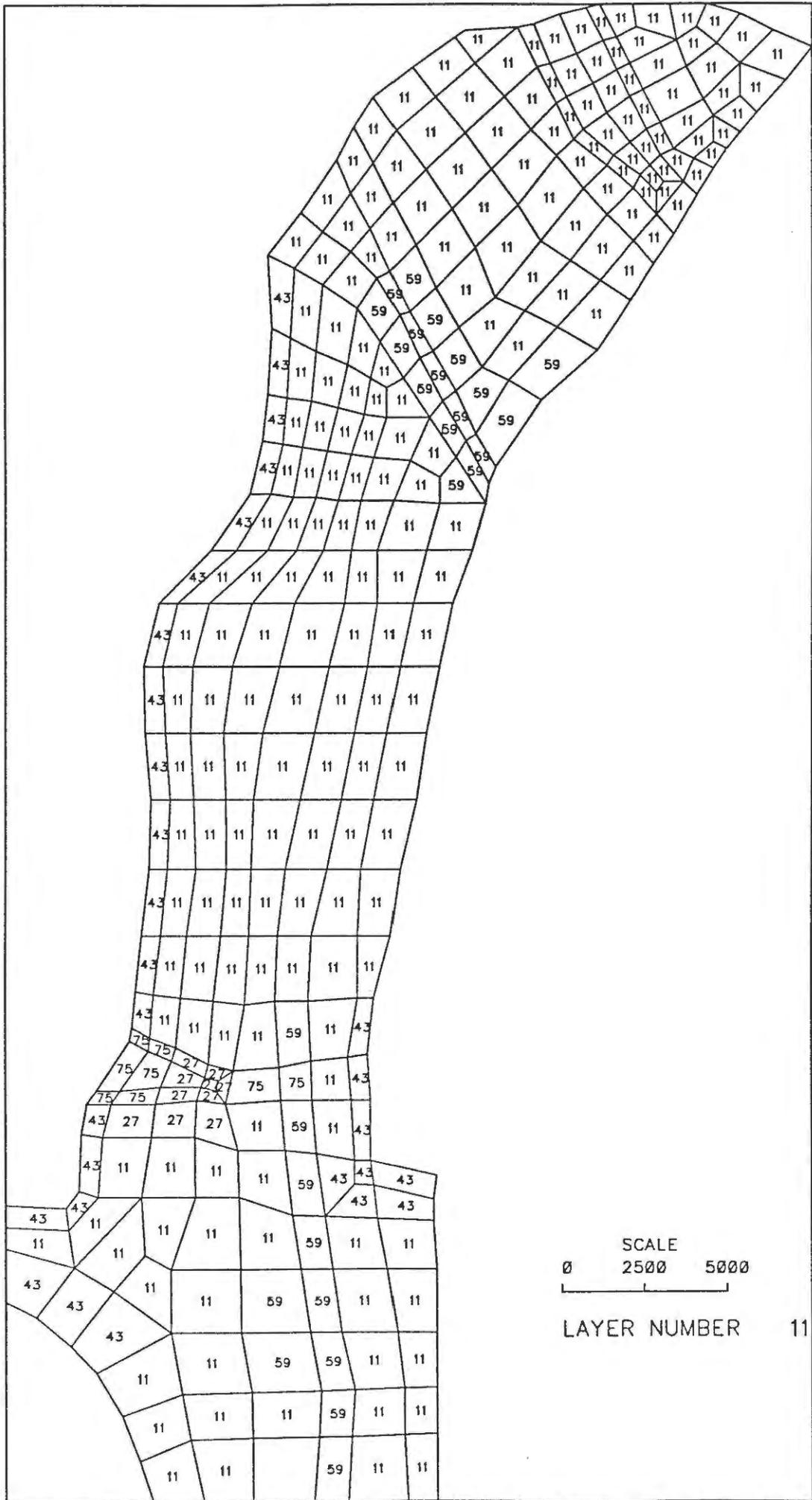


BILD A11: MATERIALNUMMERN LIAS

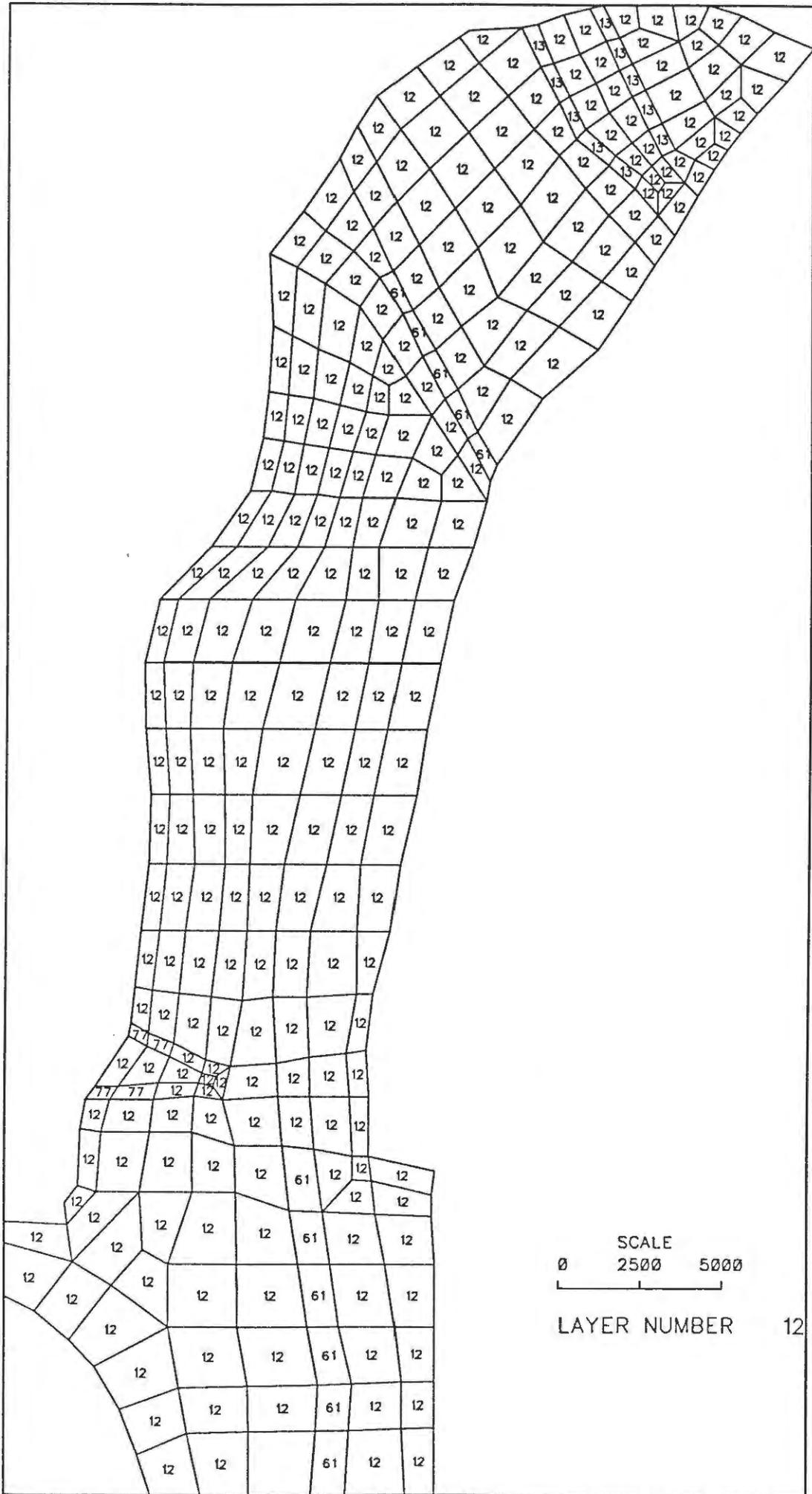


BILD A12: MATERIALNUMMERN RHAET

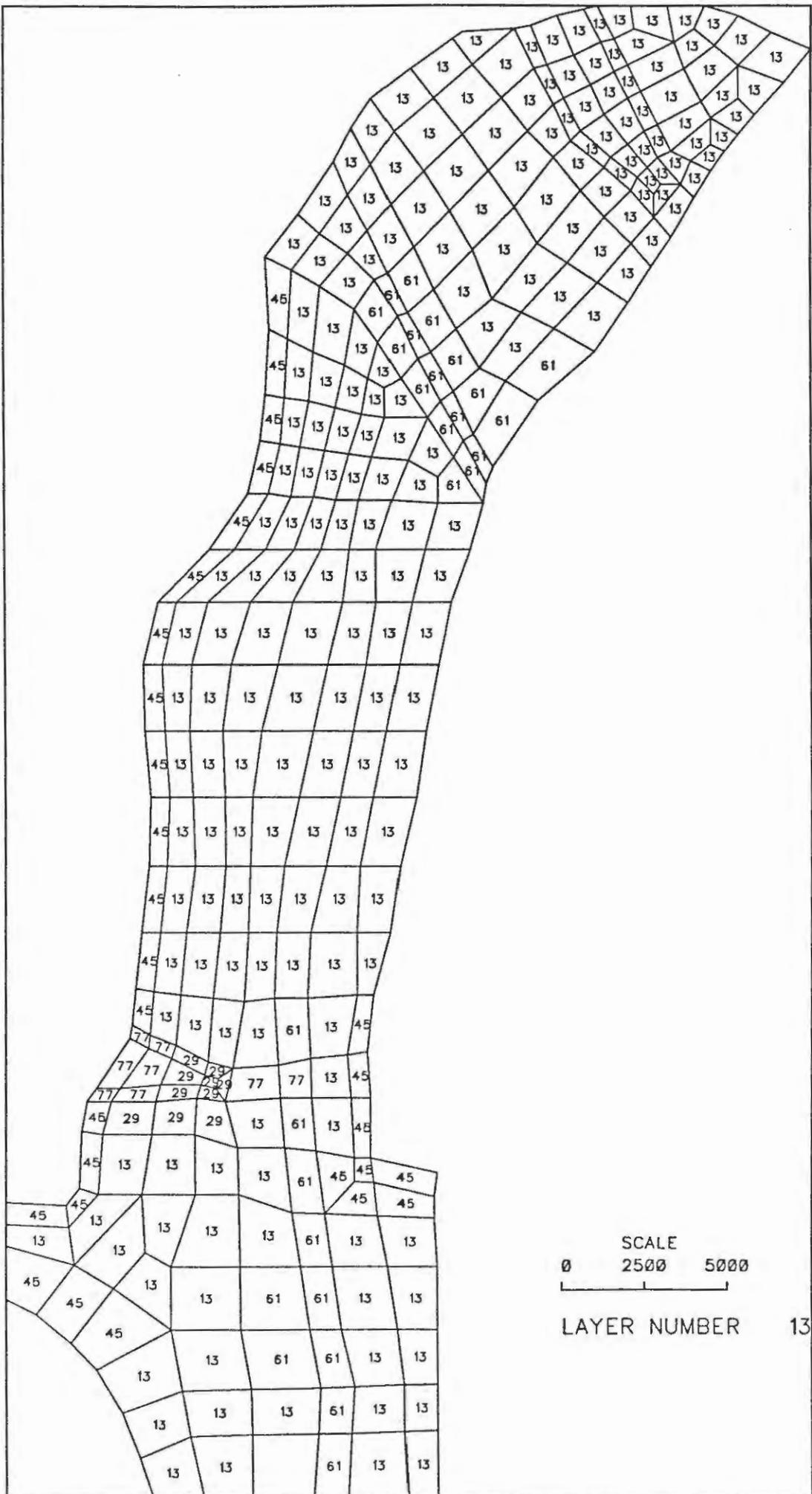


BILD A13: MATERIALNUMMERN KEUPER

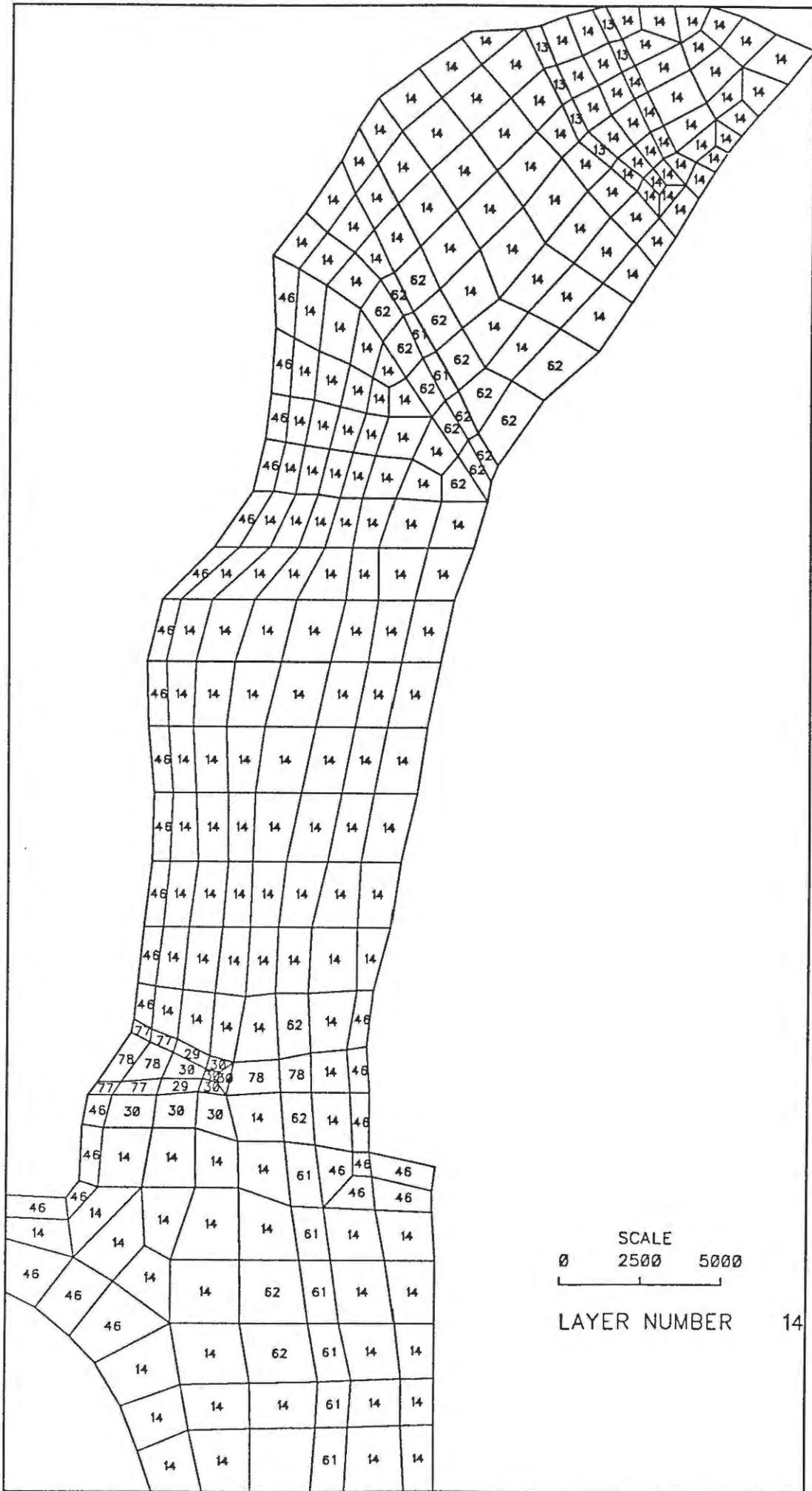


BILD A14: MATERIALNUMMERN MUSCHELKALK