

Bibliothek
01.01.1993

Grundwasser-Transportrechnun-
gen am hydrogeologischen Modell
Konrad zur Bewertung der Modell-
daten und ihrer Bandbreiten

Variationen der hydraulischen Kenn-
werte über einem probabilistischen
Ansatz



Dezember 1993

Auftrags-Nr.: 65 300



Anmerkung:

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des TÜV Hannover/ Sachsen Anhalt im Rahmen der Begutachtung Konrad erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muß nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1	Einleitung	1
2	Statistische Methoden zur Behandlung von Modell- und Parameterunsicherheiten	2
2.1	Die Unsicherheitsaussage	3
2.2	Die Sensitivitätsaussage	4
2.3	Der Erwartungswert als sogenanntes Referenzergebnis	5
2.4	Vergleich mit Grenzwerten	6
2.5	Das GRS-Programm MEDUSA	8
2.5.1	Das SRS-Verfahren	9
2.5.1.1	Empirische Verteilungsfunktion	10
3	Beschreibung der Vorgehensweise	14
4	Beschreibung der Eingabedaten	15
4.1	Die Verteilung der hydraulischen Kennwerte	15
4.2	Die Auswahl der hydraulischen Kenndaten zu Modelldatensätzen	15
5	Vorbereitung der Modellrechnungen mit NAMMU	17
6	Ergebnisse der Simulationen mit NAMMU	17
6.1	Ergebnisse der Rechnungen zur Repräsentativität der Partikel-Startpunkte im Endlager	18
6.2	Ergebnisse der Trajektorienberechnung	19
6.3	Betrachtung der laufzeitbestimmenden Parameter	20
7	Auswertung der Trajektorienberechnung hinsichtlich der kürzesten Laufzeiten	21
7.1	Auswertung der Laufzeiten	21
7.2	Auswertung der Laufpfade	21
7.3	Auswertung der Laufzeiten bezüglich der Partikelstartpunkte	22
7.4	Plausibilitätsbetrachtungen zu den Trajektorien mit den kürzesten Laufzeiten	23
8	Die Aussagen der probabilistischen Unsicherheitsanalyse für den Standort Konrad	28
8.1	Die Unsicherheitsaussage	28
8.2	Die Sensitivitätsaussage	28
8.2.1	Druckpotentiale	28
8.2.2	Laufwege, Laufzeiten, Laufpfadgruppen	29
9	Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Referenzdatensatzes und seiner Berechnungsergebnisse	29
9.1	Referenzdatensatz	29

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

9.3	Grundwasserfluß	30
9.4	Sensitivitätsaussagen	31
10	Literaturverzeichnis	32
	Verzeichnis der Tabellen	35
	Verzeichnis der Bilder	36
	Anhang	38
	Verteiler	

1 Einleitung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für das Endlager KONRAD wurde die GRS vom TÜV Hannover/Sachsen Anhalt beauftragt, im Zusammenhang mit der Begutachtung der vom Antragsteller vorgelegten Langzeitsicherheitsanalysen Grundwassermodellberechnungen durchzuführen. Basis dieser Berechnungen bildet die geologische und hydrogeologische Einschätzung des Standortes durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLfB) als dem geologischen Gutachter der Genehmigungsbehörde. Aus dieser Bewertung resultiert für die Langzeitsicherheitsanalysen die Entwicklung einer hydrogeologischen Modellvorstellung mit den hydrogeologischen Standortdaten (Gutachtliches Modell) durch das NLfB.

Die für eine Modellierung und Analyse der Langzeitsicherheit erforderlichen Daten zum gutachtlichen Modell sind in den NLfB-Unterlagen /NLfB 92/ dokumentiert. Neben den Mächtigkeiten und den Verbreitungen der Schichten enthalten die Unterlagen quantitative Angaben zum Kenntnisstand der effektiven Gebirgsporositäten und der effektiven hydraulischen Leitfähigkeiten der einzelnen hydrogeologischen Einheiten in Form subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die betreffenden Größen sowie einen Referenzdatensatz.

Die GRS hat das gutachtliche Modell in ein numerisches Modell zur Berechnung durch den Code NAMMU umgesetzt, Berechnungen in einem Süßwassermodell, d.h. ohne Berücksichtigung der Salinität und deren Rückwirkung auf das Transportverhalten der Wässer, durchgeführt und die Rechnungen zum Referenzfall in /GRS 93 b,c/ dokumentiert.

Die Ergebnisse der Rechnungen zum Referenzfall bilden die Grundlage für die Sicherheitsanalysen in der Nachbetriebsphase. Die in dieser numerischen Analyse der Grundwassersituation mit dem Süßwassermodell und dem Referenzdatensatz ermittelten Grundwassergeschwindigkeiten werden vom NLfB aus folgenden Gründen als konservativ eingeschätzt:

- Im Modellgebiet ist eine mit der Teufe zunehmende Salinität der Wässer festzustellen. Das flächenhafte Auftreten hochsaliner Tiefengrundwässer und das sich darbietende hydrochemische Erscheinungsbild des Tiefengrundwasserkörpers kann nicht das Ergebnis kurzzeitiger Vorgänge sein.
- Genese und Existenz der salinen Tiefenwässer sind im Grundsatz eng an zeitliche Entwicklungen gebunden und weisen auf sehr lange Zeiträume hin.

- Während für die Anreicherungsprozesse selbst schon erhebliche Zeiträume erforderlich sind, bewirken die sich ändernden physikalischen Eigenschaften der Tiefenwässer zusätzlich eine Verzögerung der Grundwasserbewegung.
- Die Ergebnisse der Altersbestimmung der Wässer weisen auf eine sehr lange Verweildauer und geringe Grundwasserbewegungen hin.
- Die im Süßwassermodell ermittelten Durchströmraten durch das Grubengebäude sind um ein Vielfaches größer als in der Realität zu erwarten.

Unter Berücksichtigung der vorstehend beschriebenen Ergebnisse und Interpretationen können für die Tiefenwässer Grundwassergeschwindigkeiten erwartet werden, die deutlich kleiner sind als die in den Süßwasserrechnungen des Referenzfalles ermittelten.

Zur Einschätzung und zur statistischen Absicherung des Referenzdatensatzes wurden auf der Basis des Referenzfalls Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt, welche die Auswirkungen der Bandbreiten der Daten und deren Verteilung innerhalb der Bandbreiten auf die Grundwasserlaufzeiten und -laufwege in nachfolgender Parameterstudie untersucht.

2 Statistische Methoden zur Behandlung von Modell- und Parameterunsicherheiten

Rechenmodelle (sofern sie, wie etwa SYVAC /GOO 87/, die probabilistische Analyse nicht schon als integralen Bestandteil enthalten) sind i.a. deterministisch und liefern als deterministische Antwort auf oben beispielhaft aufgeführte Fragestellungen jeweils einen Zeitverlauf bzw. einen Zahlenwert. Mittels der probabilistischen Unsicherheitsanalyse erhält man dagegen Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Durch sie kommt der Einfluß des auf Szenario-, Modell- und Parameterebene quantifizierten und per subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilung repräsentierten Kenntnisstandes zum Ausdruck. Dies ermöglicht zu jedem Zeitpunkt "t" sowie für das Maximum über Zeitintervallen

- quantitative Unsicherheitsaussagen,
- quantitative Sensitivitätsaussagen,

- die Angabe eines sog. Referenzergebnisses und
- Vergleiche mit Grenzwerten.

2.1 Die Unsicherheitsaussage

Die Unsicherheitsaussage gibt den gemeinsamen Einfluß der quantifizierten Unsicherheiten auf die jeweils interessierende Größe Y (z. B. Laufzeit oder Dosis im Jahr t oder Maximum der Dosisrate im Zeitraum $0 \leq t \leq 10000$) an. Im Folgenden wird mit Y_Q die Q %-Fraktile der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Laufzeit bzw. mit $y_Q(t)$ die Q %-Fraktile (oder das Q %-Quantil, typische Werte für Q sind 95, 99 oder 99,9 etc.) der jeweiligen subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung zum Zeitpunkt t bezeichnet. Letztere z. B. kann unmittelbar zu folgender Aussage dienen:

Mit $Q\%$ subjektiver Aussagesicherheit liegt der zutreffende Wert der interessierenden Größe im Jahr t unter $y_Q(t)$ ¹.

Analoge Aussagen sind für das Maximum über dem jeweiligen Vorhersagezeitraum möglich. Bezeichnet z.B. $y^*(t)$ die maximale Dosisrate des mittleren Individuums der am meisten exponierten Bevölkerungsgruppe im Zeitintervall $[0,t]$, so lautet die Unsicherheitsaussage:

Mit Q % subjektiver Aussagesicherheit liegt der Maximalwert der Dosisrate im Zeitintervall $[0,t]$ nicht über $y^*_Q(t)$ ¹.

Aufgrund der Komplexität der mathematischen Modelle können die erforderlichen subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilungen der interessierenden Ergebnisgrößen nicht analytisch gewonnen werden. Auf dem in der Praxis üblichen simulativen Weg sind nur Schätzwerte \hat{y}_Q der gesuchten Q %-Fraktile y_Q erhältlich. Die Güte der Schätzung hängt ab von der unbekanntem subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung der Größe Y , dem verwendeten Verfahren zur Auswahl der alternativen Wertekombinationen der unsicheren Parameter sowie vom Stichprobenumfang, d. h. von der Zahl der mit dem Rechenmodell erhaltenen alternativen deterministischen Antworten (Zeitverläufe und somit Werte bei t bzw. Maxima über $[0,t]$).

¹ Unter der Annahme, daß alle nicht berücksichtigten Unsicherheiten vernachlässigbar sind und auf der Basis des quantifizierten Kenntnisstandes zu jenen, die in der Analyse Berücksichtigung fanden.

2.2 Die Sensitivitätsaussage

Die Sensitivitätsaussage wird in Form einer Rangfolge der quantifizierten Unsicherheiten hinsichtlich ihres Beitrages zur Ergebnisunsicherheit gemacht. Ist die Antwort auf die Fragestellung ein Zeitverlauf, so ist die Rangfolge an jedem ausgewählten Zeitpunkt erhältlich. Sie gibt damit Auskunft über die zeitliche Entwicklung der Bedeutung der betreffenden Unsicherheit.

Aufgrund des simulativen Vorgehens stehen für die der Rangfolge zugrundeliegenden Sensitivitätsmaße nur Schätzwerte zur Verfügung. Darüberhinaus wird zu den gängigsten Sensitivitätsmaßen auch ein Schätzwert des sog. "Coefficient of Determination" R^2 berechnet. Er gibt an, auf welchen Bruchteil (in %) der Variation in den per Simulation erhaltenen alternativen Antworten sich die angegebene Rangfolge bezieht. Ist dieser Prozentsatz niedrig (< 50), so ist davon auszugehen, daß die aus den Schätzwerten der betreffenden Sensitivitätsmaße abgeleitete Rangfolge wenig zuverlässig ist.

Aus der Rangfolge läßt sich ablesen, bei welchen unsicheren Parametern der Kenntnisstand vorrangig zu verbessern ist, wenn es darum geht, eine möglichst effektive Reduktion (z. B. der Unsicherheit der Ergebnisgröße) zu erreichen. Sensitivitätsaussagen können somit Entscheidungen über die Durchführung ergänzender theoretischer Untersuchungen, von Experimenten sowie von Feldmessungen unterstützen.

2.3 Der Erwartungswert als sogenanntes Referenzergebnis

Für die Ergebnisgrößen zur Beantwortung der oben beispielhaft angeführten Fragestellungen, wie etwa nach der Laufzeit, dem Maximalwert der Dosisrate über dem Vorhersagezeitraum, der Jahresdosis oder dem Individualrisiko in einem bestimmten Jahr, liefert die probabilistische Unsicherheitsanalyse eine subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilung. Der Erwartungswert EY der nichtnegativen Ergebnisgröße Y bezüglich dieser Verteilung lautet:

$$EY = \int_0^{\infty} yf(y) dy.$$

Hierin ist f die Dichtefunktion der Verteilung. Die offenkundige Beziehung

$$\int_0^{EY} (y - EY) f(y) dy = \int_{EY}^{\infty} (y - EY) f(y) dy$$

besagt, daß sich, mit seiner Verwendung als Ergebnis, die Beträge der möglichen Unterschätzungen und Überschätzungen, gewichtet mit den jeweiligen subjektiven Wahrscheinlichkeiten ihres Zutreffens, die Waage halten.

Aus diesem Grunde fällt die Wahl häufig auf den Erwartungswert, wenn es darum geht, aus der Fülle der alternativen, möglicherweise zutreffenden Ergebniswerte einen als sog. Referenzwert auszuwählen. Dies, obgleich der Erwartungswert u. U. nicht zur Menge der als möglicherweise zutreffend erachteten alternativen Ergebnisse zählt.

Ist das Maximum von $f(y)$ ausgeprägt und liegt bei kleinen Werten von Y , erstreckt sich gleichzeitig die Dichte noch weit in den Bereich großer Werte (siehe z. B. logarithmische Normalverteilungen oder Verteilungen des nicht-negativen Y mit sehr hoher kumulativer Wahrscheinlichkeit für $Y=0$), so kann der Erwartungswert deutlich über der 90, 95 oder 99%-Fraktile der Verteilung liegen. In diesen Fällen werden stabile Schätzungen des Erwartungswertes je nach Stichprobenauswahlverfahren nur bei hohem Stichprobenumfang, d. h. nach Gewinnung vieler alternativer Zeitverläufe mit dem Rechenmodell, erhältlich sein. Den Möglichkeiten zur Herleitung quantitativer Angaben zur Schätzgenauigkeit kommt daher besondere Bedeutung zu. Im Kapitel 2.5.1 wird dieser Punkt für das vorgestellte Stichprobenauswahlverfahren diskutiert. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß bei Ergebnisgrößen in Form von Zeitverläufen die Erwartungswerte zu einzelnen Zeitpunkten nicht zu einem sog. Referenz-Zeitverlauf verbunden werden können, wohl aber zum zeitlichen Verlauf der temporären Erwartungswerte. Geht es also um die Auswahl eines Zeitverlaufs (aus den vielen alternativen möglicherweise zutreffenden), so liegt es nahe, jenen zu wählen, der mit den Referenzwerten der unsicheren Parameter erhalten wird.

2.4 Vergleich mit Grenzwerten

Fragestellungen zur Untersuchung der Langzeitsicherheit von Endlagern sind oft so formuliert, daß sie deterministische Antworten haben, d. h. nur ein bestimmter Zeitverlauf bzw. nur ein bestimmter Zahlenwert der interessierenden Größe ist die zutreffen-

de Antwort. Standards wären also im Prinzip ebenfalls deterministisch formulierbar, d. h. in Form eines begrenzenden Zeitverlaufs für die Dosisrate oder das Individualrisiko bzw. in Form eines Grenzwertes für die Laufzeit (unterer Grenzwert), die kumulative Dosis (oberer Grenzwert) die kumulative Menge freigesetzter Spaltprodukte, die maximale Dosis oder das maximale Individualrisiko etc. über einem vorgegebenen Zeitraum. Die probabilistische Unsicherheitsanalyse liefert subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu den Ergebnisgrößen, und aus ihnen läßt sich unmittelbar die subjektive Aussagesicherheit dafür ablesen, daß der Standard eingehalten wird. Entspricht z. B. der Grenzwert gerade der 97 %-Fraktile der subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung der zu begrenzenden Größe, so würde das Ergebnis des Vergleichs lauten:

Mit 97 % subjektiver Aussagesicherheit liegt die interessierende Größe nicht über dem vorgegebenen Grenzwert (siehe Fußnote 1 auf Seite 5).

Da z. B. die Dosisrate im Jahr t nicht exakt angegeben werden kann, sondern die Vorhersage hierfür mit Unsicherheiten behaftet ist, muß der Vergleich mit dem Grenzwert immer auch ein Maß für den Einfluß der Unsicherheiten beinhalten. Somit kann der Standard nur dann als vollständig bezeichnet werden, wenn er die subjektive Wahrscheinlichkeit, mit der der Grenzwert einzuhalten ist, bereits als Bestandteil enthält. In diesem Fall ist der Standard probabilistisch formuliert. Er könnte z. B. fordern, daß die normierte Menge der im Zeitraum $0 \leq t \leq 10000$ freigesetzten Spaltprodukte mit mindestens 99 % subjektiver Wahrscheinlichkeit nicht über dem Wert 1 (und mit mindestens 99,99 % nicht über dem Wert 10) liegen darf.

Bei simulativem Vorgehen können für die subjektiven Wahrscheinlichkeiten nur Schätzungen erhalten werden. Der quantitative Ausdruck für den möglichen Einfluß des Stichprobenumfangs (nämlich Konfidenzlimits im üblichen statistischen Sinne) ist somit beim Vergleich mit dem Standard zu berücksichtigen. D. h. das Ergebnis eines Vergleichs mit einem deterministischen Standard wäre z. B. eine Aussage der Form:

"Auf einem Konfidenzniveau von 95 % liegt die maximale Dosisrate in $[0,t]$ mit mindestens 99 % subjektiver Aussagesicherheit nicht über dem Grenzwert (siehe Fußnote 1 auf Seite 5)", wenn der Grenzwert gerade mit dem 95 % Konfidenzlimit der 99 %-Fraktile der subjektiven Wahrscheinlichkeitsverteilung der maximalen Dosisrate in $[0,t]$ zusammenfällt.

Im Falle eines probabilistisch formulierten Standards könnte das Ergebnis eines Vergleichs z. B. lauten:

"Auf einem Konfidenzniveau von 95 % liegt die maximale Dosisrate in $[0,t]$ mit mindestens der geforderten subjektiven Wahrscheinlichkeit von 99 % nicht über dem Grenzwert."

Wird bei deterministisch formuliertem Standard die subjektive Aussagesicherheit für Einhaltung des Grenzwerts als zu niedrig beurteilt oder unterschreitet bei probabilistisch formuliertem Standard die subjektive Wahrscheinlichkeit zum Grenzwert die im Standard angegebene Grenzwahrscheinlichkeit, so kann die Sensitivitätsanalyse zeigen, auf welche der berücksichtigten Unsicherheiten dies im wesentlichen zurückzuführen ist. Eine genauere Beschreibung und Bewertung von statistischen Methoden für Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern sind in /GRS 92/ ausgeführt.

2.5 Das GRS-Programm MEDUSA

Das in der GRS vorliegende Instrumentarium zur Durchführung probabilistischer Analysen wird eingehend in /GRS 93a/ beschrieben.

MEDUSA wurde im Rahmen des Vorhabens "Probabilistische Unsicherheitsanalyse von Ergebnissen umfangreicher Rechenmodelle" entwickelt /GRS 88b/. Aufgabe des Programms ist es, Parameterstichproben (Experimental Designs) für eine probabilistische Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse zu erzeugen.

Eine Parameterstichprobe besteht aus n auf besondere Weise ausgewählten Wertesätzen unsicherer Eingabeparameter für das betrachtete Rechenmodell. Je nach Art des Auswahlverfahrens gibt es unterschiedliche Typen von Parameterstichproben. Die Wahl des Typs wird wesentlich von der Art der gewünschten Unsicherheits- und Sensitivitätsaussagen bestimmt.

Im Programm MEDUSA sind zwei auf Monte-Carlo-Simulationen basierende Stichprobenauswahlverfahren implementiert: "Simple Random Sampling (SRS)" und "Latin Hypercube Sampling (LHS)". Diese beiden Designs werden in neueren Untersuchungen uneingeschränkt favorisiert gegenüber den früher üblichen deterministischen Auswahlverfahren wie "One-At-A-Time", "Factorial", "Fractional Factorial" u. ä. .

MEDUSA sieht die Möglichkeit vor, Abhängigkeiten zwischen unsicheren Parametern durch Vorgabe gewöhnlicher oder Rang-Korrelationskoeffizienten zu berücksichtigen. Auch eine Art vollständiger Abhängigkeit kann von MEDUSA auf bestimmte Weise modelliert werden (grade-correlation = ± 1). Künftige Versionen von MEDUSA sollen weitere Modelle der Parameterabhängigkeit enthalten.

2.5.1 Das SRS-Verfahren

Das "Simple Random Sampling" ("Pure Random Sampling", "Direct Monte-Carlo", "reine Zufallsauswahl") ist die natürlichste Form der Generierung von Parameterwerten durch Monte-Carlo Simulation .

Ausgehend von einer, wie auch immer gearteten, K-dimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilung F des Parametervektors X werden N Zeilen der Designmatrix X als Realisationen des Zufallsvektors X nach ein und derselben Verteilung F stochastisch unabhängig voneinander generiert. Die Zeilen dieser Matrix zusammengenommen bilden daher im statistischen Sinne eine Stichprobe des K-dimensionalen Parametervektors X vom Umfang N . Führt man dann mit den Zeilenwerten dieser Matrix als aktuelle Parameterwerte die entsprechenden N Rechenläufe durch, so erhält man daraus für jede zu untersuchende Ergebnisgröße oder Konsequenz C eine statistische Stichprobe vom Umfang N gemäß ihrer (unbekannten) Verteilung, welche aus den Parameterverteilungen und dem Formalismus des Rechenmodells resultiert. D. h. die N alternativen Konsequenzwerte c_1, \dots, c_N sind zu betrachten als Realisationen von N unabhängigen und identisch wie C verteilten stochastischen Variablen C_1, \dots, C_N .

Die auf diese Weise gewonnene Designmatrix X und die dazugehörige Konsequenzstichprobe c_1, \dots, c_N werden verwendet, um geeignete empirische Unsicherheits- bzw. Sensitivitätsaussagen zu formulieren.

2.5.1.1 Empirische Verteilungsfunktion

Zahlreiche statistische Verfahren zur Gewinnung von Aussagen über unbekanntes Verteilungen basieren auf der empirischen Verteilungsfunktion ("empirical distribution function", e.d.f.) F_N einer über SRS gewonnenen Stichprobe C_1, \dots, C_N .

Sie wird definiert durch

$$F_N(C) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(C_i \leq c)$$

wobei I die Indikatorfunktion ist, d.h.

$I(C_i \leq c) = 1$ falls $C_i \leq c$ und $= 0$ falls $C_i > c$.

Die e.d.f. F_N spielt in der Statistik eine bedeutende Rolle, da sie nach dem Theorem von Glivenko-Cantelli mit wachsendem Stichprobenumfang N mit der Wahrscheinlichkeit 1 gleichmäßig über der ganzen reellen Achse gegen die gesuchte aber unbekannte Verteilungsfunktion F_C von C konvergiert. Ist daher der Stichprobenumfang N genügend groß, so kann man mit ausreichender Genauigkeit die gesuchte Verteilung F_C und viele ihrer Eigenschaften durch die empirische Verteilungsfunktion F_N und deren entsprechende Eigenschaften ausdrücken. Darauf beruhen viele wohlbekanntes Verfahren zur statistischen Schätzung von Verteilungskenngrößen, z. B.

- der Wert $F(c_0)$ der gesuchten Verteilungsfunktion F an der Stelle c_0 wird geschätzt durch den Wert $F_N(c_0)$ der empirischen Verteilungsfunktion an der Stelle c_0 ,
- der Erwartungswert EC der Konsequenz C wird geschätzt durch den Erwartungswert der e.d.f., nämlich durch den Stichprobenmittelwert,
- die Varianz von C wird geschätzt durch die Varianz der e.d.f., nämlich durch die Stichprobenvarianz,
- die Quantile der gesuchten Verteilung F_C werden geschätzt durch die entsprechenden Quantile der empirischen Verteilungsfunktion F_N , d. h. das unbekannte α -Quantil c_α von C , $c_\alpha = F_C^{-1}(\alpha)$, wird geschätzt durch das empirische α -Quantil $C_\alpha = F_N^{-1}(\alpha)$ ($\alpha \in (0, 1)$).

F_C^{-1} bzw. F_N^{-1} sind die inversen Verteilungsfunktionen zu F bzw. F_N . (Die inverse Verteilungsfunktion G^{-1} ist definiert durch $G^{-1}(u) = \inf(y, G(y) \geq u)$).

Um in jedem Falle sicherzustellen, daß die aus der e.d.f. gewonnenen empirischen Werte und Aussagen bestimmte wünschenswerte statistische Qualitätsmerkmale aufweisen (z. B. Erwartungstreue, Konsistenz, etc.), muß die dem ganzen Verfahren zugrundeliegende Parameterstichprobe nach dem SRS-Prinzip gewonnen sein.

Darüber hinaus muß der Stichprobenumfang N möglichst groß sein, damit die Varianz der Schätzer klein und somit deren Genauigkeit hoch ist. Dies kann allerdings nicht immer gewährleistet werden, insbesondere dann nicht, wenn sehr kleine Wahrscheinlichkeiten bzw. extreme Quantile zu schätzen sind und die erforderlichen Rechenläufe allzu zeitintensiv und kostspielig wären. In solchen Fällen können Methoden der sog. verteilungsfreien Toleranzgrenzen angewandt werden. Schon aus relativ kleinen SRS-Stichproben liefern diese Methoden Informationen über unbekannte Verteilungen, die für Unsicherheitsaussagen besonders nützlich sind.

Verteilungsfreie Toleranzgrenzen

Man betrachtet eine noch zu generierende SRS-Stichprobe C_1, \dots, C_N einer beliebigen Konsequenz C mit der (unbekannten) Dichtefunktion f_C . Ausgehend von deren geordneter Stichprobe $C_{(1)}, \dots, C_{(N)}$, d.h.

$C_{(1)} \leq C_{(2)} \leq \dots \leq C_{(N)}$, sucht man zwei Indices r und s , $1 \leq r < s \leq N$, so daß

$$P \left(\int_{C_{(r)}}^{C_{(s)}} f_C(c) \, dc \geq \beta \right) \geq \gamma$$

für bestimmte, zuvor festgelegte Werte β und γ , $0 < \beta < 1$, $0 < \gamma < 1$.

Die beiden Grenzen $C_{(r)}$ und $C_{(s)}$ heißen dann zweiseitige untere bzw. obere (β, γ) -Toleranzgrenzen und das Intervall $[C_{(r)}, C_{(s)}]$ ein (β, γ) -Toleranzintervall. Es kann interpretiert werden als ein Intervall, welches mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens γ einen Anteil von mindestens β der unbekanntem Verteilung von C enthält. Gewöhnlich werden große Werte wie 0.90 oder 0.95 für β und γ gewählt.

In analoger Weise können auch einseitige obere bzw. untere Toleranzgrenzen definiert und interpretiert werden.

Zur Bestimmung der Toleranzgrenzen $C_{(r)}$ und $C_{(s)}$, d.h. letztlich der Indices r und s , benutzt man das folgende Ergebnis:

Die beiden Werte $C_{(r)}$ und $C_{(s)}$ der geordneten Stichprobe von C_1, \dots, C_N bilden ein (β, γ) -Toleranzintervall, wenn zwischen N , r , s , β , γ die folgende fundamentale Beziehung besteht:

$$\sum_{i=0}^{s-r-1} \binom{N}{i} \beta^i (1-\beta)^{N-i} \geq \gamma$$

Aus dieser Beziehung lassen sich verschiedene Arten von Toleranzgrenzen bestimmen, je nach dem welche von den beteiligten Größen N , r , s , β , γ festgehalten werden.

Von besonderer Bedeutung sind dabei Toleranzgrenzen, die von den Stichprobenextrema $C_{(1)}$ und $C_{(N)}$ gebildet werden. Hier sollen zwei für Anwendungen wichtige Fälle betrachtet werden.

a. Zweiseitiges Toleranzintervall $[C_{(1)}, C_{(N)}]$

In diesem Fall ist $r = 1$ und $s = N$ und die zu erfüllende Beziehung zwischen N , β , γ lautet nunmehr:

$$1 - \beta^N - N(1 - \beta) \beta^{N-1} \geq \gamma$$

Aufgrund dieser Beziehung läßt sich eine Tabelle aufstellen, die für einige gängige β - und γ -Werte angibt, wie der Stichprobenumfang N gewählt werden muß, damit das Intervall $[C_{(1)}, C_{(N)}]$, gebildet aus dem kleinsten und größten Konsequenzwert, ein (β, γ) -Toleranzintervall ist.

β	0.9			0.95		
γ	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99
Stichprobenumfang N	38	46	64	77	93	130

Diese Tabelle läßt z. B. folgende, für Unsicherheitsanalysen bedeutsame Interpretation des Toleranzintervalls $[C_{(1)}, C_{(N)}]$ zu:

Ist der Stichprobenumfang $N = 46$ und sind C_1, \dots, C_{46} die nach der SRS-Methode gewonnenen Stichprobenwerte für eine beliebige Konsequenz (Ergebnisgröße) C , so liegen zwischen dem kleinsten dieser Werte ($C_{(1)}$) und dem größten ($C_{(46)}$) mindestens 90 % der Wahrscheinlichkeitsverteilung, d. h. mindestens 90 % der Unsicherheit von C . Aufgrund des durch $N = 46$ beschränkten Stichprobenumfangs gilt dies mit einer statistischen Aussagesicherheit von mindestens 95 %.

b. Einseitige obere Toleranzgrenze $C_{(N)}$

Sucht man nur eine obere Schranke zur Quantifizierung der Unsicherheit einer Konsequenz C , so genügt es, den Maximalwert $C_{(N)}$ (bzw. Minimalwert $C_{(1)}$) aus der SRS-Stichprobe als einseitige obere (untere) Toleranzgrenze zu betrachten. In diesem Fall ($r=0$, $s=N$) lautet die zu erfüllende Beziehung zwischen N , β , γ :

$$1 - \beta^N \geq \gamma$$

und die entsprechende Tabelle mit dem notwendigen Stichprobenumfang N :

β	0.9			0.95		
γ	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99
Stichprobenumfang N	22	29	44	45	59	90

Die Interpretation einer solchen oberen Toleranzgrenze lautet z. B.:

Bei Stichprobenumfang $N = 59$ liegen unterhalb des größten errechneten Konsequenzwertes $C_{(59)}$ mindestens 95 % der Wahrscheinlichkeitsverteilung, d. h. mindestens 95 % der Unsicherheit dieser Konsequenz. Dies gilt aufgrund des beschränkten Stichprobenumfangs mit einer statistischen Aussagesicherheit von mindestens 95 %. Eine analoge Aussage gilt für das Stichprobenminimum $C_{(1)}$ als untere Toleranzgrenze.

Da in der Langzeitsicherheitsanalyse zum Endlager Konrad primär die Frage nach der unteren Schranke für die Laufzeit gestellt wird, wurde für die nachfolgenden Untersuchungen des SRS-Verfahrens mit Stichprobenumfang $N = 59$ gewählt, welches die Bestimmung (95 %, 95 %) einseitiger unterer Toleranzgrenzen der Laufzeit eines jeden der verfolgten Partikel ermöglicht.

3 Beschreibung der Vorgehensweise

Als Modellgrundlage zur Durchführung der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen dient das hydrogeologische Rechenmodell des Referenzfalles, das die GRS im Rah-

men ihrer Begutachtung zum Standort Konrad erstellt hat. Die Ergebnisse der Berechnung des Referenzfalles sowie Analysen zu Modellvarianten werden in /GRS 90, GRS 91, GRS 93b/ ausführlich beschrieben. Bild 1 zeigt das Modellgebiet in seiner Realisation durch Finite Elemente.

Bei der Durchführung von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen muß zu allen potentiell wichtigen Modellunsicherheiten sowie unsicheren Parametern, Eingangsdaten und Randbedingungen der Kenntnisstand quantifiziert und durch geeignete subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen ausgedrückt werden.

Hydraulische Kennwerte sind mit Einschränkungen über geologische Zeiträume stabil, jedoch besitzen sie eine räumliche Varianz, die von den Sedimentationsprozessen und Gebirgsbildungsprozessen abhängig ist. Die räumliche Veränderung der Werte gilt sowohl für den mikroskopischen Bereich (z.B. Permeabilität) als auch für den makroskopischen Bereich (z.B. Gebirgsdurchlässigkeit).

Für Modellrechnungen mit räumlich diskretisierten Bereichen entsteht die Notwendigkeit, diesen Bereichen effektive Parameterwerte zuzuweisen. Diese Wertzuweisung ist aufgrund des meist vorhandenen Datenumfangs nur mit großen Unsicherheiten möglich. Modellrandbedingungen besitzen im allgemeinen eine zeitliche Varianz, deren Änderungen von den 'kurzfristigen' meteorologischen Einflüssen und von Prozessen über geologische Zeiträume bestimmt werden. Die Definition einer zeitlichen Varianz wird dadurch schwierig. Dies gilt insbesondere für die das Druckfeld bestimmenden Grundwassergleichen im oberen Aquifer des zu analysierenden Standortes.

Für das Modellgebiet Konrad sind die seitlichen und die an der Basis vorliegenden stationären "no-flow" Randbedingungen nach Aussagen des geologischen Gutachters über geologische Zeiträume stabil. Eine zeitliche Varianz der Grundwassergleichen am Top des Modells konnte nicht angegeben werden. Das Druckfeld wurde als obere stationäre Randbedingung daher konservativ pessimistisch abgeschätzt /NLfB 90, GRS 91/.

Somit werden für die vorliegenden Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen die Randbedingungen für das Modell als stationär angesetzt. Die Quantifikation des Kenntnisstandes beschränkt sich auf die Unsicherheit in den hydraulischen Parametern. Diese Parameter sind die Durchlässigkeitsbeiwerte und die effektiven Porositäten der hydrogeologischen Einheiten. Sie bestimmen das innere Druckfeld und das Grundwassergeschwindigkeitsfeld im Modell.

4 Beschreibung der Eingabedaten

4.1 Die Verteilung der hydraulischen Kennwerte

Die Datengrundlage der durchgeführten Unsicherheitsanalyse bilden die Verteilungen der hydrogeologischen Parameter und die Korrelationen zwischen ihnen, die durch den geologischen Gutachter, das Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung NLFb, erarbeitet wurden. Dieser Datensatz /NLFb 92/ enthält neben den Verteilungen von Durchlässigkeitsbeiwerten und effektiven Porositäten von 20 hydrogeologischen Einheiten in Form von Histogrammen auch zwei Verteilungen von globalen Faktoren für die Durchlässigkeit bzw. die Porosität, welche die Auflockerung in den Störzonen berücksichtigen. Die Einheit Wealden, deren hydraulische Wirksamkeit im Nord- und Südmodellgebiet unterschiedlich interpretiert wird, wurde in zwei hydrogeologische Einheiten mit eigener Parameterverteilung zerlegt.

Die Verteilungen der hydraulischen Kenndaten wurden vom NLFb in Form von Histogrammen definiert, gebildet aus Werteklassen mit zugehörigen Wahrscheinlichkeiten. Die Wahrscheinlichkeiten sind der Grad an Sicherheit dafür, daß der großräumig wirk-same Durchlässigkeitsbeiwert und Porositätswert einer hydrogeologischen Einheit innerhalb der vorgegebenen Klassengrenzen liegt. Die Verteilungen der Kennwerte einer hydrogeologischen Einheit wurden für den gesamten Modellraum als konstant abgeschätzt, so daß die Verteilungen den Kenntnisstand über den geeigneten Wert der jeweiligen Konstanten quantitativ ausdrücken.

Für die Unsicherheitsanalyse ist es wichtig, eventuelle Abhängigkeiten der Parameter untereinander zu erkennen und mathematisch zu beschreiben. Die Durchlässigkeitsbeiwerte verschiedener geologischer Einheiten sind voneinander unabhängig, jedoch besteht ein Zusammenhang zwischen der effektiven Porosität und dem Durchlässigkeitsbeiwert einer Schicht. Diese durch die Gesteinseigenschaft und die Gesteinstruktur begründete Abhängigkeit kann mathematisch durch einen Rang-Korrelationskoeffizienten quantifiziert werden, wobei Korrelationskoeffizienten nahe der Zahl 1 einen positiven nahezu vollständigen Zusammenhang widerspiegeln. Je weniger ausgeprägt der monotone Zusammenhang ist, desto kleiner ist der Absolutwert des Koeffizienten. Negativ monotoner Zusammenhang wird durch negative Korrelationskoeffizienten ausgedrückt. Für die vorliegende Modellanwendung wurde vom NLFb in allen Fällen ein Korrelationskoeffizient von 0,7 vorgeschlagen, der eine schwach ausgeprägte

Tendenz zu positivem monotonen Zusammenhang ausdrückt, d.h. bei steigenden Durchlässigkeitsbeiwerten einer Einheit steigt tendenziell auch ihre effektive Porosität.

4.2 Die Auswahl der hydraulischen Kenndaten zu Datensätzen

Ziel der Verfahren zur Generierung von Parameterstichproben für probabilistische Untersuchungen in der Langzeitsicherheit von Endlagern ist es, geeignete Wertesätze für die betrachteten Parameter des Modells so auszuwählen, daß aus den Ergebnissen nachfolgender Modellrechnungen mit diesen Parametersätzen die gewünschten Unsicherheits- und Sensitivitätsaussagen formuliert werden können.

Verschiedene derartige Verfahren zur Generierung von Parameterstichproben stehen derzeit zur Verfügung (siehe Kap. 2).

Zur Generierung der im folgenden beschriebenen Datensätze wurde von der GRS das Verfahren der einfachen Zufallsauswahl 'Simple Random Sampling (SRS)' benutzt. Es ist zur Bestimmung der statistischen Toleranzgrenzen geeignet und benötigt dazu einen Stichprobenumfang von mindestens $n=59$ (vgl. Kap.2.5).

Zur Überprüfung werden die vom NLFb gelieferten Histogramme mit der relativen Häufigkeit der Realisationen in den 59 GRS-Stichproben verglichen, wobei die Klassenbreiten identisch gewählt sind.

Angegeben sind die prozentualen Anteile der Realisationen innerhalb einer Klasse zum Gesamtumfang der Realisationen (hier 59). Wie die Bilder 2.1 - 2.4 zeigen, befinden sich die beiden Verteilungen in guter Übereinstimmung.

5 Vorbereitung der Modellrechnungen mit NAMMU

In /GRS 90, GRS 91, GRS 93b/ wurden die Programmstruktur und die Eingabe- und Ausgabeprozeduren des Programmes NAMMU ausführlich beschrieben. Für die hier betrachteten Modellrechnungen wurden 59 Datensätze maschinell in die Eingabeprozedur geschrieben und 59 Rechnungen zur Lösung des Druckfeldes für das Referenzmodell durchgeführt. Das Ergebnis der Rechnungen waren 59 alternative Druckfelder für das Referenzmodell. Mit Hilfe des NAMMU-internen Partikel - Tracking - Verfahrens sind dann Partikellaufwege und Partikellaufzeiten von 15 repräsentativen Startpunkten aus dem Endlager berechnet worden. Die Repräsentativität der ausge-

wählten Startpunkte wurde vorher in einem anderen NAMMU - Rechenlauf nachgewiesen. Dabei wurde für den Referenzdatensatz /GRS 93b/ eine Partikelwolke an 145 gleichmäßig verteilten Ortspunkten des Endlagers gestartet, die berechneten Laufwege und Laufzeiten ausgewertet und mit den ermittelten Laufwegen und Laufzeiten der 15 als repräsentativ ausgewählten Startpunkte für den gleichen Lauf verglichen. Hierzu wurden aus der Summe der Laufwege neun charakteristische Laufpfade definiert, die als repräsentativ für eine Gruppe von Laufwegen gelten können. Als Kriterium wurden die Wege und die dabei durchlaufenen hydrogeologischen Einheiten gewählt. Innerhalb dieser nach Abfolge von durchlaufenen Einheiten definierten Pfade können die Partikel unterschiedliche Lauflängen und Laufzeiten besitzen.

6 Ergebnisse der Simulationen mit NAMMU

Mit den 59 Realisationen von Datensätzen aus der Monte Carlo Simulation, gemäß den Verteilungen und Abhängigkeiten der Modellkennwerte, wurden mit dem Programm NAMMU Grundwassersimulationen durchgeführt, deren Ergebnis die jeweiligen Druck- und Geschwindigkeitsfelder im dreidimensionalen Raum sind. Mittels eines Partikel-Tracking-Verfahrens wurden mit den 59 Druckfelderergebnissen der NAMMU-Rechnungen die Laufwege und Laufzeiten von jeweils 15 als repräsentativ für die Ausbreitung aus dem Endlager ermittelten Partikelstartpunkte berechnet. Dies ergibt eine Gesamtheit von $15 \cdot 59 = 885$ Ergebnisrealisationen (Teilergebnisse), die als Ergebnis der Parametervariationen vorliegen. Der Nachweis der Repräsentativität der ausgewählten 15 Startpunkte hinsichtlich der möglichen Ausbreitungswege wird im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

6.1 Ergebnisse der Rechnungen zur Repräsentativität der Partikel - Startpunkte im Endlager

Zum Nachweis der Repräsentativität der Partikelstartpunkte in den 59 Realisationen wurden für den Referenzdatensatz /GRS 93b/ mittels Partikel- Tracking - Verfahren die Laufwegergebnisse einer Partikelwolke von 145 Startpunkten mit denen der repräsentativen 15 Startpunkte verglichen. Hierzu wurden jeweils alle Laufwege in einer vertikalen Projektionsebene geplottet (Bild 3.1 - Bild 3.3). Wie aus den Bildern zu erkennen ist, scharen sich die Laufwege um bestimmte charakteristische Laufstrecken.

Im Vergleich mit den Bildern 4.1-4.3, die Trajektorien des Referenzfalles darstellen, ergeben sich für die 145 Partikelstartpunkte keine weiteren bedeutenden Laufstrecken, die nicht durch die 15 repräsentativen Startpunkte des Referenzfalles /GRS 93b/ beschrieben werden können. Ob die relative Häufigkeit bestimmter Laufstrecken im Fall der repräsentativen Startpunkte mit jener im Fall der 145 Startpunkte übereinstimmt, wurde überprüft.

Hierzu wurde eine Einteilung der Partikellaufwege in charakteristische Laufpfade durchgeführt, wobei der Laufpfad durch die Abfolge der durchlaufenen hydrogeologischen Einheiten bestimmt wird. Tabelle 1 zeigt die Definition der verschiedenen charakteristischen Laufpfade und ihre Abfolge von durchlaufenen Einheiten.

Bild 5 stellt die prozentualen Anteile der charakteristischen Laufpfade zur Gesamtanzahl der Partikelstartpunkte sowohl für die repräsentativen als auch für die 145 Startpunkte gegenüber. Dabei zeigt sich, daß der Laufpfad 3 mit 65% bei der Partikelwolke bzw. über 70% bei den repräsentativen Startpunkten den häufigsten Laufpfad darstellt. Die Laufpfade 9 und 2 sind in der Rangfolge sowohl für die Partikelwolke als auch für die 15 Partikelstartpunkte mit ca. 20 % bzw. 10% die weiteren häufigsten Pfade. Der Laufpfad 4 wird von den repräsentativen Partikelstartpunkten nicht erfaßt. Ein Grund hierfür kann in der Definition der Laufpfade liegen, die, über die Ergebnisse der Laufwege der Partikelwolke definiert, parallel zueinander verlaufende Trajektorien z.T. anderen Pfaden zuordnet. Die in der Partikellaufpfadgruppe zusammengefaßten Pfade 1, 2, 3, 9, 4, 5 beschreiben alle gemeinsam einen Laufweg vom Endlager in das Liegende und von dort aus über verschiedene Aquifere zum Endpunkt im nördlichen Modellgebiet. Sie sind in ihrer Häufigkeit mit über 90% die ausgeprägtesten Laufpfade. Mit unter 10% ist die zweite Laufpfadgruppe, die Laufwege vom Endlager über das Deckgebirge beschreiben, eher als untergeordnet anzusehen. Die Laufpfadgruppe 7 beschreibt einen Weg über das Deckgebirge durch die Einheiten Unterkreide, Hilssandstein und Alp. Dieser Laufpfad ist in beiden Rechnungen annähernd gleich häufig. Mit weniger als 1% ist ein im Trajektorienverlauf der Partikelwolke abgebildeter Laufweg über Unterkreide, Hilssandstein und in ihm bis zur Modelloberfläche selten und wird durch die 15 Partikelstartpunkte des Referenzlaufes nicht erfaßt. Alle anderen im Bild 5 aufgeführten Laufpfadgruppen treten nur in den Parametervariationen auf und werden durch den Referenzfall nicht erfaßt (vgl. Bild 4.1-4.3). Wie die vorangegangene Laufwegsüberprüfung zeigt, charakterisieren die 15 Startpunkte im Referenzlauf mehr als 95% aller Ausbreitungspfade der Partikelwolke und sind als repräsentativ für die Partikelwolke anzusehen unter der Bedingung, daß die Referenz-Pa-

parameterkurve genommen wird.

Im Ergebnis der Laufzeiten der 145 Partikel zeigt sich, daß kein Partikel die Laufzeit der im Referenzfall mit kürzester Laufzeit bestimmten Trajektorie unterschreitet /GRS 93a/. Diese Trajektorie wurde in den eindimensionalen Transportrechnungen abgebildet /GRS 93c/.

6.2 Ergebnisse der Trajektorienberechnung

Bei der Auswertung der Trajektorien der 59 NAMMU-Läufe wurden in Anlehnung an die Vorgehensweise bei den Rechnungen zum Referenzfall eventuell auftretende laufzeitverlängernde Oszillationen der Partikel per Hand korrigiert. Dabei wurden wie im Referenzfall Laufstrecken und Laufzeiten von Partikel, die an einer Grenzschicht von Einheiten mit hohem Durchlässigkeitskontrast oszillieren, d.h jeweils geringe Entfernungen wechselweise in den verschiedenen Grenzschichten zurücklegen, von der Gesamtlaufzeit und vom Gesamtlaufweg subtrahiert. Dies stellt für die Laufzeitberechnung eine konservative Vorgehensweise dar, da in den Oszillationen die Partikel sich räumlich vom Endlager zum Endpunkt hin bewegen, diese Wegstrecken aber sowohl räumlich als auch zeitlich nicht mitbetrachtet werden.

Als Ergebnis der Trajektorienberechnung zeigt Bild 6.1 die Laufzeiten bzw. Bild 6.2 die Wegstrecken von 885 Trajektorien in einem Punktdiagramm der 59 NAMMU-Läufe (Run01-Run59). Zusätzlich wurden die Ergebnisse des Referenzfalles in die Diagramme aufgenommen (bc=basecase), wobei sich der Stichprobenumfang auf 900 erhöht. Im Bild der Laufzeiten wurde die '300.000 Jahre' Marke gekennzeichnet, welche die vom Antragsteller mit dem Programm SWIFT berechnete kürzeste Laufzeit symbolisiert. Beide Diagramme zeigen, daß sich die Ergebnisse in einem Bereich verdichten. Dieser Bereich der Anhäufung von Ergebnissen liegt in Bild 6.1 bei Zeiten zwischen 1.000.000 und 10.000.000 Jahren und für die Laufwege (Bild 6.2) bei 30.000m, was in diesem Fall der Entfernung zwischen Endlager und der Anbindung des Wealden an das Quartär (vgl. hierzu /GRS93b/) entspricht. In Tabelle 2a und 2b sind die Laufzeiten und Laufwege aus den Bildern 6.1 und 6.2 im einzelnen aufgelistet.

6.3 Betrachtung der laufzeitbestimmenden Parameter

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse der Laufzeiten aus der Tabelle 2a und zur Vorbereitung der Auswertung der Trajektorienberechnung wurden in Bild 7 für ausgewählte Rechenläufe die partikellaufzeitbestimmenden Parameter Durchlässigkeitsbeiwert und effektive Porosität einer jeden hydrogeologischen Einheit abgebildet. Hierzu wurde ein Relativedurchlässigkeitswert als Quotient aus Durchlässigkeitsbeiwert einer jeden Einheit und ihrer effektiven Porosität gebildet. Dieser Relativwert erlaubt es, gleichzeitig zwei Parameter zu betrachten und vereinfacht somit die Darstellungsweise wesentlich. Es wurden für die 19 hydrogeologischen Einheiten die entsprechenden Relativwerte bestimmt. Die Einheit Stöz entspricht dem Quotienten aus den Faktoren der Durchlässigkeitsbeiwerte und Porositätswerte für eine erhöhte Auflockerung in den Störzonen.

Bild 7 zeigt diese Relativedurchlässigkeitswerte für die Läufe 20, 22, 41, 46 und 47 in Form eines Säulendiagramms. Gleichzeitig werden die für den Referenzfall wirksamen Relativwerte als Vergleichswerte durch Punkte dargestellt. Das Diagramm zeigt, daß die Werte für den Referenzfall entsprechend der Lage ihrer Parameter im Diagramm sowohl oberhalb als auch unterhalb der Säulenwerte liegen können. Dabei ist zu beachten, daß es sich hierbei um fünf willkürlich herausgegriffene Datensätze handelt, die die Gesamtverteilung der 59 Rechenläufe nicht explizit wiedergeben.

Es wurden alle ausgespielten Datensätze in der gleichen Weise überprüft und in den Bildern 8.1-8.10 dargestellt. Zur weiteren Vereinfachung der Diagramme wurden in diesen Darstellungen die Relativedurchlässigkeitswerte aller Einheiten für alle 59 NAM-MU-Läufe auf die Relativedurchlässigkeitswerte des Referenzfalles normiert, d.h. durch die im Bild 7 dargestellten Relativedurchlässigkeitswerte des Referenzfalles dividiert.

7 Auswertung der Trajektorienberechnung hinsichtlich der kürzesten Laufzeiten

7.1 Auswertung der Laufzeiten

Aus den 15 Trajektorien eines jeden Rechenlaufes wurde die Trajektorie mit der kürzesten Partikellaufzeit ausgewählt und als statistische Verteilung der kürzesten Laufzeiten über die 59 Rechenläufe dargestellt. Bild 9 zeigt die empirische Verteilungs-

funktion der kürzesten Laufzeiten der 59 NAMMU-Läufe. Der Medianwert der kürzesten Laufzeiten beträgt ca. 560.000 a. Zur Veranschaulichung der Häufigkeitsrelationen wurde das weite Intervall der möglichen Laufzeiten in Klassen unterteilt und die Häufigkeit der Laufzeiten innerhalb einer Klasse in Form eines Histogrammes dargestellt. Bild 10.1 zeigt die Verteilung der kürzesten Laufzeiten der 59 NAMMU-Läufe in Abhängigkeit der im Kapitel 3.1 beschriebenen Laufpfadgruppen. Das Maximum der Verteilung der kürzesten Laufzeiten liegt mit über 30 von 59 Läufen im Intervall zwischen 300.000 und 1.000.000 Jahren. Die Intervalle von 100.000 bis 300.000 Jahren bzw. zwischen 1.000.000 und 3.000.000 Jahren sind mit jeweils 10 von 59 Läufen gleich besetzt. Das Intervall zwischen 100.000 bis 3.000.000 Jahren beinhaltet mehr als 50 von 59 Läufen. Unterhalb von 100.000 Jahren liegen 5 Partikellaufzeiten, oberhalb von 3.000.000 Jahren befinden sich 2 Partikellaufzeiten. Eine andere Darstellungsform zeigt das Bild 10.2, worin bei gleicher Klasseneinteilung die kürzesten Laufzeiten kumulativ aufgetragen wurden.

7.2 Auswertung der Laufpfade

Eine Auswertung der Trajektorienberechnung hinsichtlich der Häufigkeit von Ausbreitungspfaden zeigt, daß das Maximum der Häufigkeit der kürzesten Laufzeiten beim Ausbreitungspfad 3 liegt und damit zum gleichen Ergebnis führt wie die Untersuchungen zur Partikelwolke im Kapitel 6.1. In der Klasse der Laufzeiten zwischen 100.000 a und 300.000 a treten alle hier genannten Laufpfadgruppen (Pfad 1, 2, 3, 6, 7, 9) annähernd gleich häufig auf, wobei die Pfadgruppen, die die Ausbreitung über die liegenden Schichten (Gruppen 1, 2, 3, 9) repräsentieren und die Pfadgruppe, die die Ausbreitung über das Deckgebirge charakterisieren (6, 7), gleich häufig sind. Der prozentuale Anteil der Laufpfade, die über das Deckgebirge verlaufen, nimmt mit zunehmenden Laufzeiten ab.

Den Zusammenhang der Häufigkeit der verschiedenen Laufpfade in den Ergebnissen der kürzesten Laufzeiten (Stichprobenumfang = 59) zu den Ergebnissen aller Trajektorienläufe (Stichprobenumfang=885) zeigt das Bild 11. Hier ist die relative Häufigkeit in % zu dem jeweiligen Stichprobenumfang für die einzelnen Pfadgruppen aufgetragen. Wie schon beschrieben, besitzt der Laufpfad 3 mit annähernd 50% sowohl im Fall 'kürzeste Laufzeiten' als auch im Fall 'alle Trajektorienläufe' das Maximum der Häufigkeit in der Gruppe der Trajektorien, die den Transport über das Liegende charakterisieren (links von der vertikalen Linie in Bild 11). Der Laufpfad 1 im Fall 'kürzeste

Laufzeiten' gegenüber dem 'aller Trajektorienverläufe' überrepräsentiert. Das Gleiche gilt für die Laufpfade 6 und 7 rechts der vertikalen Linie in der Gruppe der Trajektorien, die über das Deckgebirge führen. Weiterhin macht das Diagramm einmal mehr deutlich, daß der Transport mit der kürzesten Partikellaufzeit mit größerem Grad an Sicherheit (subjektiver Wahrscheinlichkeit) über das Liegende erfolgt als über das Deckgebirge.

Bild 12 beschreibt das gleiche Ergebnis, jetzt aber in einem Diagramm, das die Anzahl der Trajektorien in den verschiedenen Laufpfadgruppen für die beiden Stichprobenumfänge direkt darstellt.

7.3 Auswertung der Laufzeiten bezüglich der Partikelstartpunkte

Eine weitere Untersuchung sollte den Zusammenhang zwischen den einzelnen Startpunkten im Endlager und den ermittelten Laufzeiten beschreiben. Hierzu wurde, ähnlich der Vorgehensweise bei der Überprüfung der Laufpfade, die Startpunkthäufigkeit in der Verteilung der kürzesten Laufzeiten in Form von Histogrammen mittels der schon beschriebenen Klasseneinteilung dargestellt (Bild 13.1-13.2). Zu diesem Zweck wurde für die einzelnen Klassen die Häufigkeit der Startpunkte aus bestimmten Bereichen des Endlager bestimmt. Dabei wurden die 15 Startpunkte hinsichtlich ihrer räumlichen Lage den einzelnen Endlagerbereichen zugeordnet (6 Startpunkte für das nordwestliche Endlager, 5 für das nordöstliche und 4 für das südliche). Eine Bewertung der örtlichen Verteilung der Partikelstartpunkte der Trajektorien mit den kürzesten Laufzeiten unter Beachtung der unterschiedlichen Anzahl der Startpunkte pro Endlagerbereich - ergibt, daß die meisten Trajektorien mit kürzesten Laufzeiten im nord-westlichen Endlager beginnen. Die größte Anzahl der Partikel in der Klasse der Trajektorienläufe zwischen 100.000 und 300.000 Jahren starten jedoch im nordöstlichen Endlager. Dieser Bereich ist damit hinsichtlich der Ausgangsverteilung in dieser Klasse überrepräsentiert.

7.4 Plausibilitätsbetrachtungen zu den Trajektorien mit den kürzesten Laufzeiten

Parameterrechnungen mit probabilistischen Methoden führen zu einer Verteilung von Ergebnissen - hier Partikellaufzeiten. Die in Kapitel 2 beschriebenen statistischen Methoden liefern, auf der Basis der Datenbandbreiten und vorgegeben Verteilungen der

Daten innerhalb dieser Bandbreiten, eine untere (95 %/95 %) statistische Toleranzgrenze für die kürzeste (unter den 15 Startpunkten) Partikellaufzeit. D. h. man kann zu mindestens 95 % sicher sein, daß die kürzeste Laufzeit mit mindestens 95 % objektiver Wahrscheinlichkeit über dieser Grenze liegt.

Die Grundwassertransportrechnungen im Modellgebiet wurden auf der Grundlage von Süßwasserrechnungen durchgeführt, also ohne Rückwirkung von Dichteunterschieden in Grundwässern auf das Strömungsgeschehen. Da eine Dichterückwirkung am Standort jedoch zu unterstellen ist, kommt es bei den Analysen zu einer Überschätzung der Transportgeschwindigkeiten für das Grundwasser.

Für den Standort Konrad gibt es Eckdaten und Meßwerte, an denen sich Ergebnisse einer Parametervariation messen lassen. Hierzu gehören Altersbestimmungen der Wässer in der Grube, die eine mögliche Transportzeit von Grundwässern vom Wiederergänzungsgebiet zum Endlager eingrenzen. Desweiteren kann über eine Abschätzung der Wiederergänzung für die Grundwasserleiter im Ergänzungsgebiet aus Niederschlags-, Versickerungs- und Oberflächenabflußbetrachtungen der errechnete Grundwasserfluß im Modell überprüft werden.

In Rahmen der Parameteruntersuchungen wurden solche Vergleiche und Überprüfungen für die Ergebnisse der Parametervariationen durchgeführt. Hierzu wurde analog der Vorgehensweise der in /GRS 93b/ beschriebenen Rechnungen des Referenzfalles der Grundwasserfluß der einzelnen hydrogeologischen Einheiten durch den Schnitt nördlich des Salzgitterhöhenzuges (Schnitt 3) berechnet.

In Tabelle 3 werden beispielhaft die Grundwasserflüsse von 14 ausgewählten NAMMU-Läufen im Vergleich mit den Ergebnissen des Referenzfalles (bc) in m^3/a dargestellt. Für den Zustrom in das Modellgebiet sind insbesondere die Einheiten 6= Hilsandstein, 17= Oberer Keuper und 19= Oberer Muschelkalk von Bedeutung, da sie im Wiederergänzungsgebiet des Salzgitter-Höhenzuges ausstreichen. Die Streuung der berechneten Durchflüsse für den Hilsandstein von 144.000 bis 718.000 m^3/a ist relativ gering und spiegelt die geringe Streuung der Durchlässigkeitsbeiwerte wieder (vgl. Bilder 8.1-8.10). Die Streuung liegt im Bereich des in /NLfB 93/ ermittelten Zustromwertes von 162.000 m^3/a über die Austrichbreite des Hilsandsteins. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß zusätzliche Wassermengen in der gleichen Größenordnung aus den Nebengesteinen in den Hilsandstein eintreten können. Eine genaue Quantifizierung dieser potentiell zusätzlich zutretenden Wassermengen, die durch eine sekundäre Speisung des Hilsandsteins aus topographisch höher gelegenen Ge-

steinsserien an der Ostflanke des Salzgitter-Höhenzuges stammem, ist nicht möglich /NLfB 93/.

Demgegenüber zeigt der Oberere Keuper (Rhät) eine große Bandbreite der berechneten Durchflüsse. Die Werte liegen zwischen 455 und 48.100 m³/a und unterstreichen die große Bandbreite seiner Eingangsdaten und damit den unterschiedlichen Einfluß als Wasserbringer für das Endlager.

Der Obere Muschelkalk zeigt eine Streuung der Durchflüsse zwischen 13.279 und 894.000 m³/a. Wie beim Rhät und beim Hilssandstein ist eine genaue Bilanzierung der Durchflüsse aufgrund der möglichen Zuflüsse aus sekundärer Speisung schwer durchzuführen und spiegelt aufgrund fehlender Experimente jeweils den Parameterwert der hydrogeologischen Einheit wieder, den man für den Wahrscheinlichsten hält und daher zur Abschätzung der Regenerationsrate verwendet.

Daß der Zufluß zum Endlager nicht nur von der Durchströmung der wasserführenden Aquifere im Liegenden und Hangenden abhängt, sondern gleichzeitig auch von den dazwischen befindlichen Grundwasserhemmern bestimmt wird, zeigt der Lauf 24 in Tabelle 3, der trotz eines hohen Durchflusses durch Hilssandstein und Unterkreide einen Ausbreitungspfad über genau jene Einheiten besitzt. Das legt den Schluß nahe, daß weitere Faktoren bzw. die Gesamtheit der Parameter einen Einfluß auf die Zuströmung zum Endlager und die Ausbreitung aus dem Endlager haben.

Deshalb wurde für beispielhaft ausgesuchte NAMMU-Läufe eine Endlagerbilanzierung durchgeführt (Tabelle 3). Die Berechnungen erfolgten in der gleichen Weise, wie sie schon in /GRS 93b/ für den Referenzfall beschrieben wurden.

Ein Vergleich mit den vor Ort gemessenen derzeitigen Grubenzuflüssen von 50 l/min entsprechend 26.280 m³/a und den daraus abgeleiteten zukünftigen Endlagerzuflüssen gibt die Möglichkeit der Bewertung des Vertrauensgrades eines Modellergebnisses und damit der ausgespielten Parameterkombination. Dabei ist zu beachten, daß die zukünftigen Endlagerzuflüsse nach Abbau des derzeit vorhanden und seit Grubenöffnung bestehenden Absenkungstrichters erheblich kleiner sein werden.

Die Bilder 14.1-14.14 stellen für ausgewählte NAMMU-Läufe die Bilanzierung graphisch dar. Angegeben werden die Zuflüsse (Input=positive Werte) und Abflüsse (Output=negative Werte) über die das Endlager charakterisierenden Flächen finiter Elemente.

Die Flüsse über die Flächen mit den Nummern 2, 7 und 13 charakterisieren Zu- bzw. Abstrom aus dem Endlager über das Deckgebirge für den westlichen, östlichen und südlichen Endlagerbereich. Die Flächennummern 3, 8 und 14 zeigen den Fluß in das

Liegende bzw. aus dem Liegenden an.

Für den Lauf 20 zeigt das Bild 14.2 einen erhöhten Einstrom von $204 \text{ m}^3/\text{a}$ aus dem Hangenden in das westliche Endlager und einen annähernd gleichen Abstrom in das Liegende. Wie differenziert diese Zu- und Abströme für die Endlagerbereiche zu sehen sind, erkennt man im Abstrom von $120 \text{ m}^3/\text{a}$ aus dem östlichen Endlager in das Hangende bei gleichzeitigem geringen Einstrom aus dem Liegenden. Ein weiterer Zu- strom in das Endlager erfolgt aus dem Westen und Süden in den westlichen und aus Westen und dem Liegenden in den südlichen Endlagerbereich. Der Abstrom erfolgt in das Hangende und über die Ostseite des östlichen Endlagers.

Alle Beispiele der Endlagerbilanzierung, die in den Bildern 14.1.-14.14 grafisch dargestellt wurden, sind in der Tabelle 3 zusammen mit anderen Ergebnissen der Plausibilitätsbetrachtung aufgelistet. Die Endlagerdurchflüsse liegen zwischen 590 und $5.890 \text{ m}^3/\text{a}$ und damit weitab von den derzeit gemessenen Grubenzuflüssen. Die berechneten Endlagerzuflüsse liegen in ihrer Schwankungsbreite im Bereich von schon früher über Modellrechnungen des Antragstellers berechneten und von den geologischen Gutachtern als möglich empfundenen Werten.

Für die Particle Tracking Rechnungen geben die Flüsse die Startrichtung der in diesem Bereichen gestarteten Partikel an. Sie wurden für ausgewählte Läufe in Form von richtungsabhängigen Darcy-Geschwindigkeiten überprüft. Die Richtungskomponenten der Startgeschwindigkeiten der einzelnen 15 Startpunkte zeigen an, wie ein Partikel das Endlager verläßt. Jedoch ist der Einfluß auf den nachfolgenden Laufpfad, d.h. auf den Gesamtlaufweg meist gering.

Eine weitere meßbare Größe, die zur Plausibilitätsbetrachtung herangezogen werden kann, ist die Altersbestimmung der Grubenwässer. Sie kann mit den berechneten Transportzeiten von Wässern aus den Wiederergänzungsgebieten zum Endlager für die verschiedenen NAMMU-Läufe verglichen werden. Die kürzesten Transportzeiten vom Modellwiederergänzungsgebiet zum Endlager können durch eine Speisung über das Deckgebirge und damit aus dem Hilssandstein oder über eine Speisung aus dem Liegenden und damit über den Oberen Keuper und/oder Oberen Muschelkalk erfolgen. Deshalb wurde für die ausgewählten NAMMU-Läufe eine solche Transportzeitabschätzung durchgeführt. Hierzu wurde in einem ersten Schritt das Druckgefälle über dem Endlager betrachtet. Wurde ein Druckabbau vom Hilssandstein zum Endlager und damit ein Zufluß aus dem Deckgebirge festgestellt, so konnte für die kürzeste Distanz über die Druckpotentiale der Knotenpunkte längs des Weges zum Wiederergänzungsgebiet die Grundwassertransportzeit berechnet werden.

Für ein Druckgefälle vom Liegenden zum Endlager wurde gleiches für den Transportweg durch den Oberen Keuper (Rhät) errechnet. Für den Fall, daß ein Druckgefälle sowohl aus dem Deckgebirge als auch aus dem Liegenden besteht, wurden beide Transportwege berechnet.

Als Ergebnis dieser Betrachtung wurden in Tabelle 3 für einige ausgewählte Läufe (Partikellaufzeiten vom Endlager zur Modelloberfläche kleiner 300.000 Jahre) die Transportzeiten eines Grundwasserpartikels zum Endlager über die Wege Rhät (17) und Hilsandstein (6) dargestellt. Die Laufzeiten zum Endlager variieren zwischen 14.300 und 301.000.000 Jahren, wobei die kürzesten Zulaufzeiten zum Endlager meist über das Hangende und damit dem Hilsandstein auftreten.

Die Diskussion über die Genese von Tiefenwässern aus der Schachanlage Konrad /EU 312/ lassen keine eindeutige Altersbestimmung der Wässer zu. Als wahrscheinlich werden Alter von mehreren Hunderttausend bis Millionen von Jahren angesehen, jedoch ist eine mögliche Zumischung von meteorischen bzw. Ablaugungswässern strittig. Die geringen bzw. nicht vorhandenen C14 Konzentrationen in den gefundenen Wässern lassen die berechnete Laufzeit von 13.000 fraglich erscheinen. Darüberhinaus können die anderen berechneten Laufzeiten als plausibel angesehen werden, da sie rechnerisch der Diskussion der Genese der Wässer entsprechen.

8 Aussagen der probabilistischen Unsicherheits-Analyse für den Standort Konrad

Rechenmodelle wie NAMMU sind i.a. deterministisch und liefern ein numerisches Ergebnis z. B. eine Druckverteilung, einen Zeitverlauf pro Partikel. Mittels der probabilistischen Unsicherheitsanalyse erhält man dagegen Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Ergebnisse. Dadurch kommt der Einfluß des auf Modell- und Parameterebene quantifizierten und per subjektiver Wahrscheinlichkeitsverteilung repräsentierten Kenntnisstandes zum Ausdruck. Dies ermöglicht quantitative Unsicherheitsaussagen und quantitative Sensitivitätsaussagen (vgl. Abschnitte 2.1 und 2.2). Ein Versuch, solche Aussagen mittels der von NAMMU berechneten Ergebnisse zu erhalten, soll nachfolgend aufgezeigt werden.

8.1 Die Unsicherheitsaussage

Aus den in den vorherigen Kapiteln beschriebenen 59 Rechnungen (Stichprobe) mit dem Programm NAMMU und den im Abschnitt 2 beschriebenen statistischen Methoden läßt sich unter den obengenannten Beschränkungen folgende Aussage zur Unsicherheit der kleinsten Partikellaufzeit machen:

Man kann zu mindestens 95 % sicher sein (obwohl nur 59 Rechenläufe durchgeführt wurden), daß die kürzeste Laufzeit (unter den 15 Startpunkten) mit 95 % subjektiver Wahrscheinlichkeit über 13000 Jahren liegt. Der 50%- oder Medianwert der Stichprobe von 59 kürzesten Laufzeiten liegt bei ca. 560.000 Jahren.

8.2 Die Sensitivitätsaussage

Die Sensitivitätsaussage wird in Form einer Rangfolge der quantifizierten Unsicherheiten hinsichtlich ihres Beitrages zur Ergebnisunsicherheit gemacht. Ist die Antwort auf die Fragestellung ein Zeitverlauf, so ist die Rangfolge an jedem ausgewählten Zeitpunkt erhältlich. Sie gibt damit Auskunft über die zeitliche Entwicklung der Bedeutung der betreffenden Unsicherheit. Aufgrund des simulativen Vorgehens stehen für die der Rangfolge zugrundeliegenden Sensitivitätsmaße nur Schätzwerte zur Verfügung. Aus der Rangfolge läßt sich ablesen, bei welchen unsicheren Parametern der Kenntnisstand vorrangig zu verbessern ist, wenn es darum geht, eine möglichst effektive Reduktion der Ergebnisunsicherheiten zu erreichen.

Aufgrund des komplexen Aufbaus des Rechenmodells zum Standort Konrad wurde eine Sensitivitätsanalyse in zwei Schritten durchgeführt. Im einem ersten Schritt wurde als die interessierende Ergebnisgröße die aus den NAMMU-Simulationen direkt gewonnene Lösung des Druckfeldes genommen. In einem zweiten Schritt wurden die aus dem Druckfeld abgeleiteten interessierenden Ergebnisgrößen: nämlich Laufzeiten eines jeden der 15 Partikel, kürzeste Laufzeiten, Laufstrecken aller Partikellaufwege und die Laufpfadgruppen der Analyse unterzogen.

8.2.1 Druckpotentiale

Zur Analyse der sensitiven Parameter der Druckfeldberechnung wurden in den ersten beiden Schritten des Modells die Druckpotentiale an 150 Knotenpunkten bestimmt. Im Ergebnis der Analyse zeigten sich für verschiedene Knotenpunkte unterschiedliche

Rangfolgen der beeinflussenden Parameter. Die Bedeutung der Unsicherheit für das Druckpotential an einem Punkt eines bestimmten Parameters wird umso größer je geringer die räumliche Entfernung des Knotenpunktes von der hydrogeologischen Einheit ist, deren hydraulische Wirksamkeit eben durch jenen Parameter beschrieben wird. Das heißt, in den meisten Fällen hat für das Druckpotential in den Knotenpunkten eines Elements die Unsicherheit jenes Parameters die größere Bedeutung, der die Hydraulik in diesem Element beschreibt. Jedoch treten auch Parameter auf, die eine hohe Bedeutung für das Druckpotential einer größeren Anzahl von Knotenpunkten besitzen. Hierzu gehören die Einheiten 21 = Oberer Muschelkalk und 18 = Vertikal-komponente des Durchlässigkeitsbeiwertes des Rhät. Einige Parameter weisen ein negatives Sensitivitätsmaß auf, d.h. sie verhalten sich tendenziell umgekehrt (steigender Parameterwert erzeugt tendenziell fallendes Druckpotential an einem bestimmten Knotenpunkt). Dies trifft für die Einheit 5 = Alb an vielen Knotenpunkten in hohem Maße zu. Insgesamt zeigt sich aber kein Parameter, der in jedem der 150 Knotenpunkte in der Rangfolge dominiert. Damit läßt sich kein übergeordneter Parameter für das Gesamtlösungsfeld Druck finden. Vielmehr sind die Rangfolgen raumabhängig, oder aber alle Parameter tragen in gleicher Weise zur Unsicherheit bei.

8.2.2 Laufwege, Laufzeiten, Laufpfadgruppen

Bei der Analyse der vom Druckfeld abgeleiteten Größen der Darcygeschwindigkeiten und der durch sie bestimmten Laufwege, Laufzeiten und Laufpfade wurde kein dominierender unsicherer Parameter gefunden.

9 Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Referenzdatensatzes und seiner Berechnungsergebnisse

9.1 Referenzdatensatz

Die Kennwerte des Referenzdatensatzes sind nach Aussagen des geologischen Gutachters NLFb jene aus der Schwankungsbreite von gemessenen bzw. der Literatur entnommener Kenndaten, die sie für das Modellgebiet am wahrscheinlichsten halten oder konservativ abgeschätzt haben, ermittelt. Wie die Ausspielung über das SRS-Verfahren zeigte, reihen sie sich gut in die Verteilung der ausgespielten Parameter-

werte ein und beschreiben meist den Bereich der Verteilung mit den laufzeitverkürzenden, höheren Durchlässigkeitsbeiwerten und Porositäten.

9.2 Laufpfade, Laufzeiten, Lauflängen

Die Ergebnisse hinsichtlich der Laufpfade zeigen, daß der im Referenzfall ausgewiesene charakteristische Laufpfad 3 mit dem Maximum der Laufpfade (über 50% aller Laufpfade) in den 59 Rechenläufen zu je 15 Partikelstartpunkten übereinstimmt. Die Überprüfung der Repräsentativität der Partikelstartpunkte für den Referenzlauf zeigt weiterhin, daß auch mit erheblich mehr Startpunkten kein Laufweg mit einer Laufzeit kleiner als der für den Referenzfall berechneten auftritt. Ein Ausbreitungsweg aus dem Endlager direkt über das Deckgebirge ist in den Ergebnissen relativ selten und entspricht damit der Aussage des geologischen Gutachters /NLfB 93/. Die überwiegende Mehrzahl der Laufwege ist der Laufpfadgruppe Ausbreitung über das Liegende zuzuordnen. Der im Referenzfall als charakteristisch für die potentielle Ausbreitung von Radionukliden aus dem Endlager bezeichnete Laufpfad mit der kürzesten Laufzeit gehört zu dieser Gruppe. Lauflängen mit mehr als 30 Kilometer Länge sind am häufigsten und charakterisieren gleichzeitig die berechneten Lauflängen der 59 Simulationen sowie die des Referenzfalles. Die kürzeste Laufzeit im Referenzlauf liegt mit 320.000 a deutlich unter dem Medianwert der kürzesten Laufzeiten (Bild 9). Unter Berücksichtigung der Einschätzung des geologischen Gutachters bezüglich der GW-Geschwindigkeit bei Berücksichtigung der Salinität (Kap. 1) ist der Referenzdatensatz bzgl. der Partikellaufzeiten als konservativ einzuschätzen.

9.3 Grundwasserfluß

Für das Gesamtergebnis spielt nicht nur die absolute Höhe des Grundwasserflusses durch eine Einheit, die das Modellgebiet mit Grundwasser speist, eine entscheidene Rolle sondern auch die Kombination von Grundwasserflüssen durch Aquifere und Aquitarden. In den meisten der 59 Rechenläufe ergibt sich, daß der Grundwasserdurchstrom durch das Endlager gesteuert wird durch den Zufluß aus dem Deckgebirge (Wasserbringer ist der Hilssandstein) und dem Abfluß über das Liegende. In einigen Rechenläufen ergibt sich ein Zustrom über das Liegende (Wasserbringer sind der Obere Keuper und/oder der Obere Muschelkalk) und der Abfluß über das Deckgebirge. Ein weiterer Fall existiert im Zufluß sowohl aus dem Deckgebirge als auch über

das Liegende bei gleichzeitigem Abstrom über die Endlagerformation Oxford. Für jede dieser drei Ab- und Zuflußbedingungen sind bestimmte Laufpfade charakteristisch, wobei jedoch die Laufzeiten innerhalb der Pfade wiederum von den Kennwerten der durchlaufenen Schichten abhängen. Auch hier gilt die Einschätzung des geologischen Gutachters bezüglich deutlich geringerer Strömungsgeschwindigkeiten und Einstromgrößen bei Berücksichtigung der Salinität, so daß der Referenzdatensatz als ausreichend konservativ anzusehen ist.

9.4 Sensitivitätsaussagen

Unsichere Parameter, die dominant zur Unsicherheit der kürzesten Laufzeiten beitragen, konnten anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht identifiziert werden. Verschiedene Ursachen sind denkbar. So kann z. B. die geringe Anzahl von Rechenläufen (59) in Verbindung mit der Komplexität dreidimensionaler Endlagerstandortmodelle dafür verantwortlich sein.

Sensitivitätsanalysen an dreidimensionalen Endlagerstandortmodellen mit der damit verbundenen Komplexität entsprechen unseres Erachtens nicht dem Stand der Technik. Hierzu werden derzeit im nationalen und internationalen Rahmen Forschungsvorhaben durchgeführt.

10 Literaturverzeichnis

- /EU 312/ Hydrologie im Gebiet der Grube Konrad BGR
"Zur Genese der Tiefenwässer aus der Grube Konrad"
(Bd. 1 Text, Bd. 2 Anlagen)
Arch.-Nr. 107 759
9K/-/HG/RB/0046/00
- /GOO 87/ Goodwin, B.W.:
Application of SYVAC to the Canadian Concept for Nuclear Fuel Waste
Disposal
NEA-Workshop on Uncertainty Analysis for Performance Assessments of
Radioactive Waste Disposal Systems
Seattle, USA, Feb. 1987
- /GRS 88a/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit
Bogorinski, P., Larue, J.:
Probabilistische Methoden in der Sicherheitsbeurteilung von Endlagern
Radioaktiver Abfälle
Statusbericht
GRS-A-1458 (Juni 1988)
- /GRS 88b/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit
Krzykacz, B.:
"Medusa 01" - Ein Programm zur Generierung von "Simple Random" -
und "Latin Hypercube" - Stichproben für Unsicherheits- und Sensitivitäts-
analysen von Ergebnissen umfangreicher Rechenmodelle
GRS-A-1496 (Dezember 1988)
- /GRS 90/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit
Baltes, B., Bogorinski, P., Larue, J.:
Zwischenbericht zur Begutachtung des Endlagers für radioaktive Abfälle
Schachtanlage Konrad Salzgitter
GRS-A-1730 (November 1990)

- /GRS 91/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit**
Baltes, B., Bogorinski, P., Larue, J.:
Grundwassermodellrechnungen mit dem Programm NAMMU
Basisfall
GRS-A-1858 (Dezember 1991)
- /GRS 92/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit**
Hofer, E., Krzykacz, B.:
Bewertung von statistischen Methoden für Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern
GRS-A-1882 (Februar 1992)
- /GRS 93a/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit**
Hofer, E.:
Probabilistische Unsicherheitsanalyse von Ergebnissen umfangreicher Rechenmodelle
GRS-A-2002 (Januar 1993)
- /GRS 93b/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit**
Larue, J., Baltes, B.:
Langzeitsicherheitsanalysen für das Endlager Konrad
Referenzfall
Grundwassermodellrechnungen mit dem Programm NAMMU
GRS-A-2050 (April 1993)
- /GRS 93c/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit**
Baltes, B., Larue, J.:
Langzeitsicherheitsanalyse für das Endlager Konrad
Referenzfall
Nuklidtransportrechnungen
Textband
GRS-A-2052 (April 1993)

- /NLfB 90/ Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung**
Eckl, H., Goldberg, G., Neuß, M.:
Hydrogeologische Vorgaben für Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit
(Modellgebiet Grube Konrad)
Archivnummer 107 447, 05.10.90
- /NLfB 92/ Schreiben des NLfB vom 09. 06. 1992 N3-2048/92-Si/Be**
Planfeststellungsverfahren Grube Konrad, hier: Langzeitsicherheit: Alte
Bohrungen/Schachtverschluß; Gastransport; Datensatz; Probabilistische
Modellrechnungen
- /NLfB 93/ Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung**
Kliem, C., Neuß, M.:
Abschätzung der Regenerationsrate im Hilssandstein für das Modellgebiet
KONRAD
Archiv-Nr. 111 152, 02.08.93

Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 1:** Definition der charakteristischen Laufpfade und ihre Abfolge von durchlaufenen Einheiten
- Tabelle 2a:** Auswertung der Partikellaufzeit in Jahren der einzelnen Läufe (Stichprobenumfang 900)
- Tabelle 2b:** Auswertung der Partikellaufweiten in Meter der einzelnen Läufe (Stichprobenumfang 900)
- Tabelle 3:** Ergebnisse der Auswertung von NAMMU-Rechenläufen zur Plausibilitätsbetrachtung: Endlagerdurchfluß, Grundwasserwiederergänzung über die Schichten Hils=6, Oberer Keuper=17, Oberer Muschelkalk=19, Laufzeitberechnung von Wiederergänzungsgebiet zum Endlager

Verzeichnis der Bilder

- Bild 1:** Modellgebiet Konrad, FE-Gitter des Programms NAMMU
- Bild 2.1:** Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur Ursprungsverteilung nach /NLFB 92/ für die Einheit 8 (Wealden, südlicher Bereich)
- Bild 2.2:** Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur Ursprungsverteilung nach /NLFB 92/ für die Einheit 9 (Wealden, nördlicher Bereich)
- Bild 2.3:** Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur Ursprungsverteilung nach /NLFB 92/ für die Einheit 10 (Kimmeridge)
- Bild 2.4** Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur Ursprungsverteilung nach /NLFB 92/ für die Einheit 11 (Oxford)
- Bild 3.1-3.3:** Trajektorienberechnungen der "Partikelwolke, Referenzfall": Seitenansicht des 3D-Modells; Startpunkte: südliches, nordöstliches und nordwestliches Endlager
- Bild 4.1-4.3:** Trajektorienberechnungen des Referenzfalles: Seitenansicht des 3D-Modells; Startpunkte: südliches, nordöstliches und nordwestliches Endlager
- Bild 5:** Vergleich der Pfadgruppenverteilung der Läufe "Partikelwolke" (n=145) und "Referenzfall" (n=15)
- Bild 6.1-6.2:** Auswertung der Partikellaufzeiten der 59 Rechenläufe (Stichprobenumfang 885) sowie des Referenzfalles (bc)
- Bild 7:** Histogramm der Relativedurchlässigkeiten (k_f/n_{eff}) der hydraulischen Einheiten 1-19 und für die Rechenläufe 20, 22, 41, 46, 47 und des Referenzfalles

- Bild 8.1-8.10:** Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 1-59
- Bild 9:** Empirische Verteilungsfunktion der alternativen kürzesten Laufzeiten aus 59 Rechenläufen
- Bild 10.1:** Histogramm der alternativen kürzesten Laufzeiten aus 59 Rechenläufen in Abhängigkeit der Laufpfadgruppen
- Bild 10.2:** Histogramm (kumulativ) der alternativen kürzesten Laufzeiten aus 59 Rechenläufen in Abhängigkeit der Laufpfadgruppen
- Bild 11:** Vergleich der Histogramme der Pfadgruppen für die Fälle "alle Trajektorien (= 885 Läufe)" und "kürzeste Trajektorie eines jeden Rechenlaufs (= 59 Läufe)"
- Bild 12:** Histogramme für die Anzahl der Trajektorien in Abhängigkeit von den Laufpfadgruppen für die Fälle "alle Trajektorien (=885 Läufe)" und "kürzeste Trajektorie eines jeden Rechenlaufs (= 59 Läufe)"
- Bild 13.1:** Relative Häufigkeit der drei Gruppen von Partikelstartpunkten (Stichprobenumfang = 900) über der Partikellaufzeit
- Bild 13.2:** Kumulative Häufigkeit der drei Gruppen von Partikelstartpunkten (Stichprobenumfang = 900) über der Partikellaufzeit
- Bild 14.1-14.14** GW-Flußbilanzierungen der einzelnen Teilflächen des Endlagers für die Läufe 17-51 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)

ANHANG

Tab.1: Definition der charakteristischen Laufpfade und ihre Abfolge von durchlaufenen Einheiten.

Pfad 1	Oxford/Kimmeridge-Wealden-Quartär
Pfad 2	Oxford/Kimmeridge-Cornbrash-Wealden-Quartär
Pfad 3	Oxford/Kimmeridge-Cornbrash-Dogger β -Wealden-Quartär
Pfad 4	Oxford/Kimmeridge-Dogger β -Wealden-Quartär
Pfad 5	Oxford/Kimmeridge-Ob.Keuper-Ob.Muschelkalk-Wealden-Quartär
Pfad 6	Oxford/Kimmeridge-Hils-Quartär
Pfad 7	Oxford/Kimmeridge-Hils-Unterkreide-Alb-Quartär
Pfad 8	Oxford/Kimmeridge-Unterkreide-Alb-Quartär
Pfad 9	Oxford/Kimmeridge-Cornbrash-Dogger β -Räth-Wealden-Quartär

Tab. 2a: Auswertung der Partikellaufzeiten in Jahren der einzelnen Läufe (Runs) (Stichprobenumfang 900)

Run	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Run01	6 980 000	5 600 000	2 520 000	6 330 000	2 830 000	3200000	1410000	1,57E+7	1,92E+7	4 280 000	7 550 000	2 150 000	2 050 000	1,39E+7	7 920 000
	5 190 000	740 000	2 550 000	742 000	2 630 000	2 540 000	3200000	3 820 000	1 520 000	2 000 000	3 210 000	613 000	491 000	455 000	808 000
	5 500 000	1 400 000	4 110 000	1 150 000	7 890 000	9 170 000	3,17E+7	1,17E+7	3 510 000	1 800 000	938 000	6 980 000	637 000	1,31E+7	2 280 000
	6 180 000	490 000	6 610 000	1 700 000	2 890 000	2,39E+7	512000	1 690 000	1 740 000	1 690 000	1 860 000	1 050 000	1 430 000	1 630 000	4 590 000
	1 100 000	990 000	1 330 000	3 290 000	3 170 000	1 010 000	2,82E+7	9 290 000	5 260 000	8 630 000	2 800 000	2 130 000	2 300 000	5 240 000	1 960 000
	1 600 000	6 340 000	1 640 000	1 780 000	1 780 000	1 900 000	570000	520 000	641 000	1 190 000	1 800 000	1 320 000	2 960 000	1 390 000	2 550 000
	4 940 000	3,16E+7	5 270 000	3,11E+7	1,2E+7	4 250 000	1,96E+7	8 120 000	5 620 000	8 400 000	3,16E+7	2,76E+7	1,66E+7	2,73E+7	1,95E+7
	1 280 000	734 000	1,01E+7	561 000	647 000	1 550 000	1820000	3 150 000	3 110 000	2 930 000	550 000	3 560 000	1 080 000	2 230 000	1 450 000
	2 660 000	2 930 000	4 000 000	1,97E+7	3 830 000	3 900 000	7650000	3 310 000	3 440 000	3 880 000	1,07E+7	105 000	2 990 000	3 470 000	2 950 000
Run10	1 980 000	2 990 000	2 100 000	1 680 000	1 690 000	1 780 000	1230000	915 000	882 000	978 000	1 590 000	1 820 000	1 500 000	1 560 000	2 690 000
	1 390 000	8 920 000	625 000	1 800 000	1 660 000	661 000	979000	5 700 000	1 790 000	1 430 000	1 790 000	1 410 000	1,49E+7	3 810 000	2 880 000
	3 600 000	4 300 000	1 280 000	3 650 000	3 150 000	3 310 000	2270000	2 950 000	2 950 000	2 550 000	3 770 000	3 130 000	1,13E+7	2 980 000	3 810 000
	1,17E+7	2 160 000	1 550 000	569 000	1 680 000	4 400 000	1860000	732 000	1 260 000	1 230 000	600 000	851 000	1 400 000	1 270 000	8 500 000
	423 000	390 000	403 000	1 700 000	460 000	410 000	1910000	5 010 000	1 140 000	1 870 000	1 800 000	1 040 000	1 090 000	986 000	1 640 000
	2 110 000	418 000	266 000	3 220 000	459 000	318 000	1260000	1 210 000	399 000	1 230 000	3 910 000	460 000	642 000	1 790 000	1 360 000
	4 170 000	1 540 000	7 440 000	3 000 000	6 080 000	6 420 000	7150000	3,05E+7	2,98E+7	3,1E+7	1 760 000	3 040 000	4 600 000	3,13E+7	7 560 000
	785 000	2 620 000	980 000	275 000	361 000	1 380 000	2010000	520 000	856 000	747 000	334 000	881 000	939 000	882 000	868 000
	8 460 000	4 800 000	4 500 000	1 450 000	3,15E+7	1 560 000	1,08E+7	4 290 000	1 840 000	2,42E+7	1 420 000	1 470 000	1 080 000	1 800 000	3,16E+7
	7 920 000	3 660 000	4 410 000	3 840 000	4 560 000	4 410 000	3,16E+7	1,09E+7	1,04E+7	7 690 000	1,02E+7	3,17E+7	470 000	9 640 000	6 660 000
Run20	4 190 000	1,52E+7	3 090 000	1 310 000	2 120 000	1 860 000	1130000	1 320 000	6 850 000	5 240 000	1 320 000	4 170 000	4 150 000	247 000	4 100 000

Tab. 2a: Auswertung der Partikellaufzeiten in Jahren der einzelnen Läufe (Runs) (Stichprobenumfang 900) (Fortsetzung)

Run	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Run21	2 680 000	640 000	2 600 000	4 830 000	2 400 000	4 920 000	2,97E+7	2 380 000	2 510 000	2 570 000	4 030 000	700 000	3 080 000	2 420 000	5 350 000
	288 000	7 640 000	489 000	290 000	2 600 000	867 000	1,58E+7	660 000	667 000	669 000	239 000	1 270 000	520 000	624 000	796 000
	724 000	1 220 000	874 000	7 620 000	874 000	881 000	5 390 000	640 000	826 000	651 000	1,14E+7	882 000	896 000	700 000	470 000
	1,16E+7	4 790 000	9 450 000	1 170 000	3 880 000	1 200 000	2 950 000	2,48E+7	80 000	6 670 000	142 000	1,22E+7	1,19E+7	88 100	1,16E+7
	2 420 000	7 800 000	2 340 000	1 630 000	3 610 000	8 480 000	9 510 000	1 830 000	2 380 000	396 000	1 090 000	1 100 000	7 490 000	2 180 000	7 220 000
	7 100 000	6 710 000	7 640 000	1 860 000	564 000	8 200 000	2 280 000	2,33E+7	3,12E+7	1,42E+7	1 810 000	3,01E+7	2,17E+7	1,4E+7	769 000
	4 210 000	1 510 000	1,04E+7	5 490 000	689 000	1,31E+7	2 770 000	2 980 000	1 920 000	1 600 000	4 660 000	1 200 000	1 180 000	1 600 000	430 000
	391 000	312 000	692 000	442 000	210 000	218 000	289 000	768 000	780 000	757 000	457 000	735 000	489 000	748 000	778 000
	3 100 000	1 450 000	1 500 000	1 230 000	1 620 000	1 460 000	8 010 000	3 920 000	2 990 000	4 020 000	1 210 000	1 340 000	227 000	3 960 000	4 290 000
Run30	6 640 000	2,96E+7	6 570 000	1 140 000	2,83E+7	1,74E+7	435 000	1,17E+7	2,53E+7	2,1E+7	3,17E+7	6 670 000	1,2E+7	1,21E+7	3 690 000
	905 000	743 000	1,29E+7	1 800 000	2 090 000	1,28E+7	1,43E+7	1 970 000	6 240 000	1,54E+7	1 930 000	1 840 000	3 500 000	44 000	3 870 000
	6 280 000	546 000	1 400 000	8 560 000	8 640 000	1,02E+7	1 510 000	4 530 000	4 590 000	346 000	848 000	127 000	3 980 000	4 370 000	4 190 000
	2 050 000	865 000	5 180 000	471 000	310 000	4 810 000	1,16E+7	1 290 000	1 410 000	1 680 000	305 000	1,25E+7	1 990 000	2 030 000	4 310 000
	6 520 000	4 900 000	1,48E+7	2 310 000	1,43E+7	1,43E+7	2 740 000	2 030 000	1 520 000	1 180 000	2 540 000	2 730 000	3 660 000	980 000	3 510 000
	1 240 000	337 000	5 360 000	325 000	1 170 000	333 000	1 760 000	2 040 000	5 550 000	1 790 000	1 250 000	604 000	1 530 000	1 040 000	918 000
	919 000	61 000	5 630 000	247 000	232 000	249 000	16 400	847 000	2 130 000	732 000	308 000	320 000	5 340 000	2 600 000	1,04E+7
	1,11E+7	1,91E+7	3,02E+7	5 320 000	1,86E+7	2,71E+7	2 340 000	3,09E+7	2,89E+7	2,69E+7	9 950 000	3 230 000	760 000	2 120 000	3 690 000
	1 310 000	1 180 000	2 410 000	1 820 000	2 320 000	1,13E+7	9 390 000	1 450 000	1 270 000	1 480 000	1 410 000	1,47E+7	9 470 000	1 120 000	1 250 000
	6 440 000	2 180 000	2 120 000	8 760 000	1 420 000	2 470 000	3 980 000	1 090 000	1 040 000	1 080 000	1 410 000	1 610 000	1 400 000	928 000	1 640 000
Run40	1,82E+7	3 180 000	3 350 000	7 170 000	2 910 000	2 740 000	961 000	1,86E+7	2,01E+7	8 850 000	1 980 000	7 510 000	7 690 000	898 000	1,52E+7
Run41	819 000	4 090 000	3,15E+7	247 000	123 000	1,75E+7	2 480 000	3 220 000	2 480 000	1 690 000	186 000	227 000	218 000	2 460 000	3 240 000

Tab. 2a: Auswertung der Partikellaufzeiten in Jahren der einzelnen Läufe (Runs) (Stichprobenumfang 900) (Fortsetzung)

Run	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Run42	1 210 000	1 850 000	458 000	1 240 000	1 310 000	831 000	1 850 000	4 150 000	3 230 000	2 550 000	1 190 000	1 140 000	642 000	4 620 000	744 000
	881 000	1 310 000	603 000	811 000	436 000	603 000	6 630 000	871 000	1 020 000	863 000	660 000	1 120 000	929 000	999 000	792 000
	2 340 000	9 420 000	935 000	1 790 000	1 160 000	980 000	1 470 000	2 950 000	646 000	965 000	1 790 000	1 100 000	3 170 000	1 180 000	1 180 000
Run45	1 540 000	13 000	458 000	1 070 000	921 000	972 000	3 590 000	3 810 000	3 790 000	3 830 000	6 820 000	1 710 000	1 250 000	5 180 000	2 080 000
	4 080 000	3 950 000	9 450 000	2 920 000	1 280 000	1,43E+7	602 000	191 000	188 000	1 140 000	2 970 000	141 000	1 530 000	540 000	1 540 000
	5 750 000	187 000	4 070 000	1 610 000	3 300 000	6 600 000	4 620 000	9 920 000	9 830 000	1,03E+7	1,29E+7	9 320 000	2,71E+7	1 440 000	2 440 000
	7 470 000	678 000	817 000	1 500 000	1 800 000	4 750 000	1 310 000	1,67E+7	2,32E+7	1,81E+7	1 300 000	1 180 000	1 680 000	1 280 000	1 260 000
	420 000	398 000	399 000	398 000	373 000	395 000	3 410 000	3,02E+7	3 240 000	3,06E+7	2,15E+7	2,96E+7	2 570 000	2,94E+7	2 170 000
Run50	9 410 000	4 140 000	3 730 000	1,07E+7	3 970 000	3 820 000	2,9E+7	707 000	1 190 000	729 000	3 380 000	2 230 000	2 210 000	2 680 000	1 920 000
	497 000	73 000	8 010 000	2 930 000	951 000	6 870 000	745 000	6 730 000	2,88E+7	2,82E+7	1 100 000	3,02E+7	6 340 000	2,79E+7	922 000
	9 690 000	1,05E+7	2,19E+7	8 720 000	3,14E+7	3,1E+7	6 700 000	7 770 000	7 950 000	7 920 000	8 850 000	5 300 000	3,14E+7	6 330 000	7 190 000
	1 210 000	2 340 000	1 600 000	1 230 000	2 620 000	2 490 000	6 870 000	991 000	994 000	996 000	1 240 000	1 380 000	4 580 000	973 000	6 580 000
	7 280 000	7 550 000	6 280 000	8 060 000	3 810 000	6 770 000	1 700 000	2 030 000	2 030 000	2 180 000	9 530 000	1 820 000	1 840 000	4 380 000	2 120 000
	1 090 000	4 140 000	863 000	1 010 000	4 180 000	933 000	1,69E+7	2,08E+7	1 090 000	2,41E+7	962 000	1 070 000	1,66E+7	2,2E+7	1 130 000
	1,45E+7	2 840 000	2 700 000	2 710 000	1,45E+7	2 730 000	2 680 000	2 060 000	5 910 000	6 240 000	2 450 000	7 110 000	3 750 000	7 540 000	2 600 000
	1 410 000	630 000	654 000	3 440 000	312 000	641 000	511 000	595 000	557 000	5 150 000	620 000	1 240 000	728 000	1 470 000	502 000
	4 640 000	2 710 000	1 530 000	408 000	1 470 000	449 000	1,99E+7	861 000	753 000	745 000	1 650 000	1 230 000	1 030 000	813 000	590 000
bc	874 000	2 580 000	2 220 000	5 480 000	2 200 000	2 200 000	9 660 000	3 670 000	3 650 000	533 000	4 980 000	4 270 000	1 010 000	460 000	1 170 000
	520 000	808 000	835 000	345 000	1 300 000	1 140 000	332 000	332 000	2 200 000	498 000	3 030 000	1,23E+7	504 000	455 000	947 000

Tab. 2b: Auswertung der Partikellaufwege in Metern der einzelnen Läufe (Runs) (Stichprobenumfang 900)

Run	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Run 01	22 493	23 656	15 273	20 916	14 162	14 378	617	32 722	33 274	32 358	22 743	23 404	21 251	33 479	1 631
	19 410	21 337	22 669	78 050	22 869	22 594	5 336	22 507	2 997	20 978	17 716	63 837	67 280	29 229	71 658
	33 190	30 983	30 474	24 735	31 070	30 446	807	5 609	31 669	30 803	27 489	30 237	30 216	5 020	2 491
	18 655	31 721	19 883	28 554	27 158	21 396	24 221	18 779	29 275	29 457	26 216	18 584	26 743	29 305	30 077
	31 142	28 369	31 711	25 764	31 613	31 274	1 433	33 236	33 493	33 151	30 482	32 014	29 312	33 235	31 199
	33 924	27 479	26 889	29 659	30 222	29 924	3 791	2 434	2 872	1 587	29 350	28 089	25 475	31 286	4 382
	32 141	6 668	32 344	6 281	28 792	32 873	31 132	33 112	33 187	32 782	5 345	6 776	30 695	7 791	29 727
	18 958	16 183	28 960	19 194	31 741	31 408	32 180	24 550	25 056	20 411	19 049	24 497	16 042	30 244	31 145
	34 946	31 662	32 487	30 482	20 636	13 850	1 829	4 017	3 804	4 301	30 533	2 380	2 203	3 779	2 356
Run 10	32 379	2 981	14 476	26 222	20 911	26 760	2 037	22 524	22 534	20 428	28 264	26 864	30 506	27 618	12 310
	27 543	7 463	30 483	40 566	16 460	27 173	337	25 086	10 942	30 840	29 424	28 637	1 790	10 413	30 736
	32 887	29 048	29 823	29 832	31 092	28 278	29 712	25 643	25 727	27 501	30 812	30 262	31 498	26 277	30 451
	32 631	25 389	27 760	28 586	24 986	28 706	29 842	20 864	22 836	7 495	26 681	31 593	28 536	19 323	28 548
	30 947	31 860	31 791	5 203	30 810	31 769	5 413	5 322	6 748	32 800	6 021	5 749	3 533	6 336	4 441
	23 177	32 802	8 581	26 978	32 326	10 917	29 605	24 841	29 147	24 665	29 061	16 405	30 063	28 906	25 370
	31 128	25 368	31 062	28 136	29 826	30 140	30 335	6 352	8 354	6 414	26 690	26 695	29 064	5 398	31 037
	31 873	15 882	26 855	22 990	27 461	29 845	33 034	33 188	33 083	33 222	26 720	28 941	25 814	32 475	29 643
	31 216	27 447	29 491	26 918	13 094	22 887	1 428	30 408	28 982	14 833	25 273	30 906	28 152	29 265	12 065
	27 788	20 790	31 104	27 833	30 967	30 991	1 564	27 895	24 667	26 459	29 231	2 170	32 180	15 016	26 155
Run 20	6 147	14 996	4 371	2 071	4 833	3 559	2 286	2 955	938	964	2 014	5 746	5 251	3 002	4 995
Run 21	31 176	30 564	28 979	30 442	31 197	12 639	1 604	25 848	22 543	24 998	29 441	30 278	29 807	26 868	1 179

Tab. 2b: Auswertung der Partikellaufwege in Metern der einzelnen Läufe (Runs) (Stichprobenumfang 900) (Fortsetzung)

Run	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Run 22	29 270	28 302	27 417	25 000	29 969	30 264	1 818	28 526	30 613	30 613	27 986	30 685	22 259	26 559	31 061
	26 970	27 646	21 319	24 492	30 857	30 757	17 781	27 487	27 587	31 074	25 437	21 631	11 819	31 296	11 092
	5 750	31 280	5 087	2 895	5 354	31 267	2 408	1 368	4 307	3 698	2 515	1 114	1 005	690	1 413
	33 125	31 263	31 060	32 302	30 064	31 131	723	27 181	30 239	26 016	17 877	4 002	2 773	28 681	1 577
	21 761	25 730	24 228	23 634	26 383	23 990	10 633	17 174	9 000	9 250	24 500	15 795	17 147	14 632	22 185
	16 513	27 147	9 763	5 950	4 434	10 808	1 217	6 886	2 965	3 966	10 961	4 408	3 520	2 885	3 008
	30 071	13 016	26 800	29 013	27 257	25 025	31 671	31 840	32 082	31 708	28 956	27 961	31 825	30 753	30 096
	23 441	28 901	30 091	31 077	29 878	29 465	3 728	5 795	6 228	6 817	31 339	3 463	3 542	6 966	5 142
Run 30	11 490	5 472	10 420	20 120	7 485	9 629	1 446	13 210	13 740	9 467	5 210	13 074	16 403	17 988	4 379
	1 375	7 085	29 521	4 088	5 046	21 750	1 470	3 273	4 796	2 408	4 391	3 104	5 102	3 846	4 913
	3 820	13 655	28 660	13 712	24 475	10 263	2 680	3 276	2 606	2 199	9 010	3 553	3 237	1 808	4 943
	33 647	32 373	32 690	13 490	32 285	30 948	1 134	33 210	31 710	16 609	24 578	31 275	4 356	5 430	1 742
	27 497	18 827	21 651	25 138	30 606	21 788	7 739	18 830	21 584	26 195	24 689	25 357	17 782	27 261	20 937
	18 250	31 450	28 940	30 514	23 790	29 300	14 580	18 880	18 300	19 830	27 600	17 650	27 740	31 170	19 190
	30 696	20 605	30 649	29 548	29 652	27 702	227	18 547	4 972	32 159	30 912	31 332	6 159	4 484	2 262
	29 773	30 695	4 062	28 855	29 648	34 558	31 145	3 461	3 600	29 733	27 304	29 106	31 148	28 631	30 232
	27 461	29 793	31 093	30 054	28 881	29 417	22 095	29 718	32 873	20 354	28 593	19 493	31 699	32 704	31 475
	25 856	30 073	29 354	10 597	29 940	25 402	7 377	28 969	25 400	28 461	22 819	29 092	12 817	26 224	26 764
Run 40	32 033	28 377	30 653	27 459	26 236	24 600	17 911	30 776	30 525	30 082	26 063	29 685	30 032	31 458	30 135
	28 406	29 313	20 230	31 485	26 862	23 532	31 217	28 951	32 494	29 562	31 296	29 026	26 286	28 998	2 670
Run 42	31 482	31 067	31 906	31 875	31 703	31 333	3 085	20 180	2 991	31 795	31 273	30 394	31 083	20 272	30 930

Tab. 2b: Auswertung der Partikellaufwege in Metern der einzelnen Läufe (Runs) (Stichprobenumfang 900) (Fortsetzung)

Run	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Run 43	27 958	27 208	27 887	29 973	25 660	30 542	30 968	29 252	28 184	24 156	32 271	31 985	28 097	28 053	10 543
	32 486	26 652	28 013	29 812	32 841	29 474	493	10 497	807	27 601	29 577	29 267	3 837	30 506	30 950
Run 45	30 238	34 800	25 873	27 947	20 067	27 423	4 272	23 282	25 674	25 760	15 615	1 711	365	16 887	4 290
	28 852	30 382	28 602	29 431	32 580	29 698	2 281	1 651	1 475	2 343	26 190	3 412	4 090	2 148	3 172
	15 745	30 510	28 164	30 014	29 096	29 646	24 121	28 124	23 574	28 588	28 307	25 748	29 576	32 042	5 373
	32 978	31 745	30 909	32 452	32 534	29 849	32 803	29 878	18 818	30 399	28 702	25 214	30 120	32 421	30 494
	32 060	31 464	31 349	30 883	28 126	31 250	2 844	17 190	8 342	17 106	16 339	15 349	6 423	16 405	4 989
Run 50	22 424	29 159	21 620	17 913	30 094	27 310	15 434	18 870	27 970	22 670	18 361	27 813	27 759	29 449	29 654
	28 865	31 960	29 410	28 652	29 675	30 582	26 153	15 841	15 969	16 284	28 285	9 141	15 588	15 576	19 635
	30 893	33 655	94 821	30 940	11 592	12 191	21 417	23 822	27 499	27 469	27 075	25 781	1 098	30 345	25 734
	28 926	29 166	31 796	25 332	31 282	33 648	930	30 513	30 204	31 170	29 246	30 703	6 367	30 049	28 890
	29 501	28 736	29 664	29 313	22 020	28 522	32 567	32 394	32 297	32 290	28 460	30 768	30 989	31 424	30 784
	30 297	25 846	28 631	29 442	28 564	27 780	3 227	15 205	29 762	15 839	26 843	29 749	15 517	14 242	2 461
	25 622	27 955	17 099	26 729	25 258	17 684	29 471	25 175	24 767	30 880	27 502	22 522	29 483	25 384	28 338
	5 461	31 468	31 458	7 729	23 361	30 519	2 427	1 464	3 197	4 765	28 776	3 119	3 600	6 726	1 291
	29 777	28 116	29 195	30 241	29 726	30 178	1 666	31 431	29 929	24 715	28 948	29 760	29 499	24 599	27 945
	23 722	23 366	23 100	22 483	23 214	23 219	31 079	30 978	30 996	10 897	25 840	28 448	29 872	24 089	21 544
bc	29 897	32 237	18 149	29 121	29 723	29 305	25 902	28 010	6 416	24 388	14 171	2 765	24 283	23 664	22 566

Tab. 3: Ergebnisse der Auswertung von NAMMU-Rechenläufen zur Plausibilitätsbetrachtung, Endlagerdurchfluß, Grundwasserwiederergänzung über die Schichten Hils=6, Oberer Keuper=17, Oberer Muschelkalk=19, Laufzeitberechnung von Wiederergänzungsgebiet zum Endlager

Lauf Nr.	kürzeste Laufzeit a	Pfad Nr.	EL-Durchfluß m³/a	Wiederergänzung in m³/a			Laufzeit in a zum EL über	
				6	17	19	6	17
1	2 050 000	3						
2	808 000	9						
3	1 150 000	3						
4	490 000	1						
5	990 000	3						
6	570 000	6						
7	4 250 000	9						
8	550 000	2						
9	105 000	7						
10	882 000	3						
11	625 000	3						
12	1 280 000	3						
13	600 000	3						
14	390 000	2						
15	418 000	1						
16	1 760 000	3						
17	299 000	2	2 418	5,82 E+5	4,93 E+4	1,92 E+5		3,01 E+8
18	1 080 000	3						
19	470 000	1						
20	247 000	6	587	3,10 E+5	4,10 E+4	5,94 E+5		2,65 E+5
21	640 000	9						

Tab. 3: Ergebnisse der Auswertung von NAMMU-Rechenläufen zur Plausibilitätsbetrachtung, Endlagerdurchfluß, Grundwasserwiederergänzung über die Schichten Hils=6, Oberer Keuper=17, Oberer Muschelkalk=19, Laufzeitberechnung von Wiederergänzungsbereich zum Endlager (Fortsetzung)

Lauf Nr.	kürzeste Laufzeit a	Pfad Nr.	EL-Durchfluß m³/a	Wiederergänzung in m³/a			Laufzeit in a zum EL über	
				6	17	19	6	17
22	290 000	3	998	7,03 E+5	1,84 E+4	9,49 E+4	1,02 E+5	6,82 E+7
23	812 000	3						
24	80 500	6	1 124	3,46 E+5	4,55 E+2	6,43 E+5		
25	1 100 000	3						
26	564 000	3						
27	430 000	7						
28	213 000	2	1 320	3,63 E+5	9,03 E+3	3,79 E+4	1,16 E+5	2,72 E+5
29	227 000	7	590	1,80 E+5	1,44 E+3	4,41 E+5		8,69 E+5
30	435 000	6						
31	44 000	6	1 897	3,39 E+5	4,94 E+4	7,00 E+5		4,6E+5
32	127 000	7	706	5,05 E+5	2,32 E+4	8,94 E+5	1,78 E+5	1,94 E+5
33	310 000	1						
34	980 000	3						
35	325 000	2						
36	61 000	1	5 890	3,83 E+5	2,76 E+4	1,08 E+5	1,8E+6	3,86E+4
37	760 000	1						
38	1 120 000	2						
39	928 000	3						
40	961 000	3						
41	126 000	1	5 029	3,84 E+5	1,64 E+4	1,33 E+4	4,74 E+4	
42	458 000	2						

Tab. 3: Ergebnisse der Auswertung von NAMMU-Rechenläufen zur Plausibilitätsbetrachtung, Endlagerdurchfluß, Grundwasserrückergänzung über die Schichten Hils=6, Oberer Keuper=17, Oberer Muschelkalk=19, Laufzeitberechnung von Rückergänzungsbereich zum Endlager (Fortsetzung)

Lauf Nr.	kürzeste Laufzeit a	Pfad Nr.	EL-Durchfluss m ³ /a	Rückergänzung in m ³ a			Laufzeit in a zum EL	
				6	17	19	6	17
43	603 000	3						
44	935 000	3						
45	13 000	1	1 487	2,90 E+5	6,32 E+4	1,05 E+5	1,43E+4	3,53E+5
46	141 770	6	1 565	1,44 E+5	1,94 E+4	1,10 E+5	7,96 E+5	1,24 E+6
47	196 000	9	1 233	2,97 E+5	2,50 E+4	4,97 E+4	6,52 E+4	7,30 E+5
48	678 000	1						
49	373 000	1						
50	1 190 000	3						
51	73 000	1	1 099	1,49 E+5	1,47 E+3	6,09 E+4	8,06E+4	3,7E+6
52	5 300 000	3						
53	973 000	3						
54	1 700 000	3						
55	863 000	3						
56	2 600 000	3						
57	428 000	7						
58	408 000	3						
59	460 000	3						
Basistfälle								
Gutacht.	449 000	2	2 990		1,18 E+5	6,05 E+4		
neu	316 000	3	1 810	7,18 E+5	5,81 E+4	1,20 E+5	5,42 E+4	

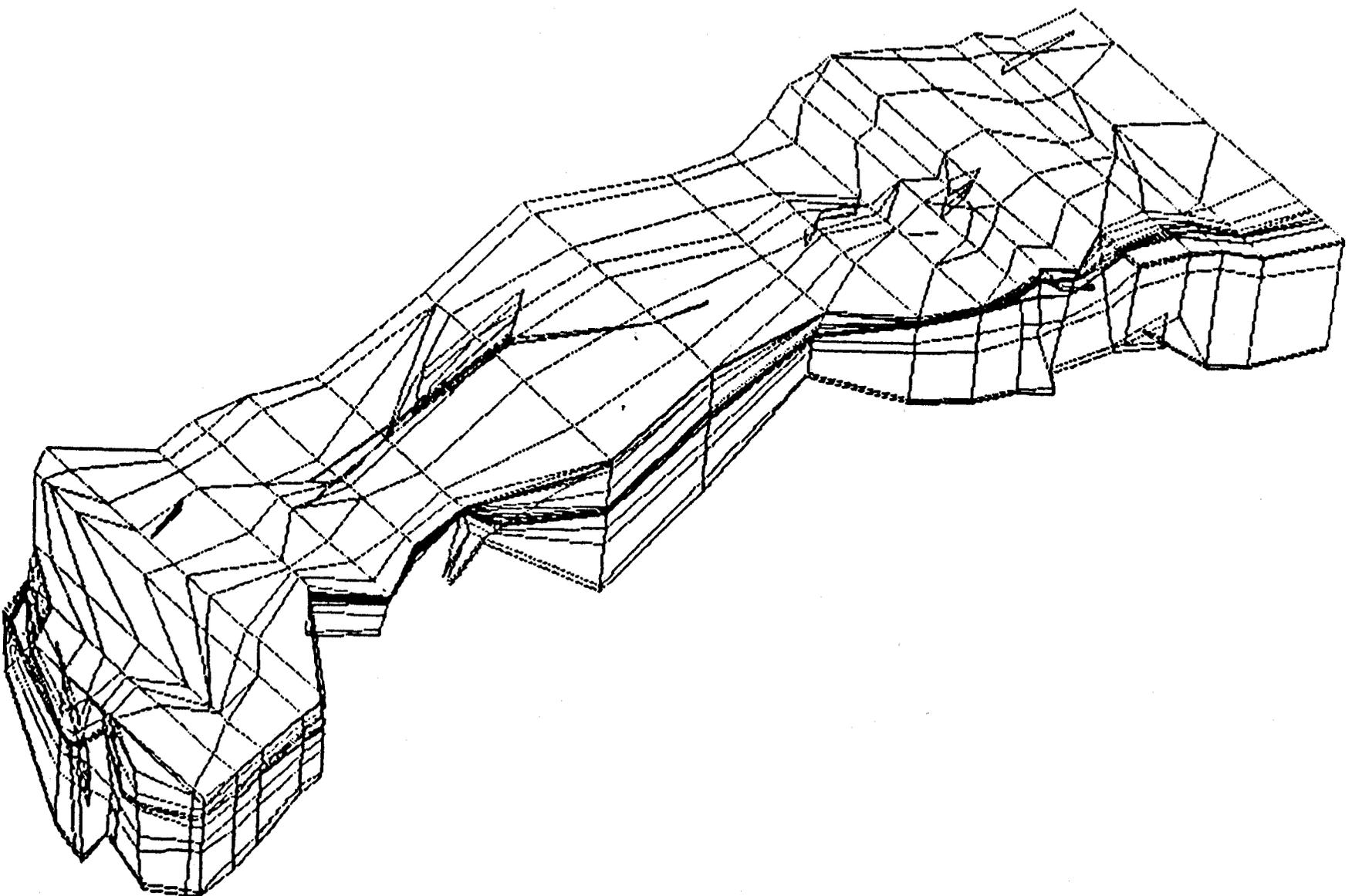


Bild 1 :

Modellgebiet Konrad, FE- Gitter des Programms NAMMU

Histogramm der Durchlässigkeiten in der Schicht 8

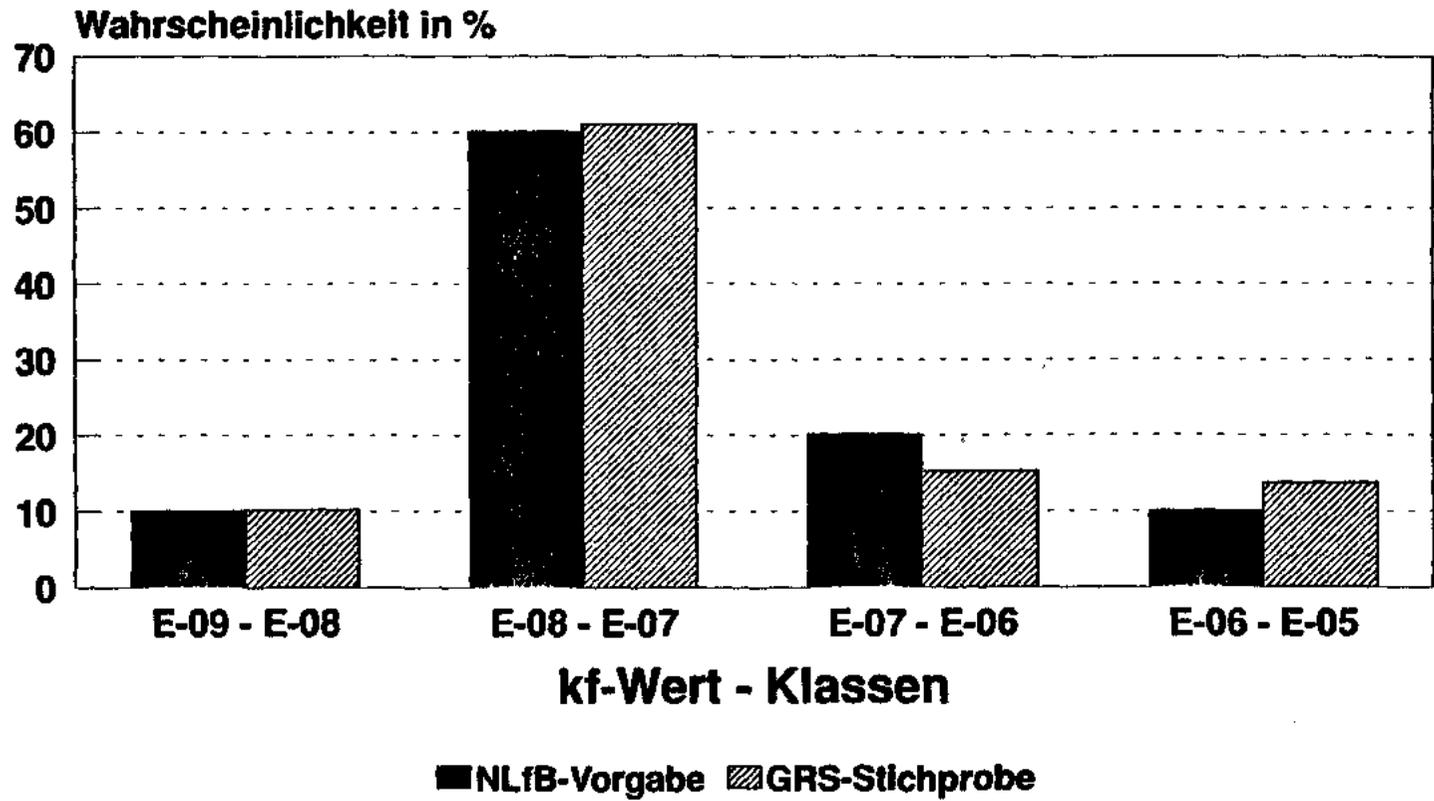


Bild 2.1:

Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur Ursprungverteilung nach NLFb 92/ für die Einheit 8 (Wealden, südlicher Bereich)

Histogramm der Durchlässigkeiten in der Schicht 9

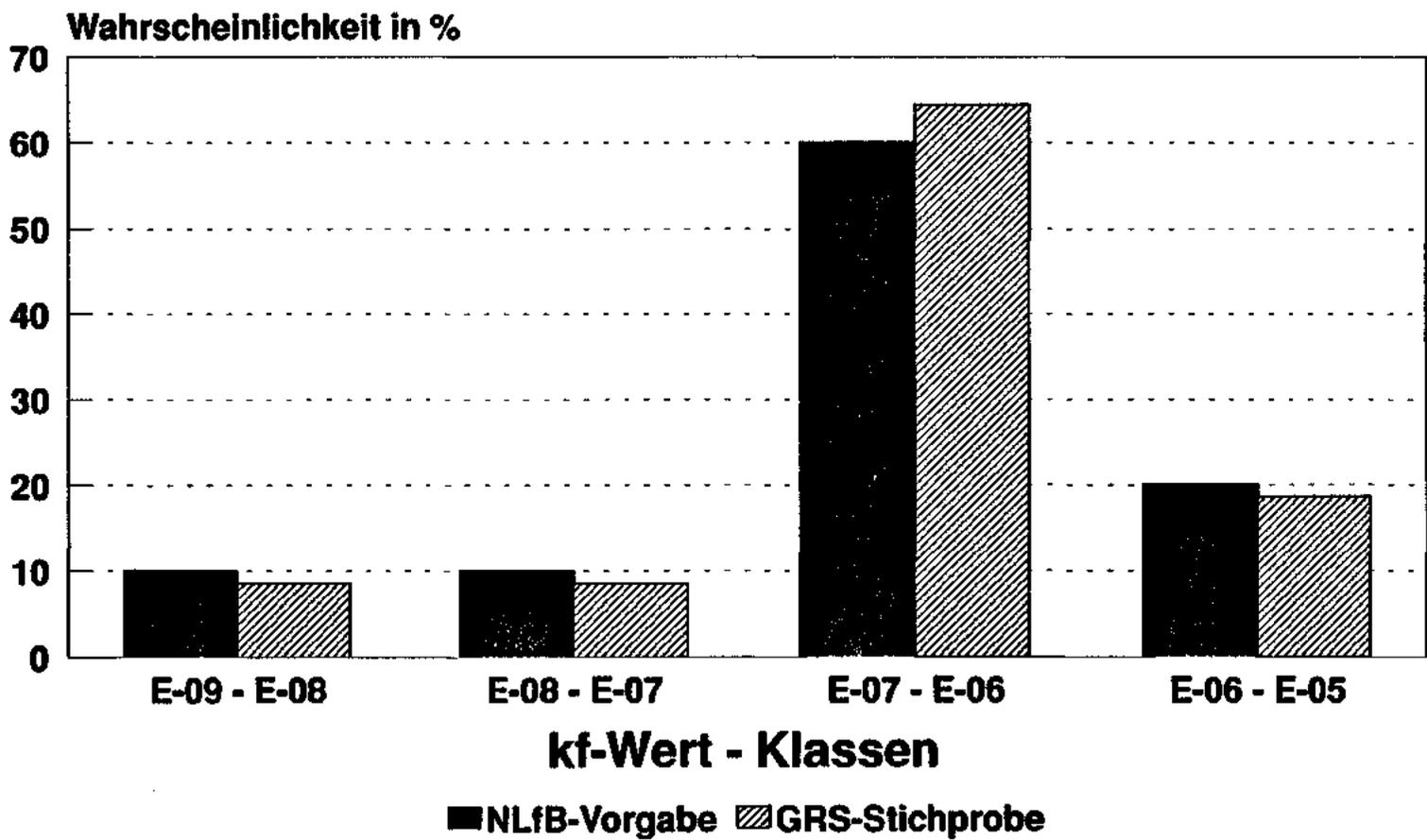


Bild 2.2:

Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur
Ursprungsverteilung nach /NLFB 92/ für die Einheit 9
(Wealden, nördlicher Bereich)

Histogramm der Durchlässigkeiten in der Schicht 10

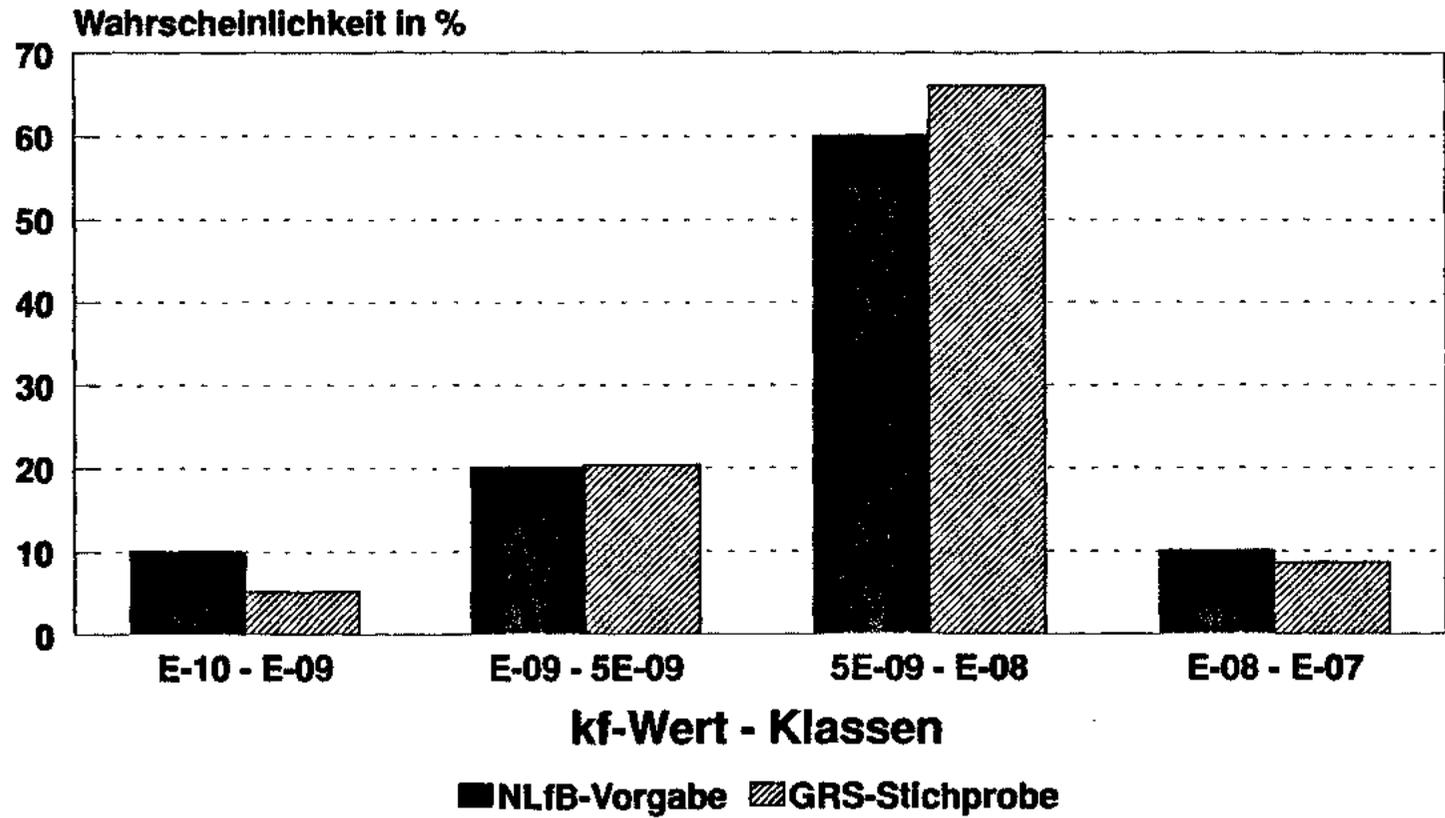


Bild 2.3: Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur Ursprungsverteilung nach NLFB 92/ für die Einheit 10 (Kimmeridge)

Histogramm der Durchlässigkeiten in der Schicht 11

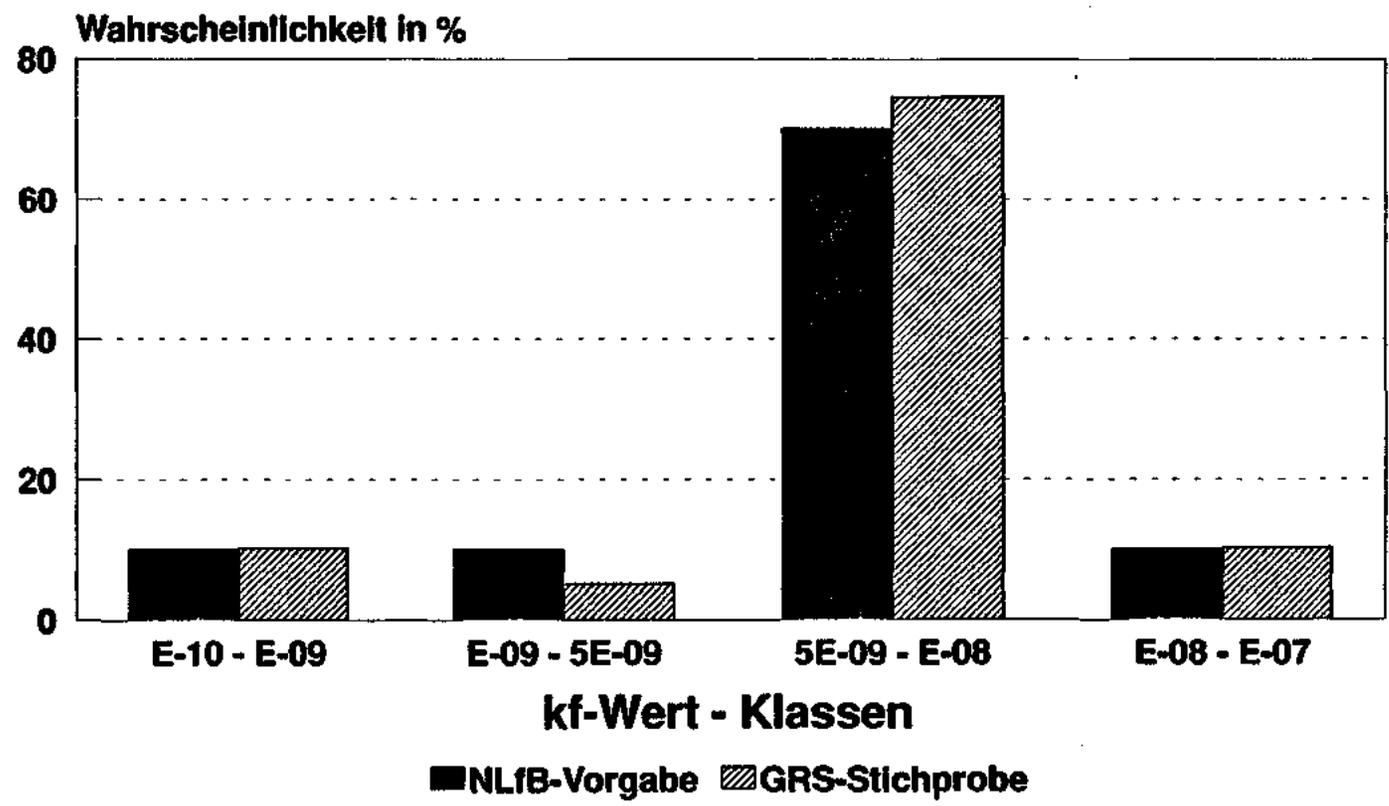


Bild 2.4: Vergleich der GRS-Stichprobe von Durchlässigkeitsbeiwerten zur Ursprungsverteilung nach NLFB 92/ für die Einheit 11 (Oxford)

Endlager Konrad

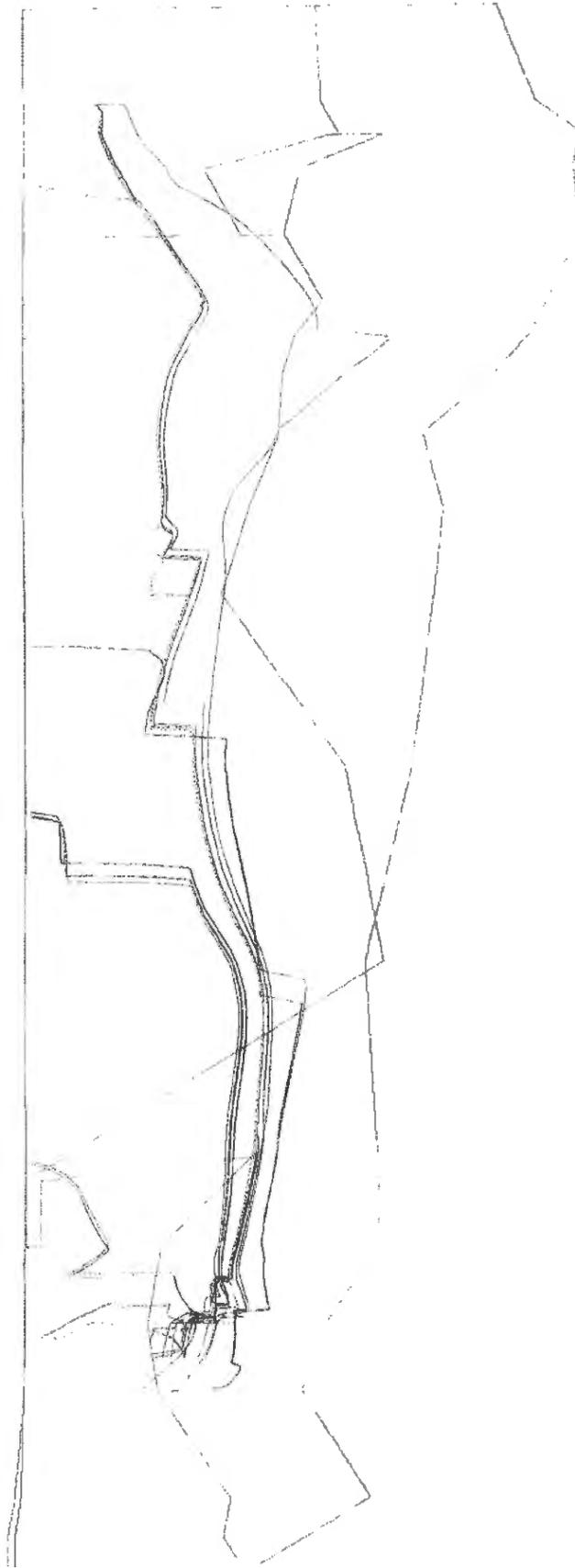


Bild 3.1: Trajektorienberechnungen der "Partikelwolke, Referenzfall": Seitenansicht des 3D-Modells, Startpunkte: südliches Endlager

Endlager Konrad

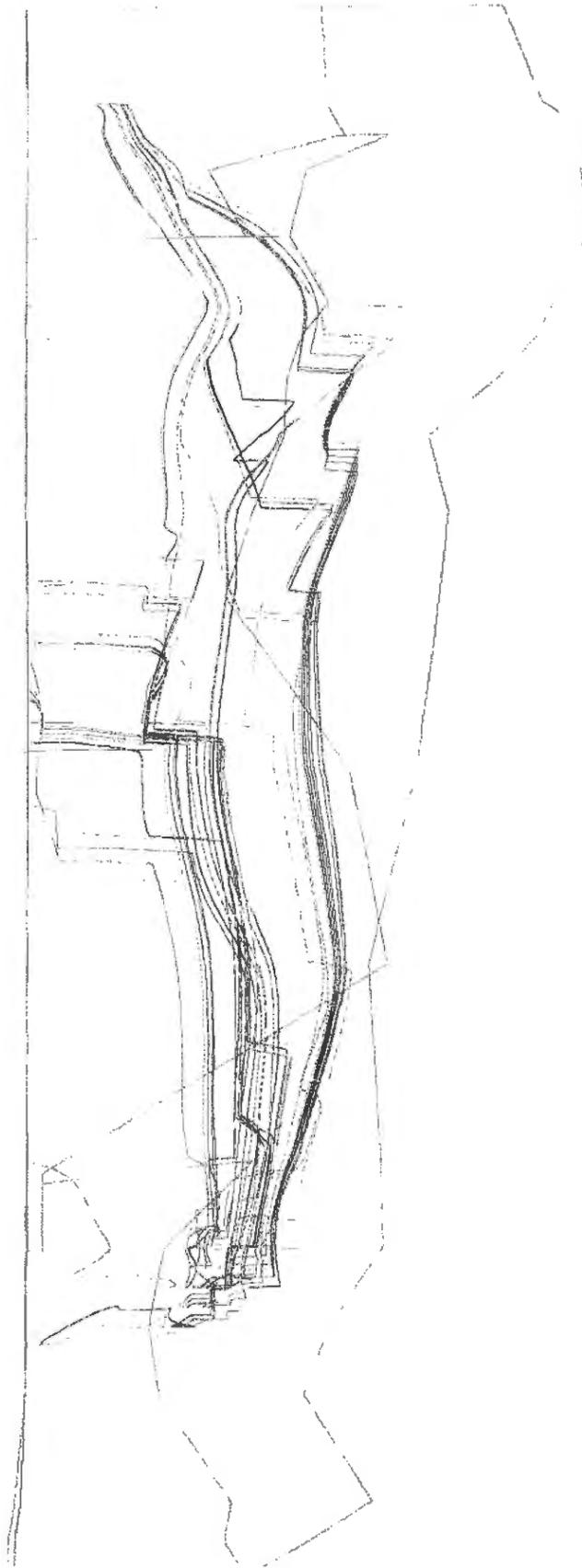


Bild 3.2: Trajektorienberechnungen der "Partikelwolke, Referenzfall": Seitenansicht des 3D-Modells, Startpunkte: nordöstliches Endlager

Endlager Konrad

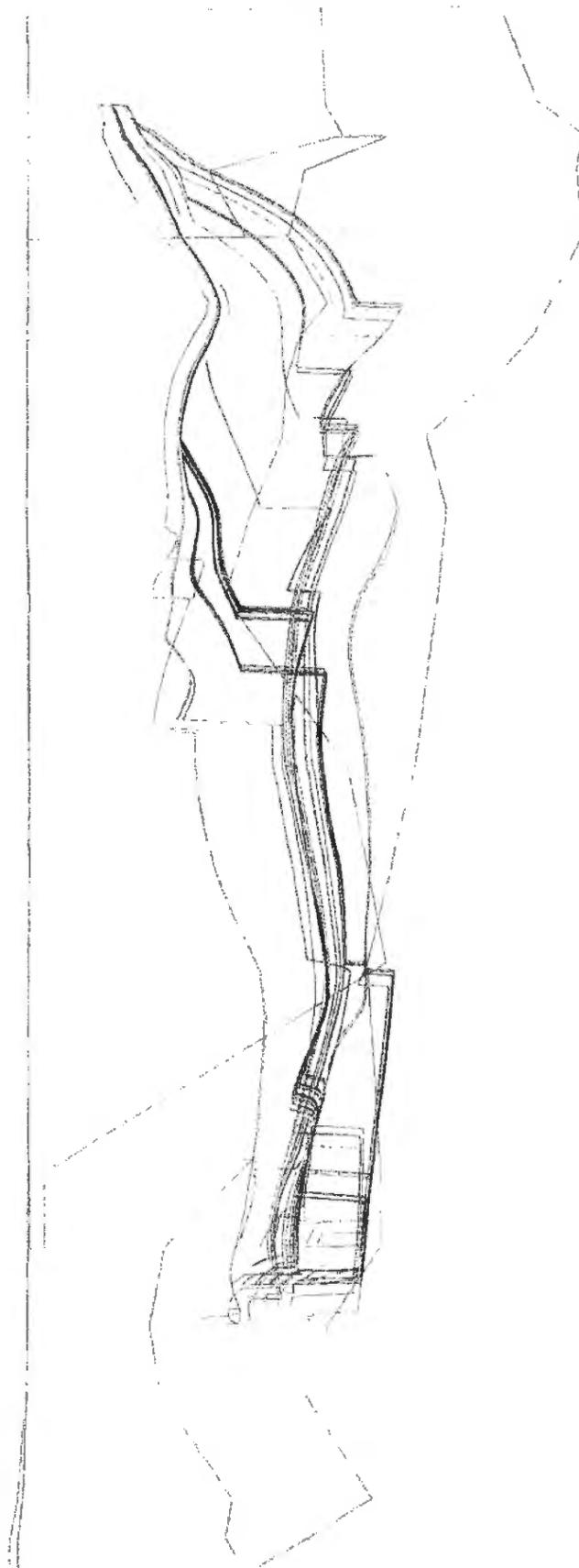


Bild 3.3: Trajektorienberechnungen der "Partikelwolke, Referenzfall": Seitenansicht des 3D-Modells, Startpunkte: nordwestliches Endlager

HYDROGEOLOGISCHES MODELL KONRAD (REFERENZFALL)

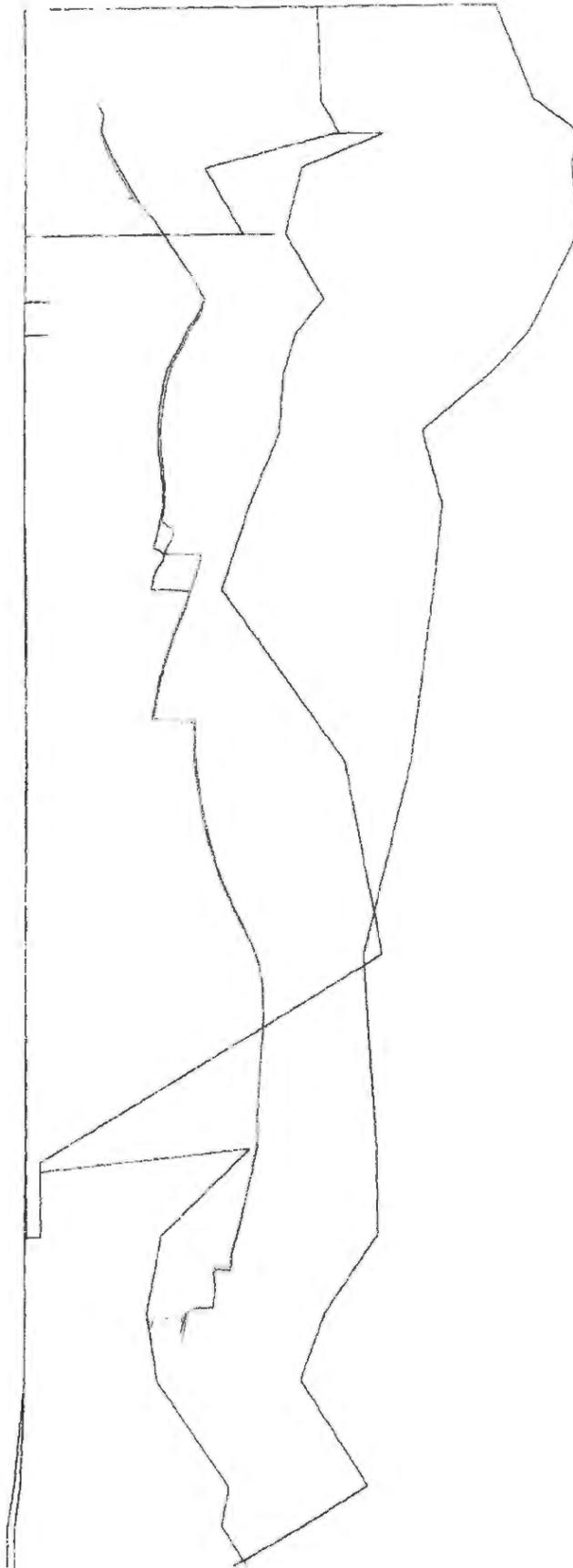


Bild 4.1: Trajektorienberechnungen des Referenzfalles: Seitenansicht des 3D-Modells, Startpunkte: südliches Endlager

HYDROGEOLOGISCHES MODELL KONRAD (REFERENZFALL)

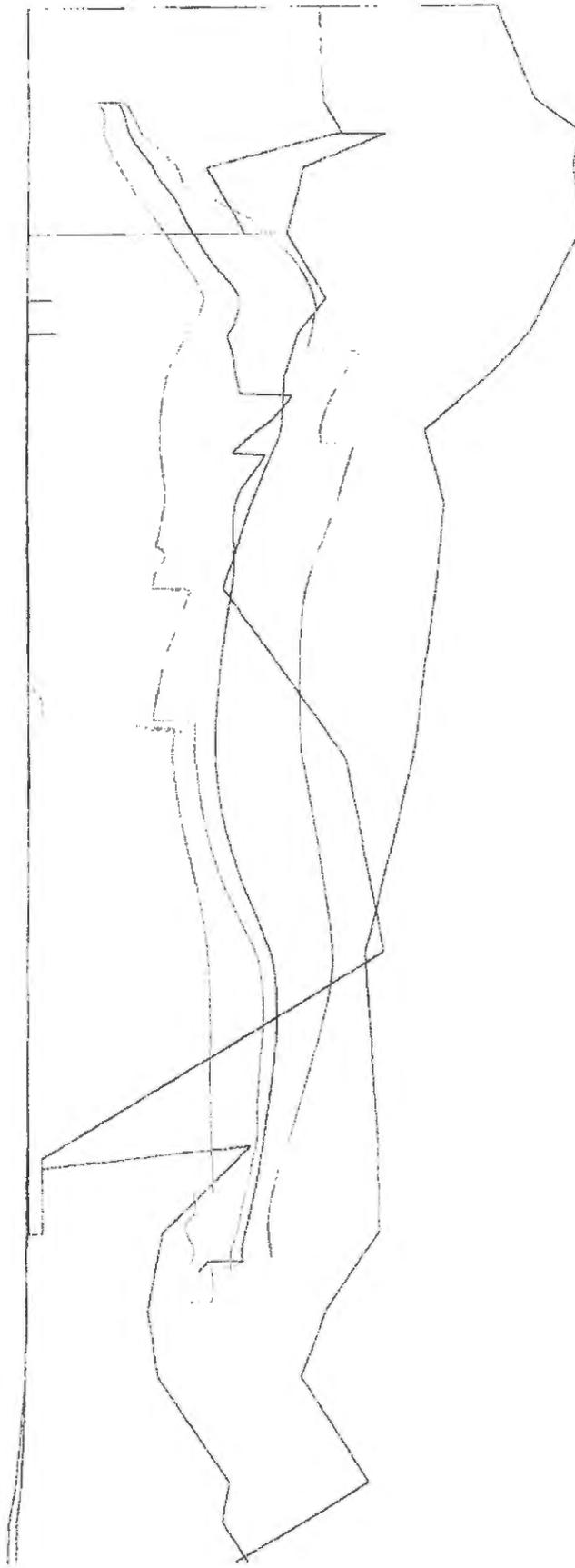


Bild 4.2: Trajektorienberechnungen des Referenzfalles: Seitenansicht des 3D-Modells, Startpunkte: nordöstliches Endlager

HYDROGEOLOGISCHES MODELL KONRAD (REFERENZFALL)

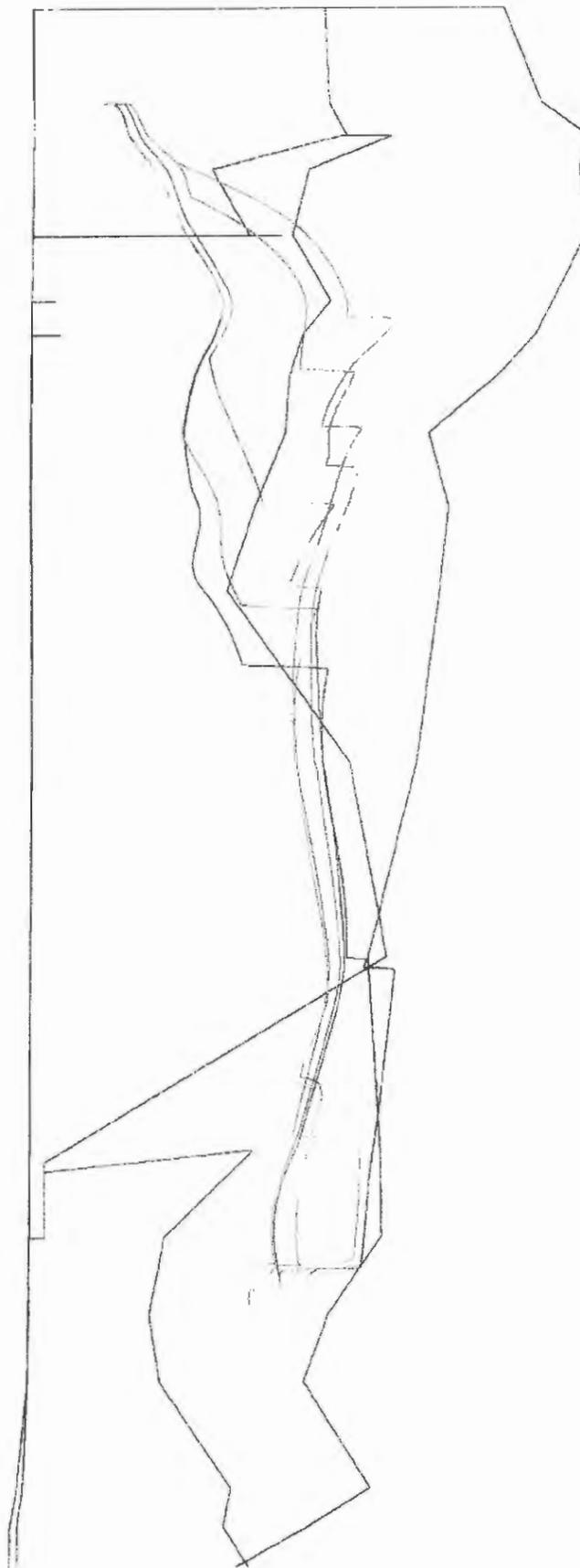


Bild 4.3: Trajektorienberechnungen des Referenzfalles: Seitenansicht des 3D-Modells, Startpunkte: nordwestliches Endlager

Endlager Konrad

Partikelstartpunkte des Referenzfalles

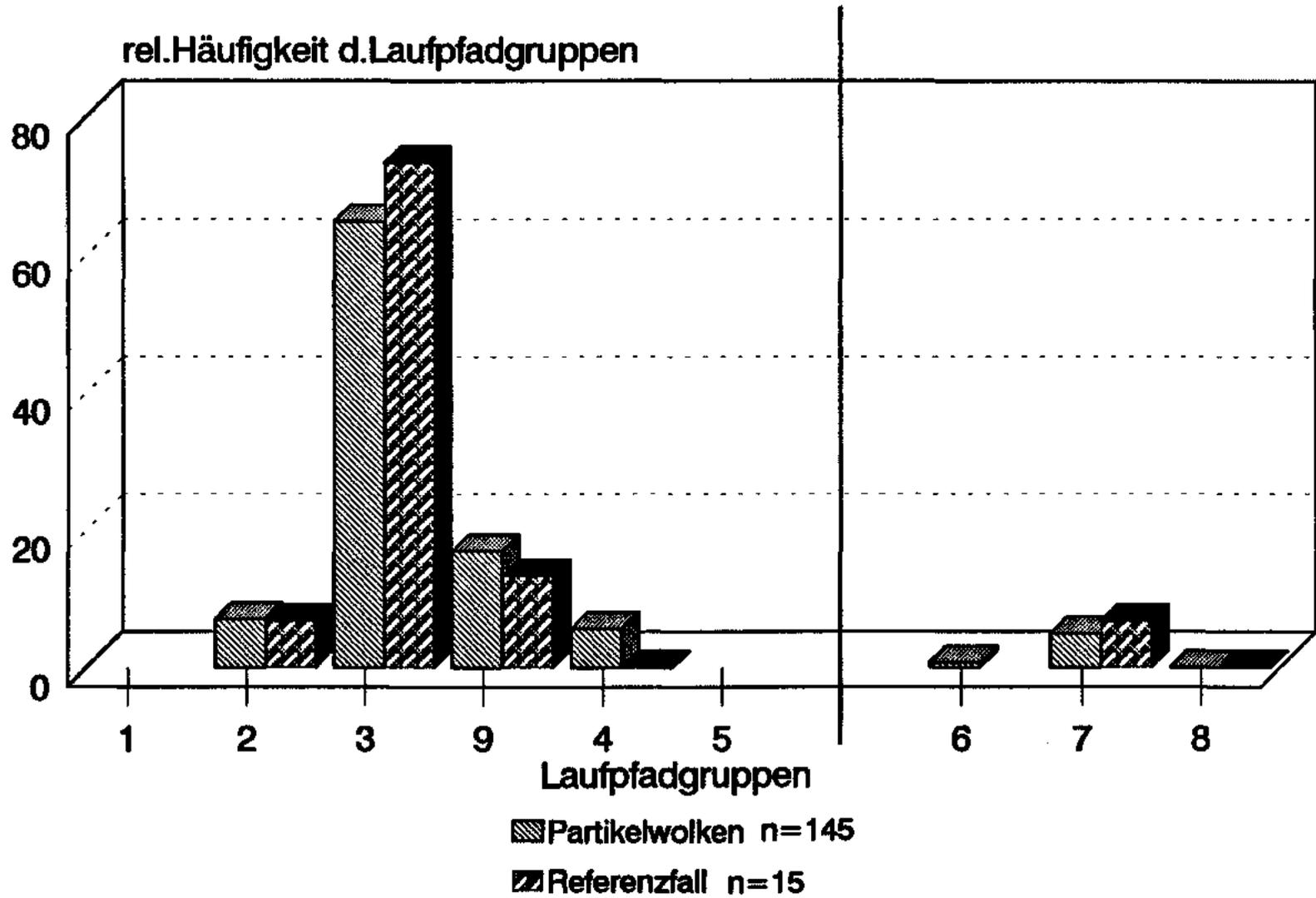
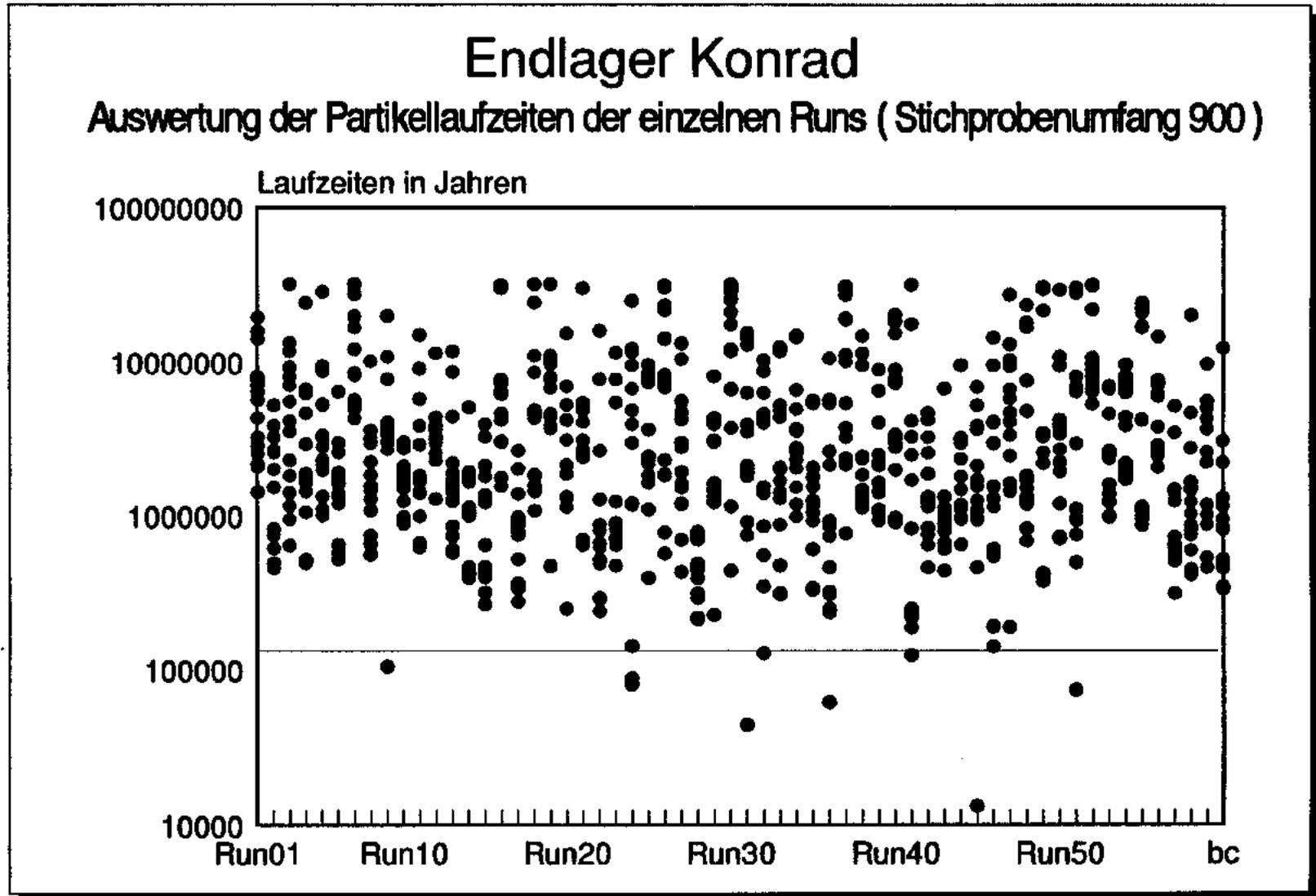


Bild 5:

Vergleich der Pfadgruppenverteilung der Läufe

"Partikelwolke" (n=145) und "Referenzfall" (n=15)

Bild 6.1: Auswertung der Partikellaufzeiten der 59 Rechenläufe (Stichprobenumfang 885) sowie des Referenzfalls (bc)



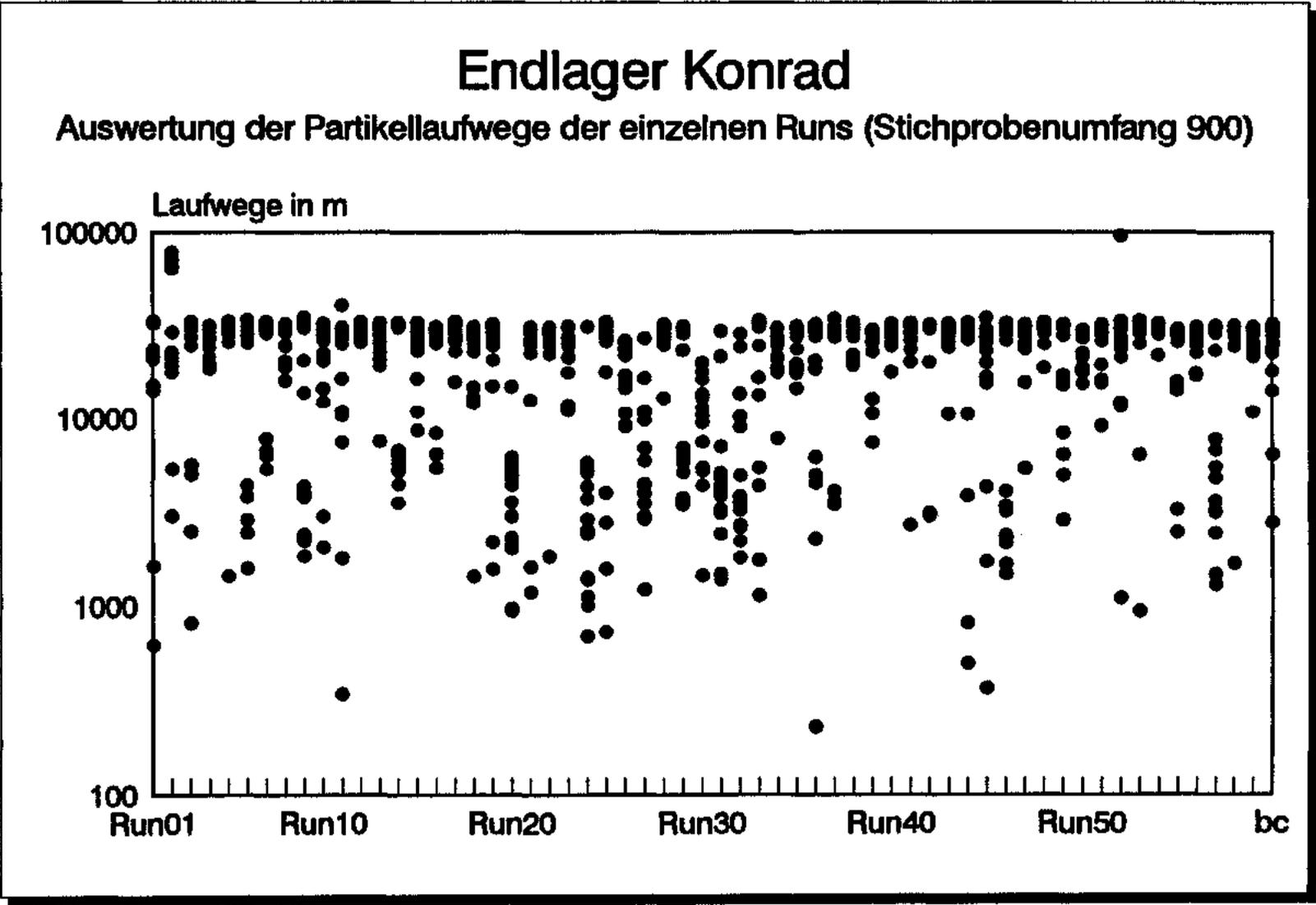


Bild 6.2: Auswertung der Partikellaufwege der 59 Rechenläufe (Stichprobenumfang 885) sowie des Referenzfalls (bc)

Endlager Konrad

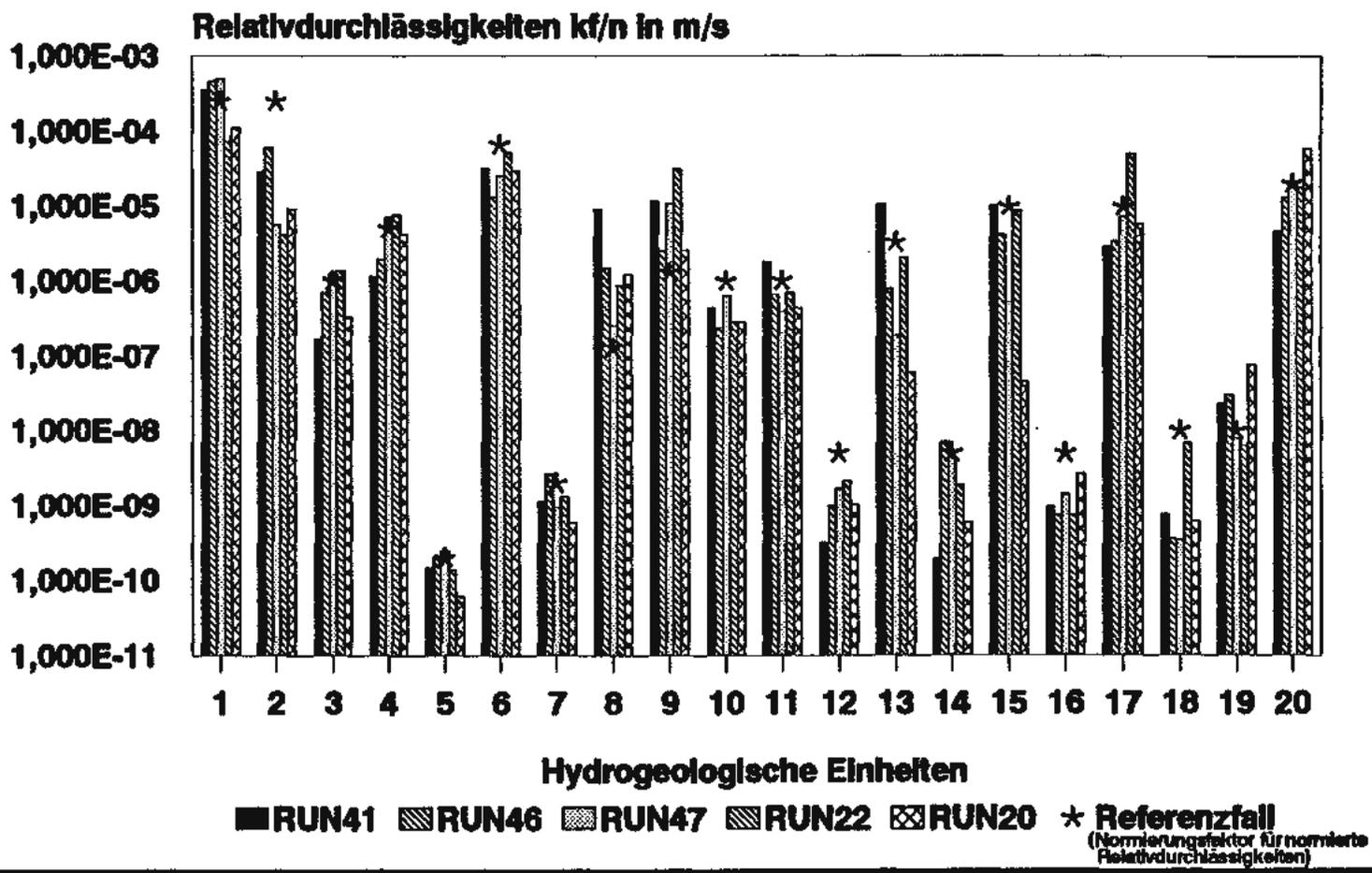
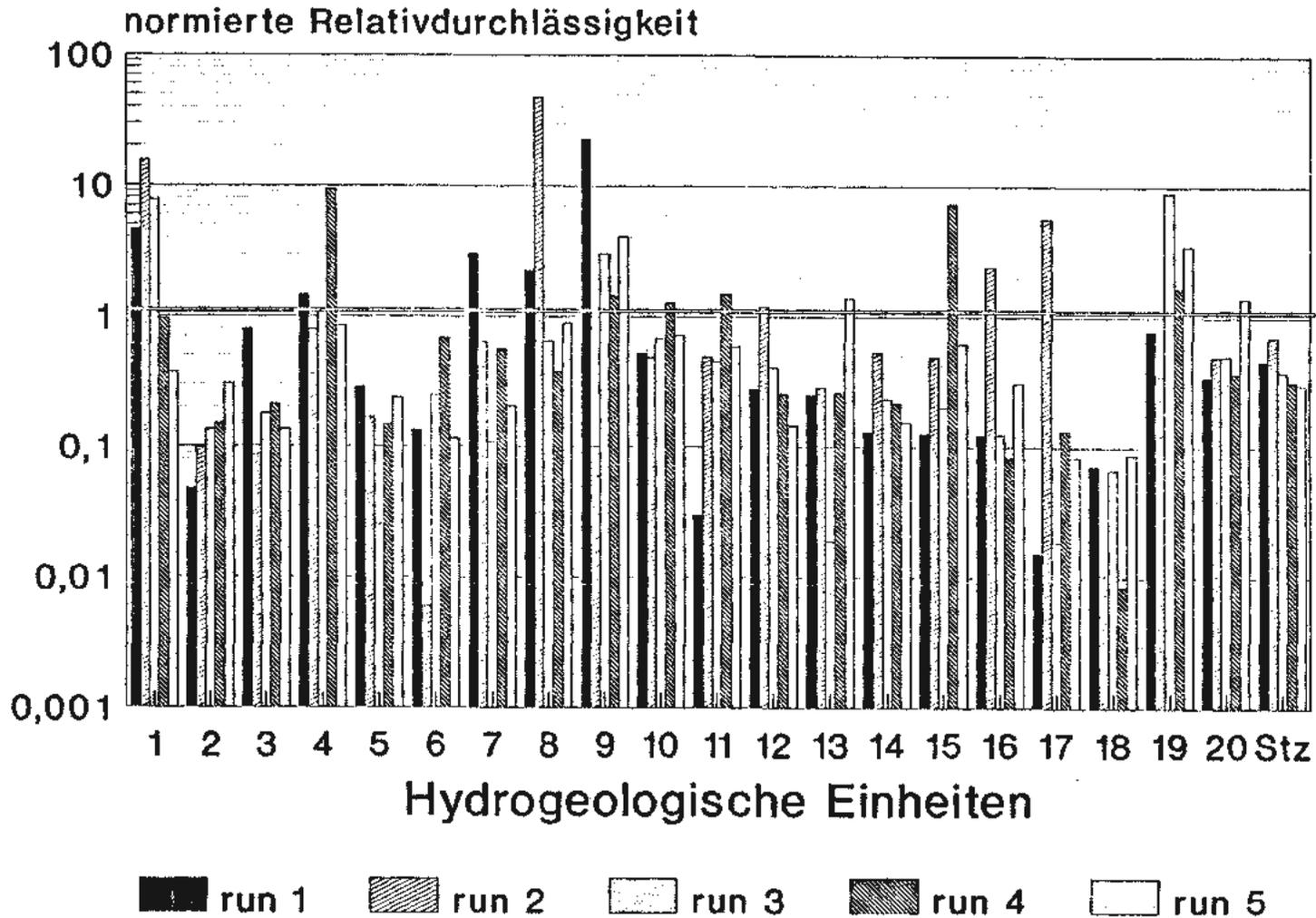


Bild 7: Histogramm der Relativedurchlässigkeiten (k_f/n_{ref}) der hydraulischen Einheiten 1-20 und für die Rechenläufe 20, 22, 41, 46, 47 und des Referenzfalles

Endlager Konrad

Bild 8.1:

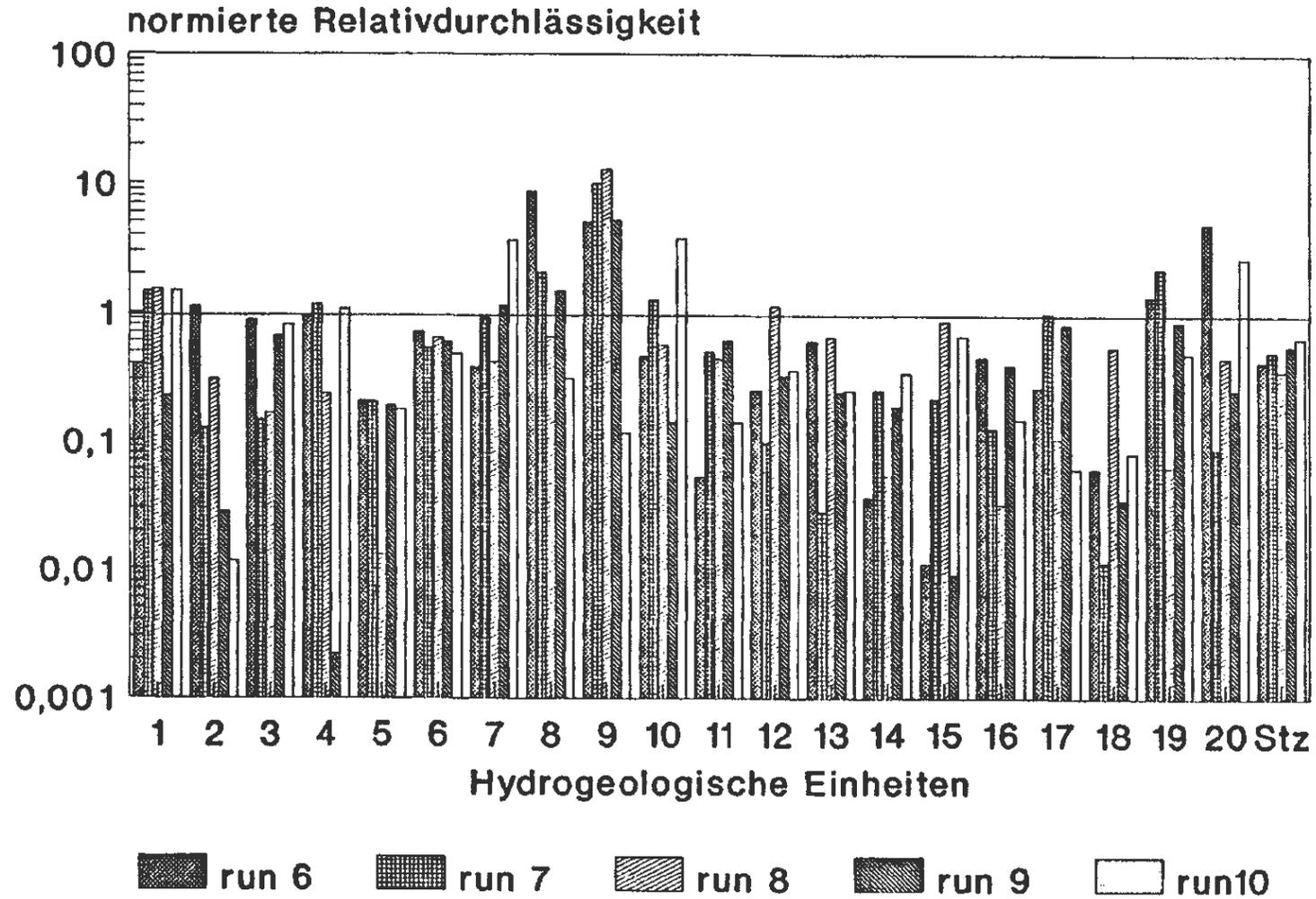
Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 1-5



Endlager Konrad

Bild 8.2:

Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 6-10



Endlager Konrad

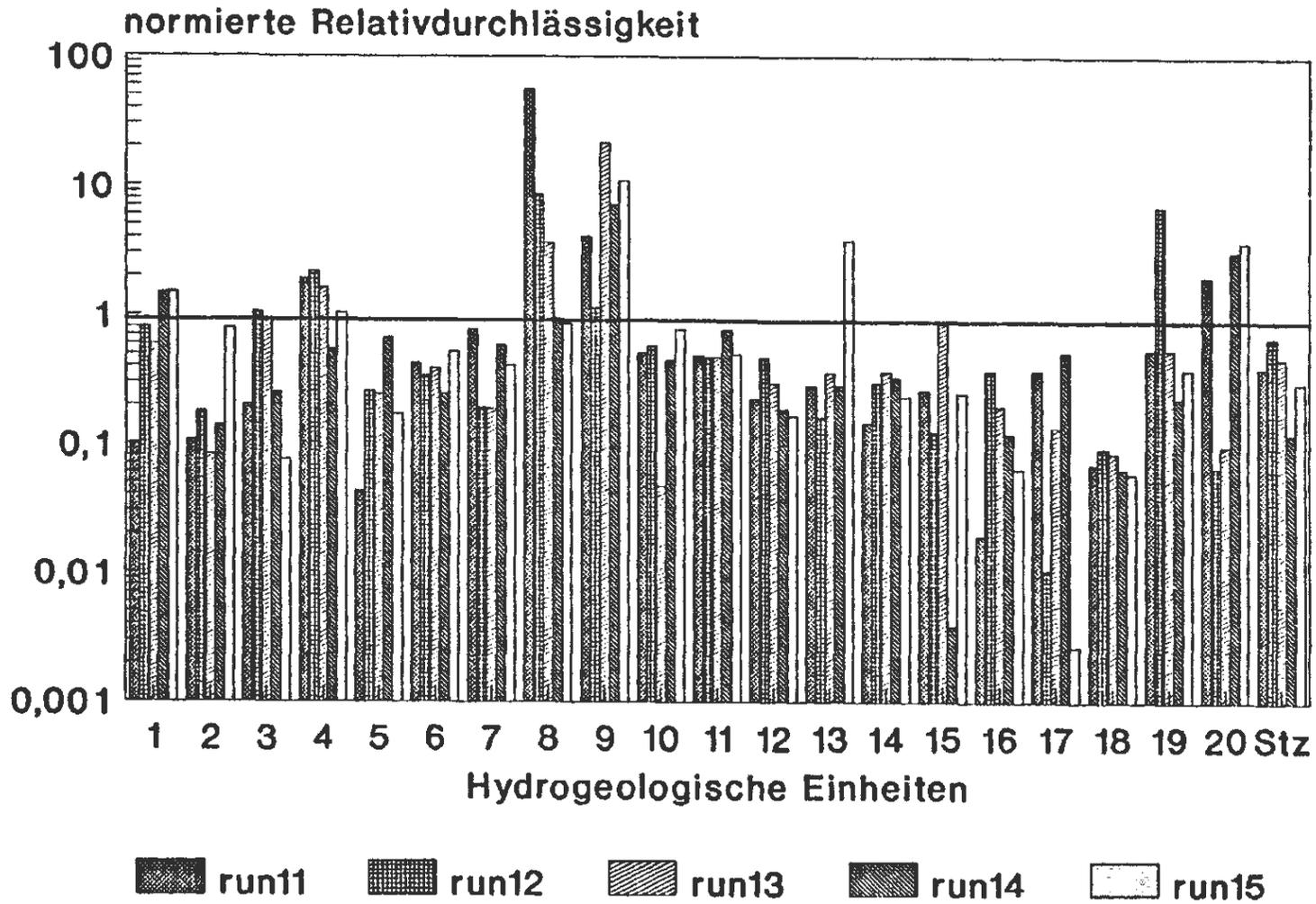


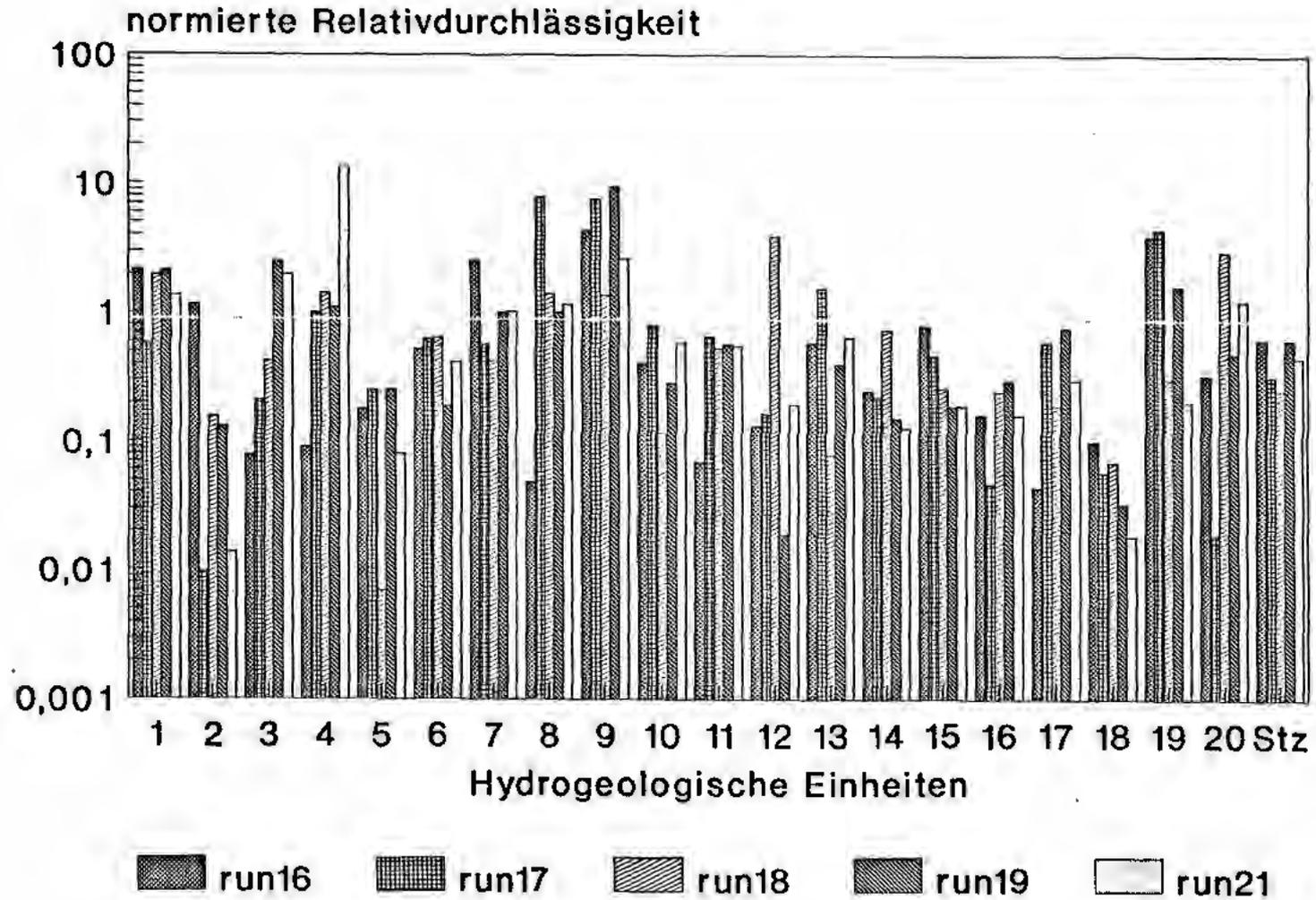
Bild 8.3:

Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 11-15

Endlager Konrad

Bild 8.4:

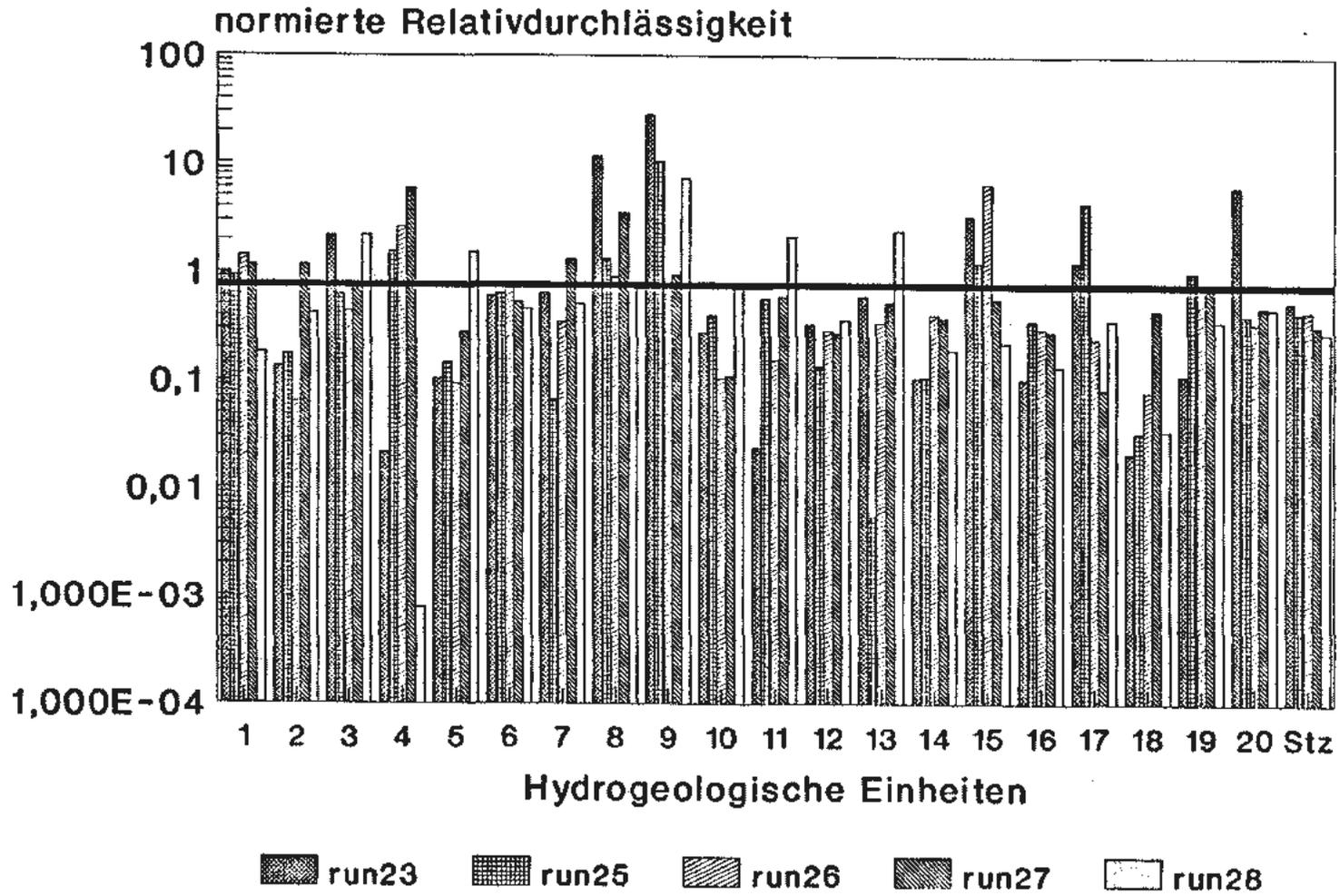
Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 16-21



Endlager Konrad

Bild 8.5:

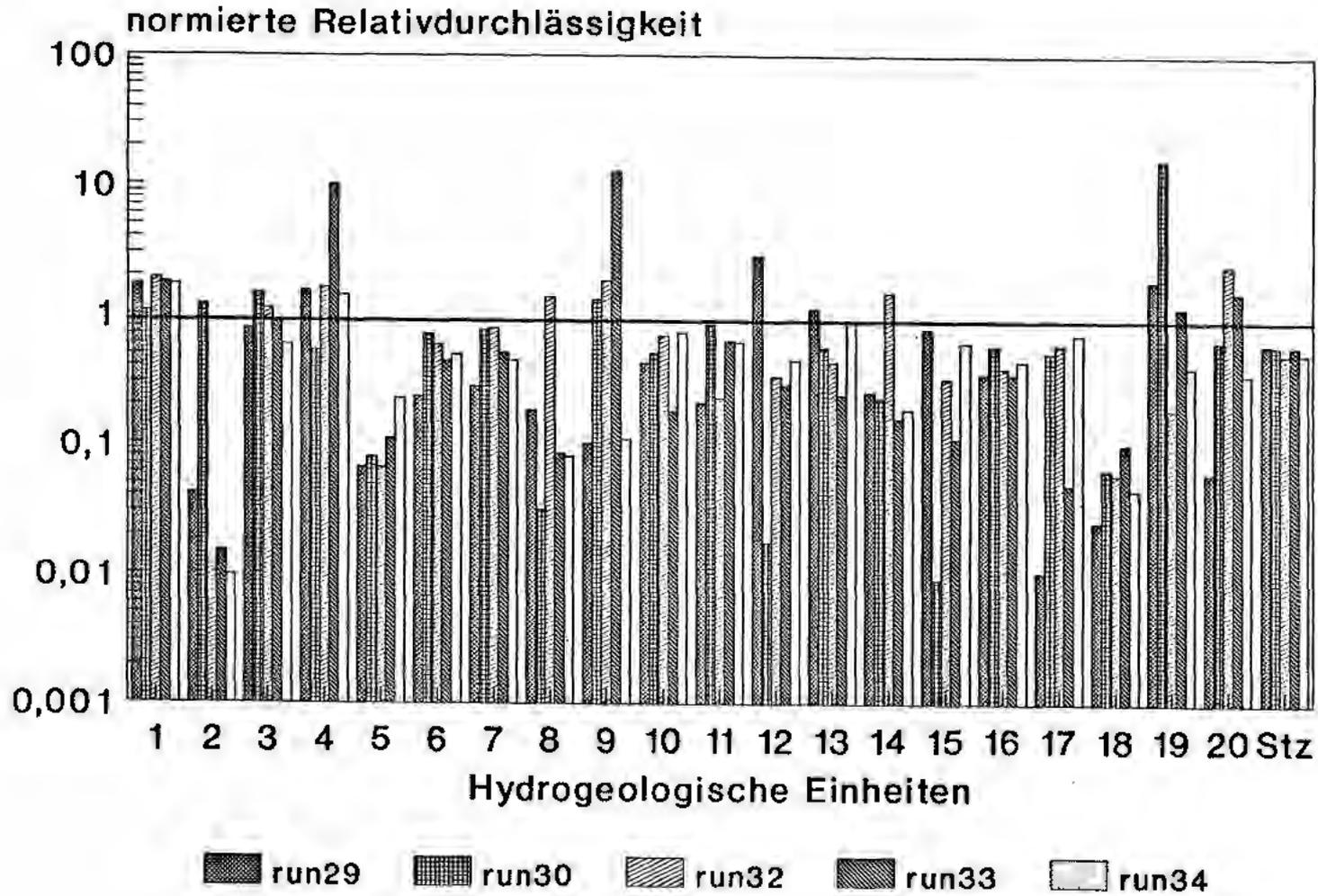
Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 23-28



Endlager Konrad

Bild 8.6:

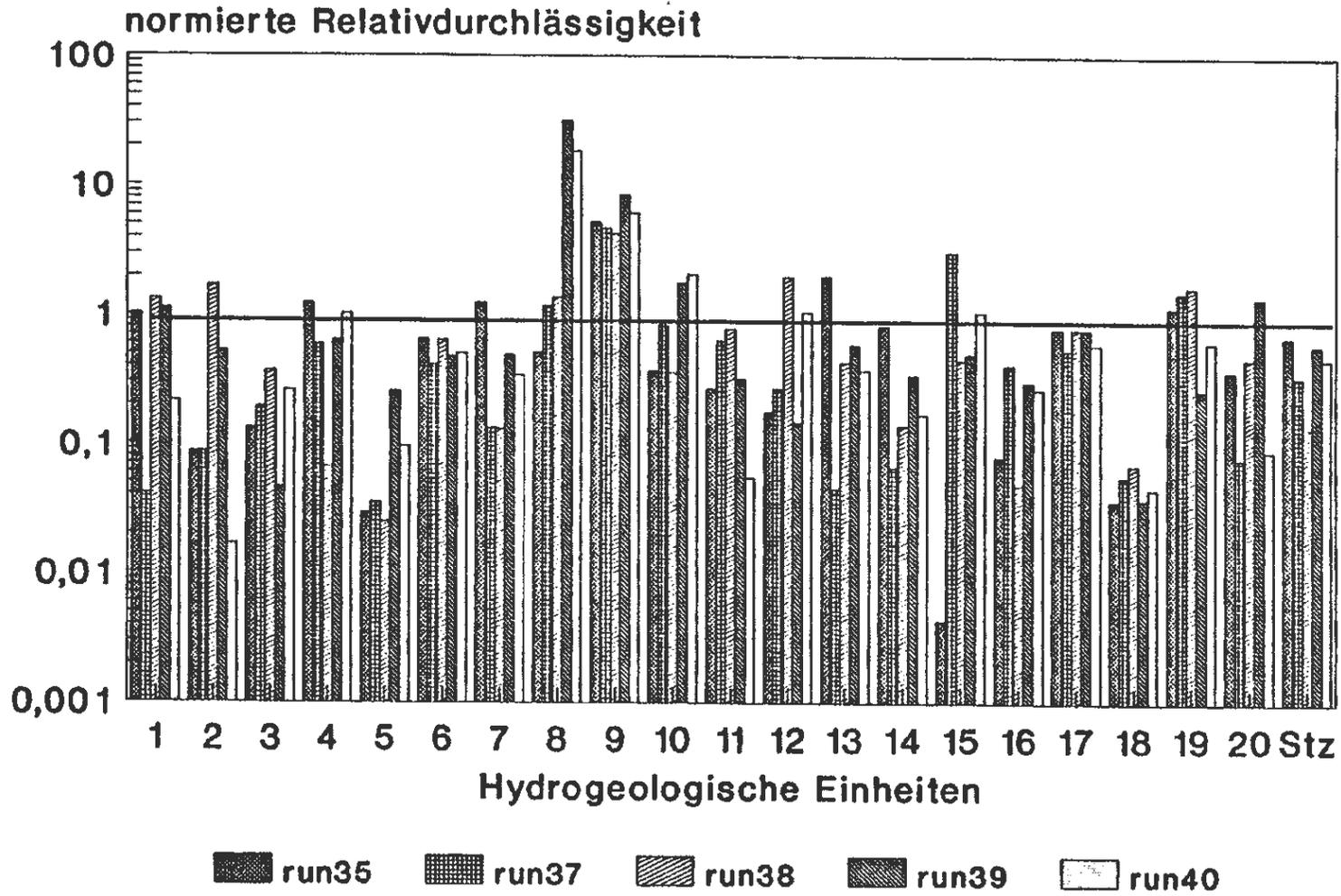
Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 29-34



Endlager Konrad

Bild 8.7:

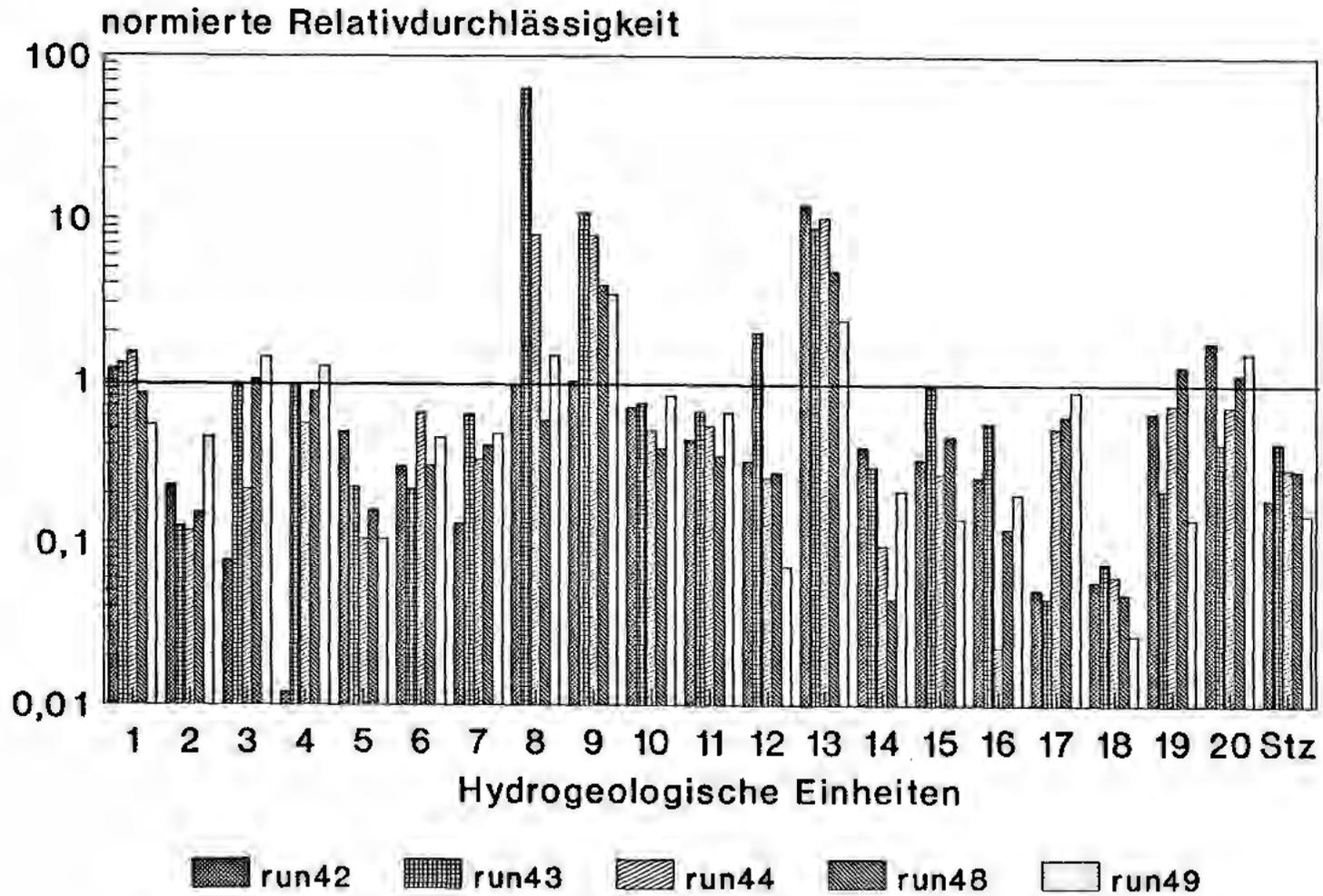
Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 35-40



Endlager Konrad

Bild 8.8:

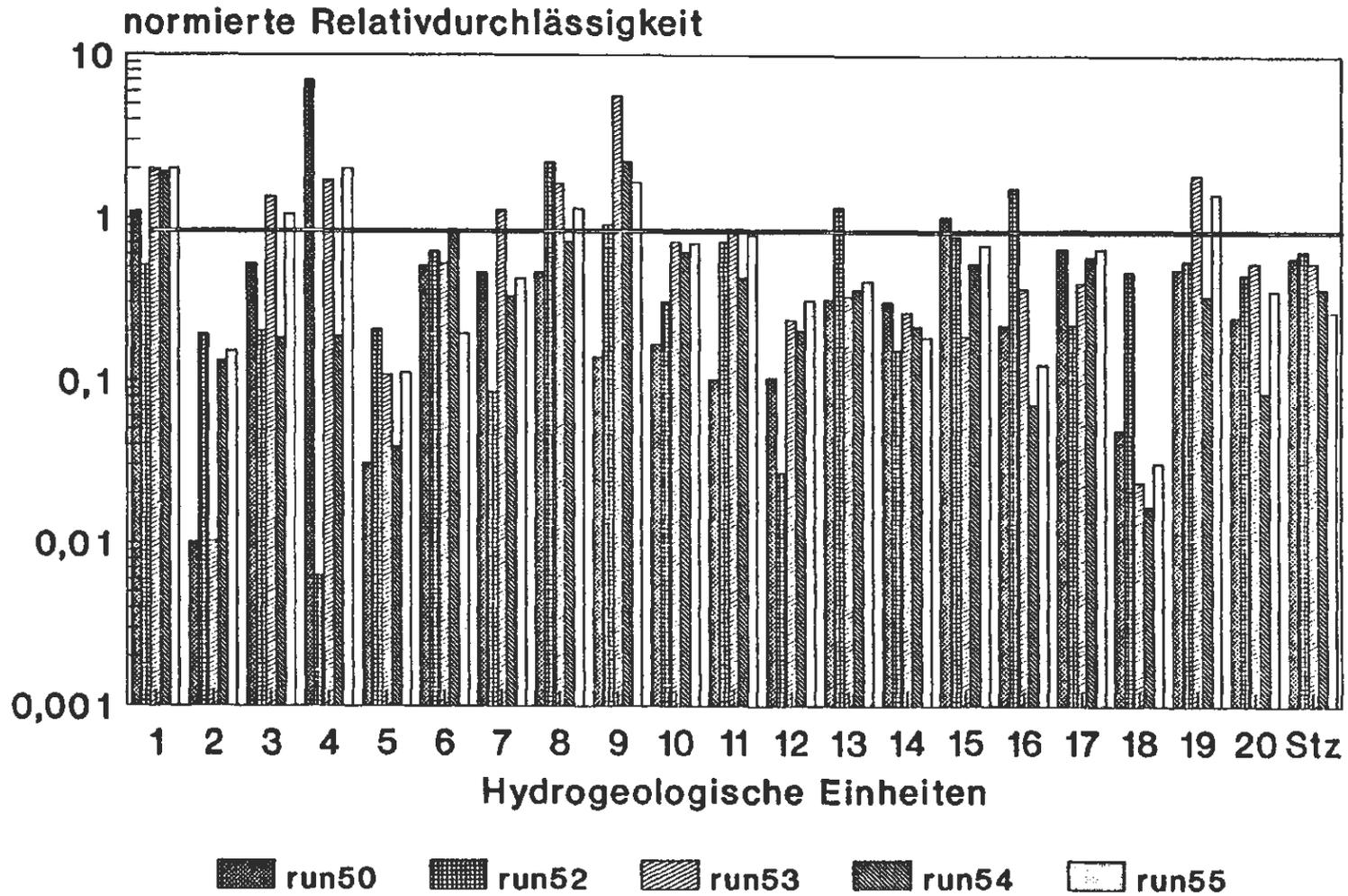
Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 42-49



Endlager Konrad

Bild 8.9:

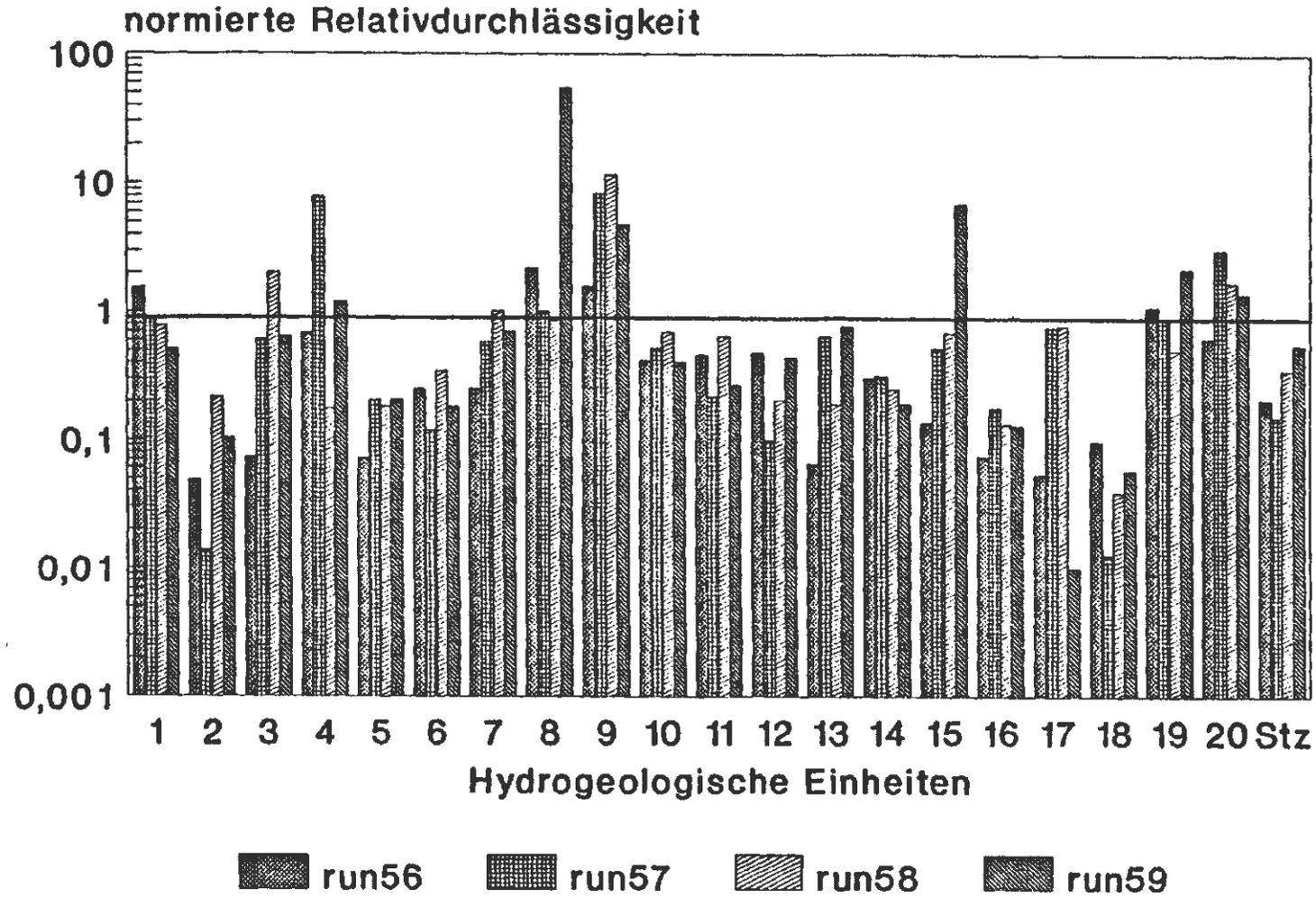
Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 50-55



Endlager Konrad

Bild 8.10:

Histogramm der normierten Relativedurchlässigkeiten der Einheiten 1-20 und dem Störzonenfaktor für die Rechenläufe 56-59



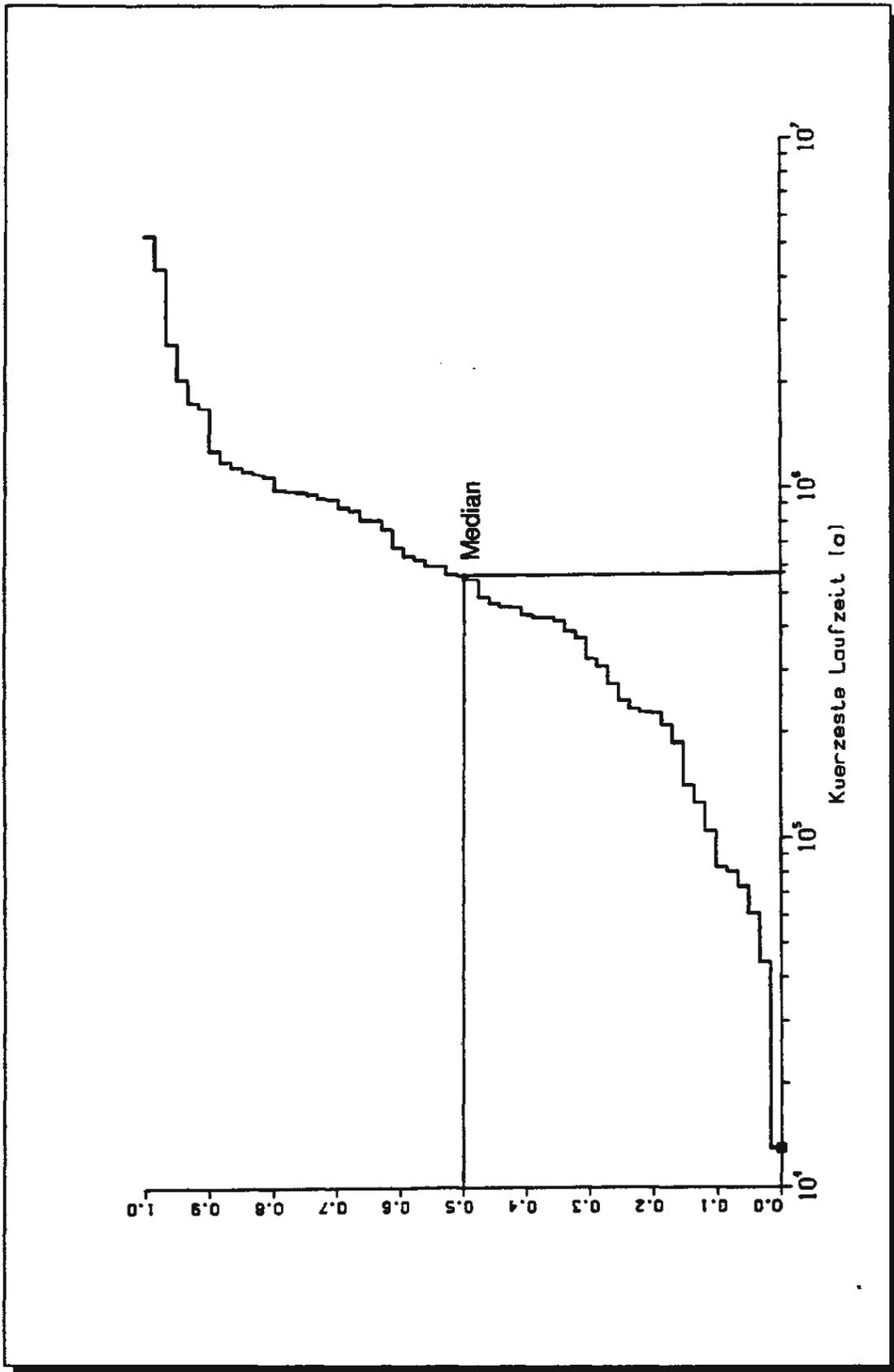
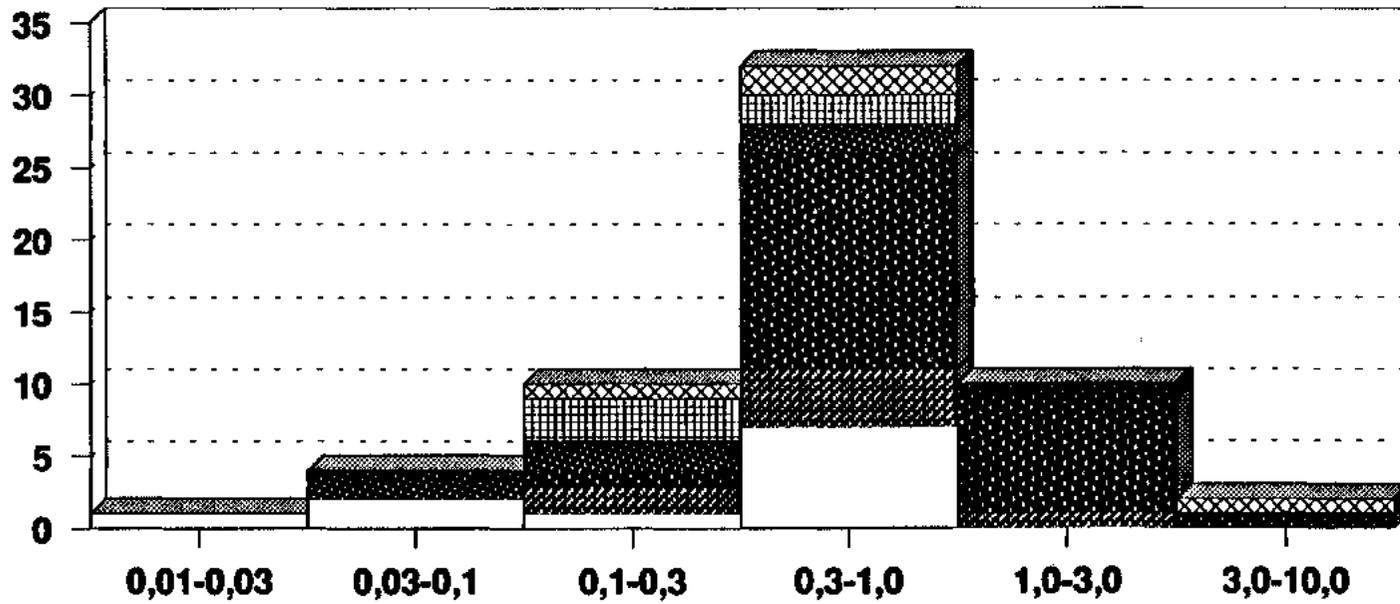


Bild 9: Empirische Verteilungsfunktion der alternativen kürzesten Laufzeiten aus 59 Rechenläufen

Endlager Konrad

Anzahl der Rechenläufe



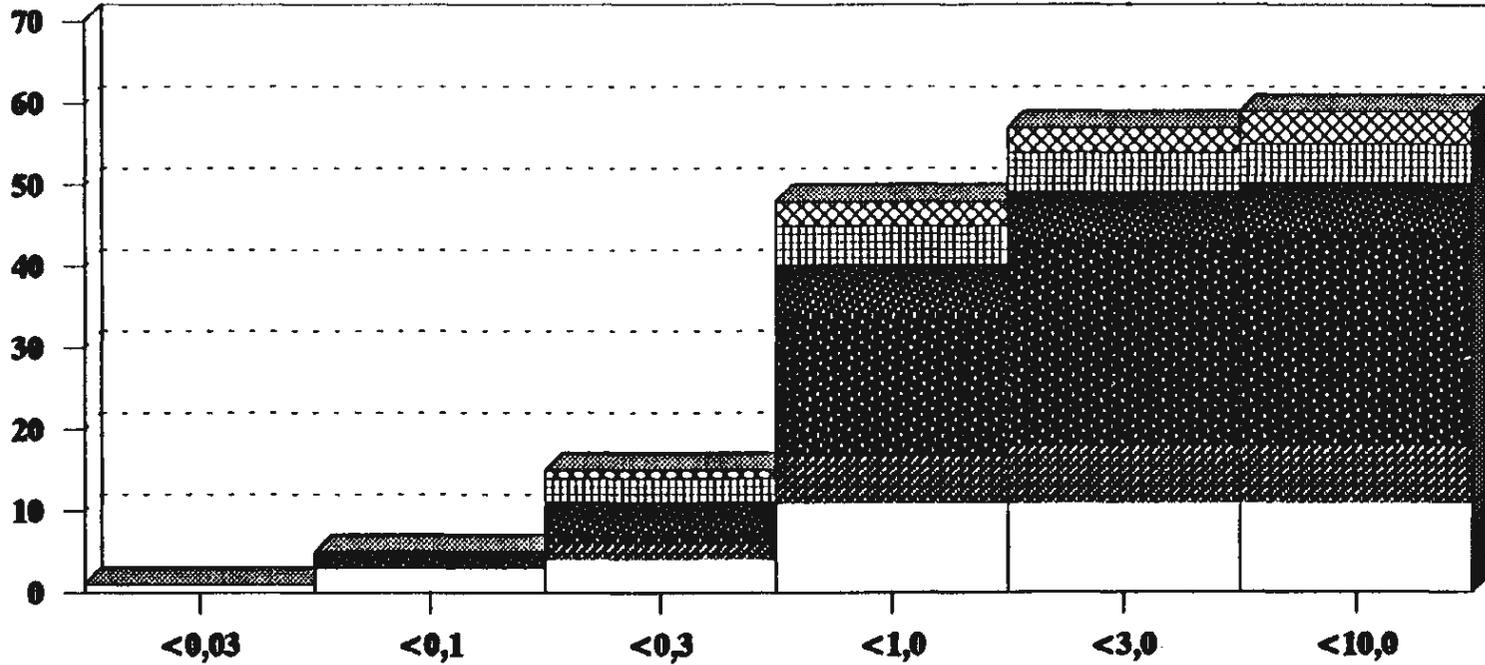
kürzeste Laufzeit in Millionen Jahre

□ Pfad 1 ■ Pfad 2 ■ Pfad 3 ■ Pfad 6 ▩ Pfad 7 ▨ Pfad 9

Bild 10.1: Histogramm der alternativen kürzesten Laufzeiten aus 59 Rechenläufen in Abhängigkeit der Laufpfadgruppen

Endlager Konrad

Anzahl der Rechenläufe



kürzeste Laufzeit in Millionen Jahre

□ Pfad 1 ■ Pfad 2 ■ Pfad 3 ■ Pfad 6 ▨ Pfad 7 ▩ Pfad 9

Bild 10.2:

Histogramm (kumulativ) der alternativen kürzesten Laufzeiten aus 59 Rechenläufen in Abhängigkeit der Laufpfadgruppen

Endlager Konrad

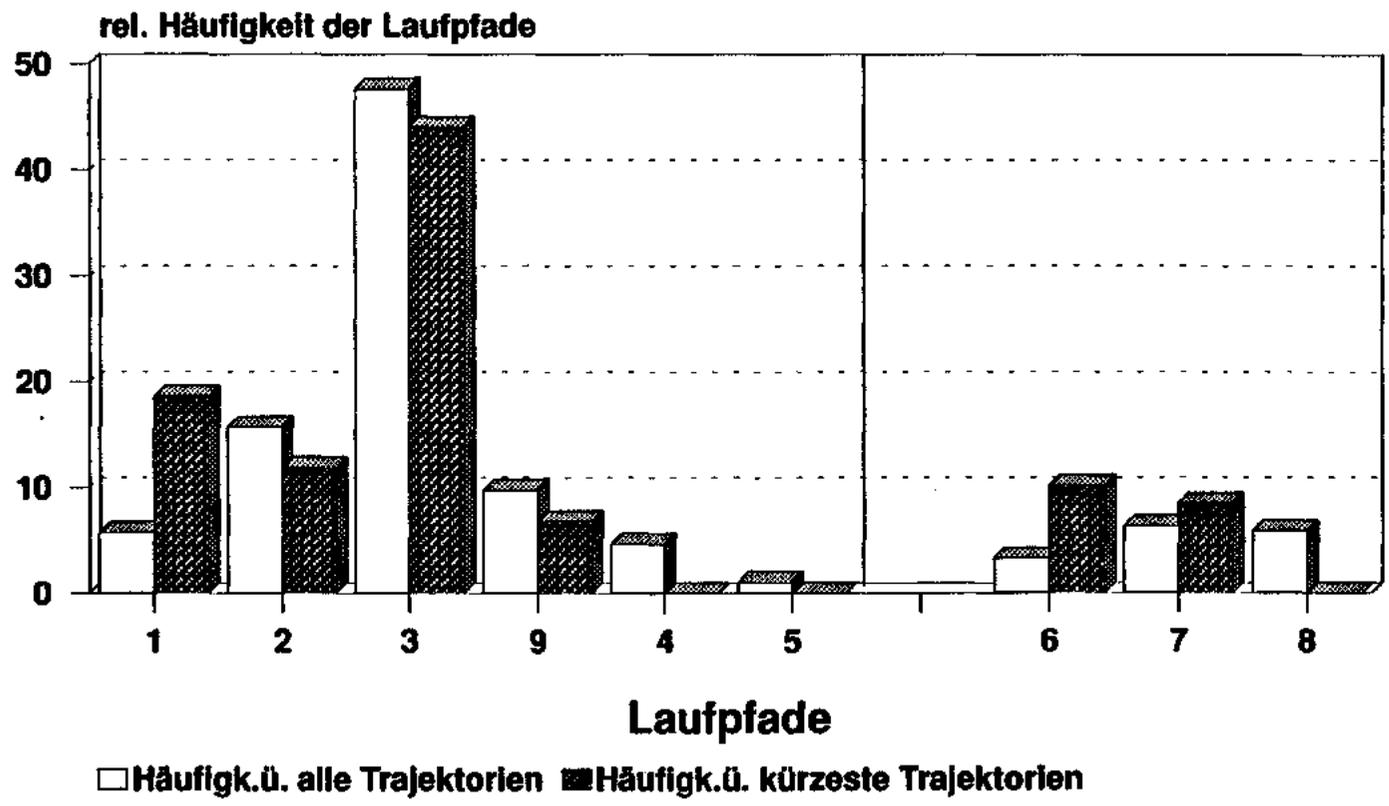


Bild 11:

Vergleich der Histogramme der Pfadgruppen für die Fälle "alle Trajektorien (= 885 Läufe)" und "kürzeste Trajektorie eines jeden Rechenlaufs (= 59 Läufe)"

Endlager Konrad

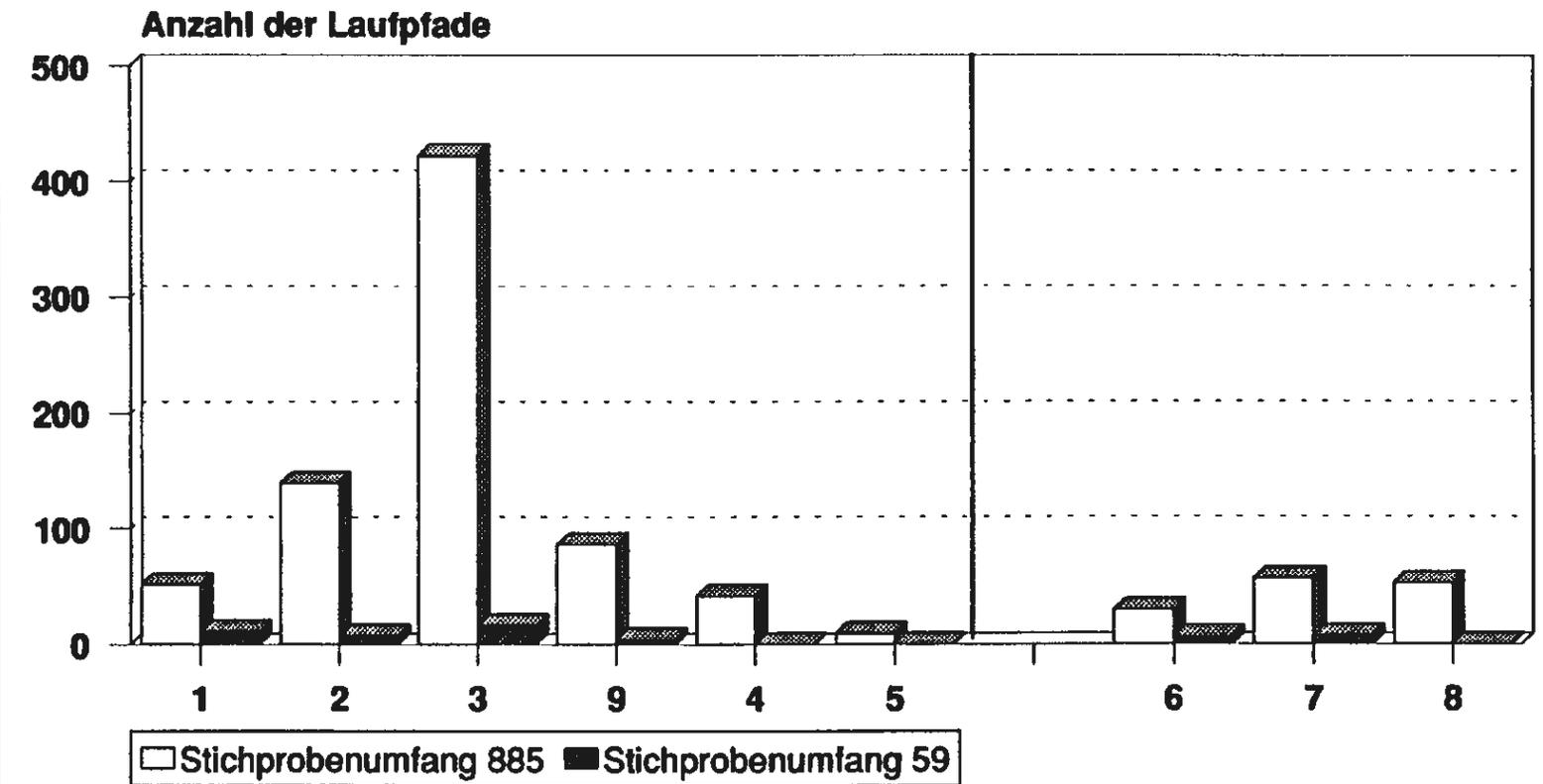


Bild 12:

Histogramme für die Anzahl der Trajektorien in Abhängigkeit von den Laufpfadgruppen für die Fälle "alle Trajektorien (= 885 Läufe)" und "Kürzeste Trajektorie eines jeden Rechenlaufs (= 59 Läufe)"

Endlager Konrad

Auswertung Laufzeiten

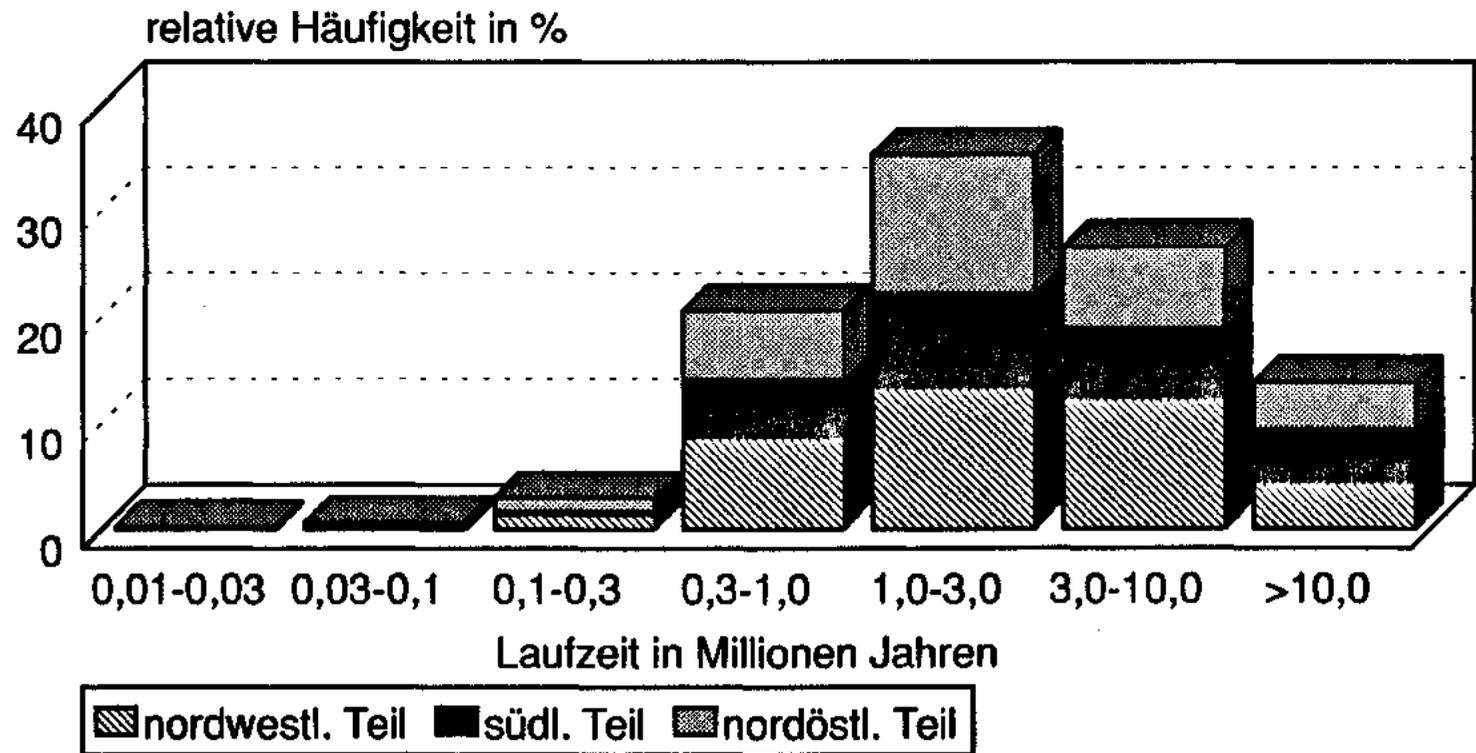


Bild 13.1: Relative Häufigkeit der drei Gruppen von Partikelstartpunkten (Stichprobenumfang = 900) über der Partikelauflaufzeit

Endlager Konrad

Auswertung Laufzeiten

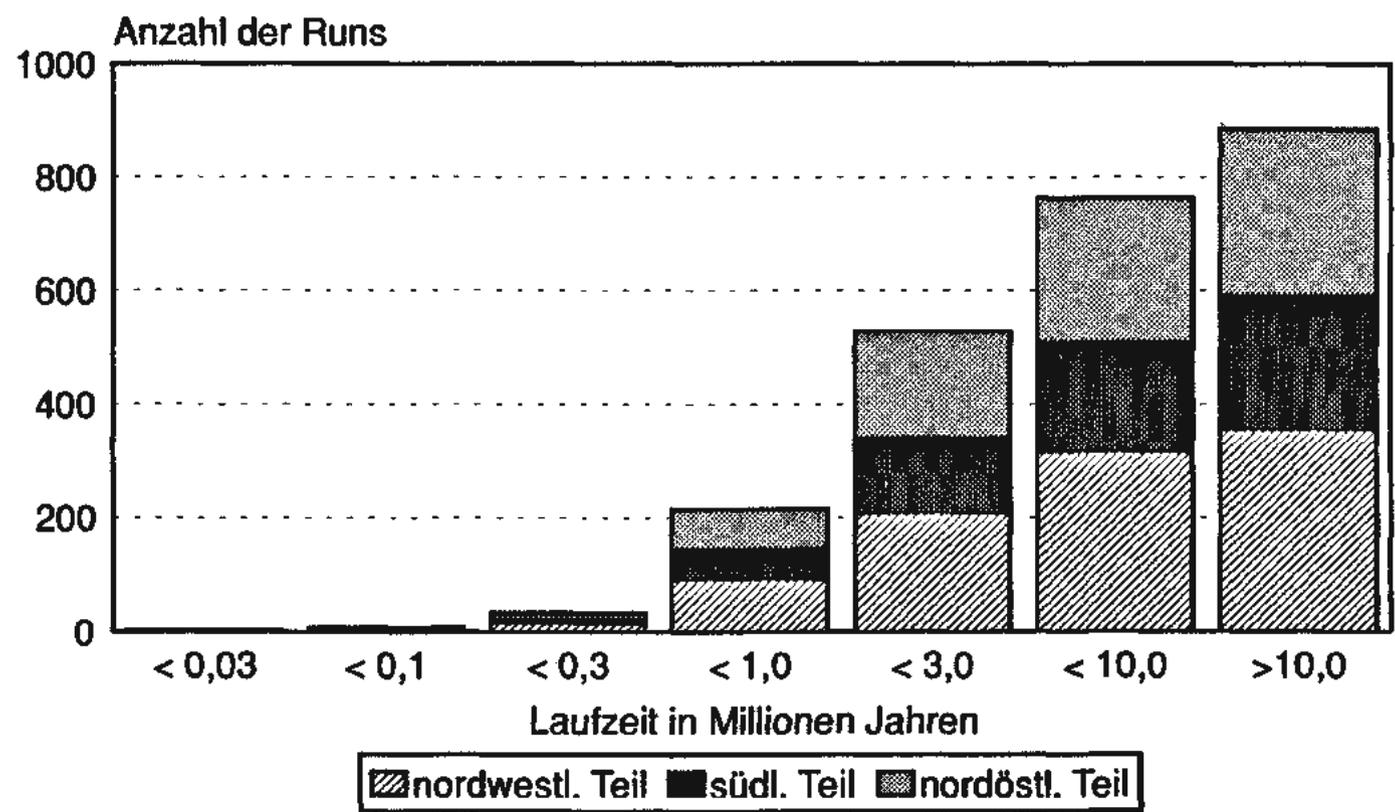
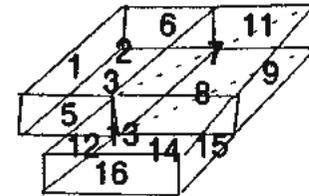


Bild 13.2: Kumulative Häufigkeit der drei Gruppen von Partikelstartpunkten (Stichprobenumfang = 900) über der Partikelauflaufzeit



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run17

Fluß in m³/a (Tausender)

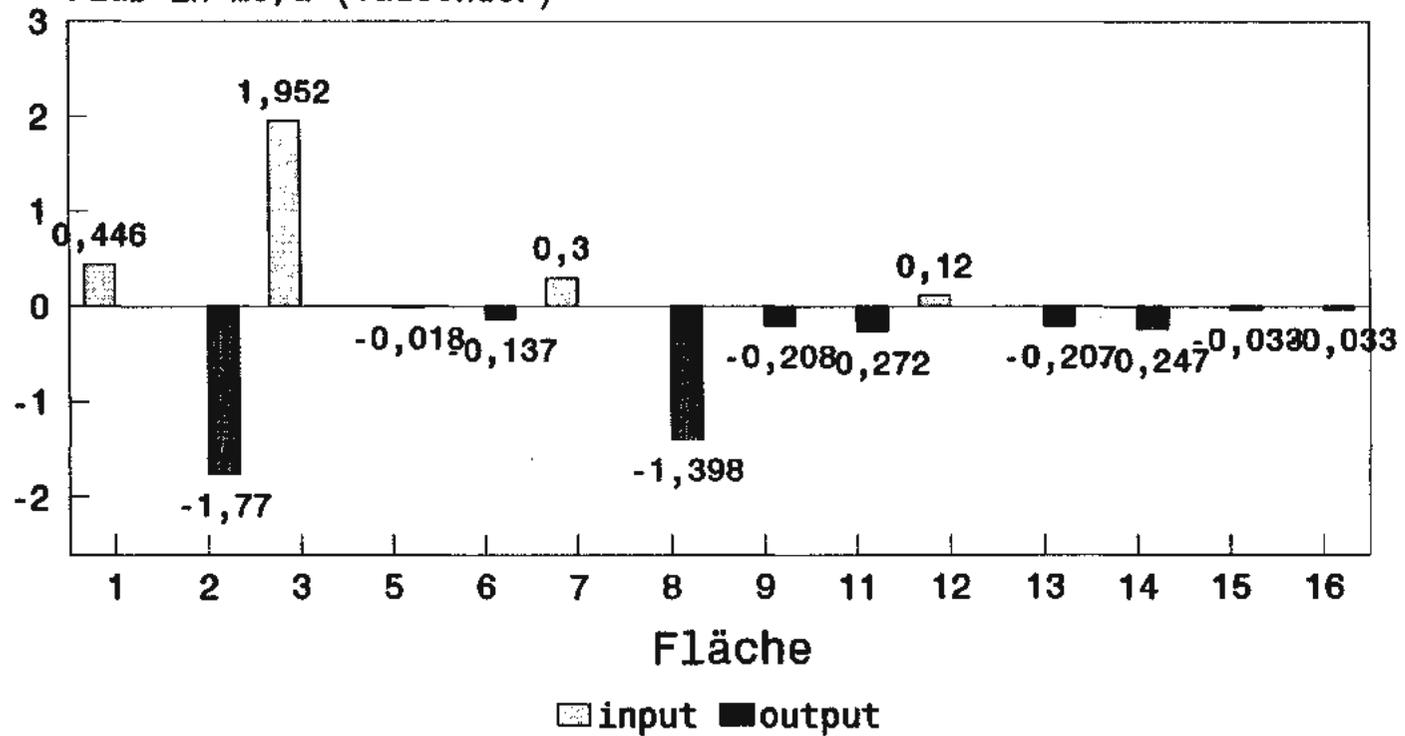
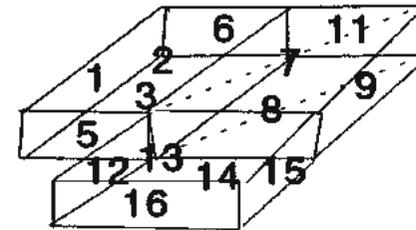


Bild 14.1: GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 17 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run20

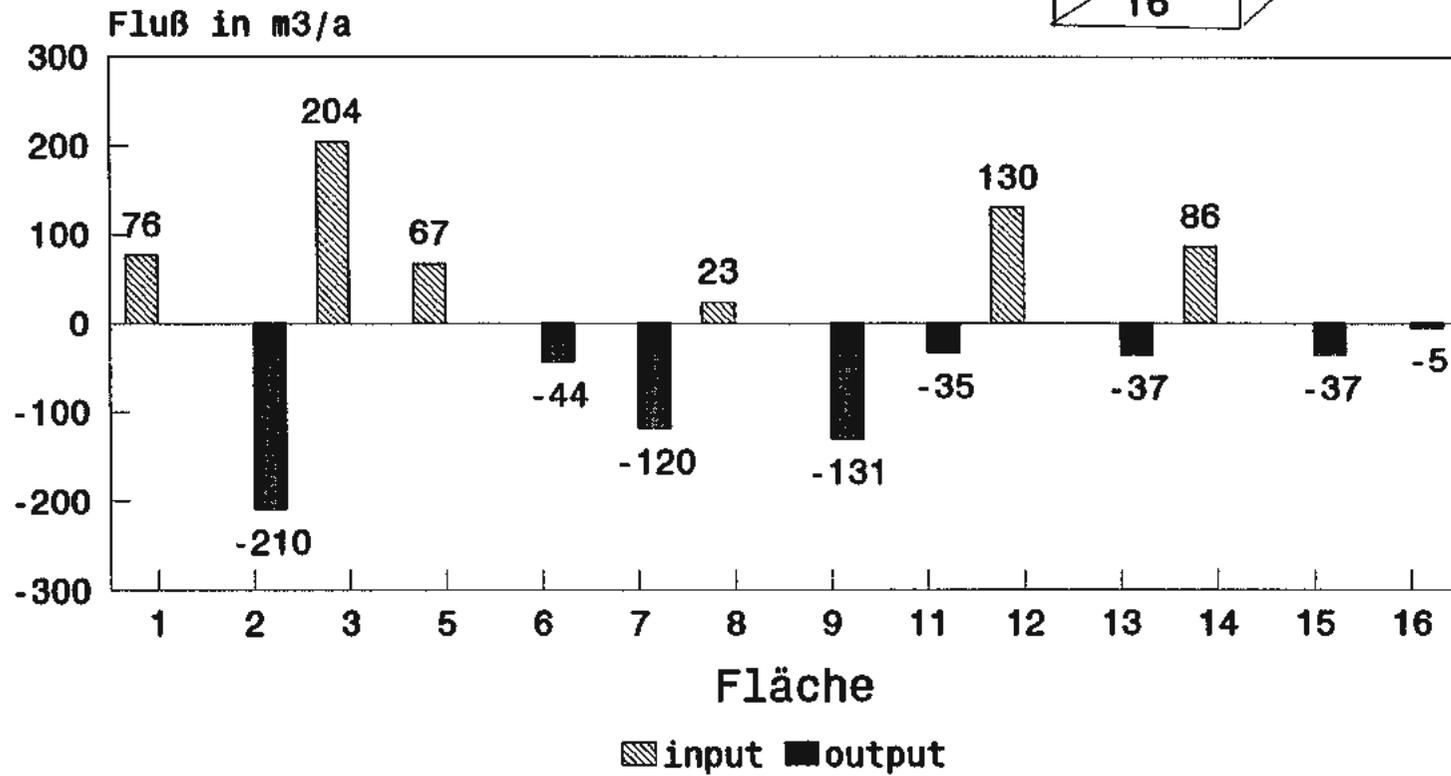
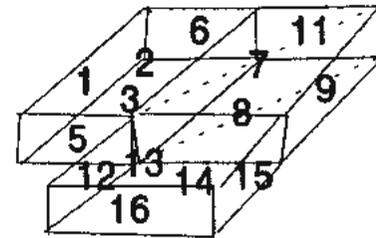


Bild 14.2:

GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 20 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run22

Fluß in m³/a

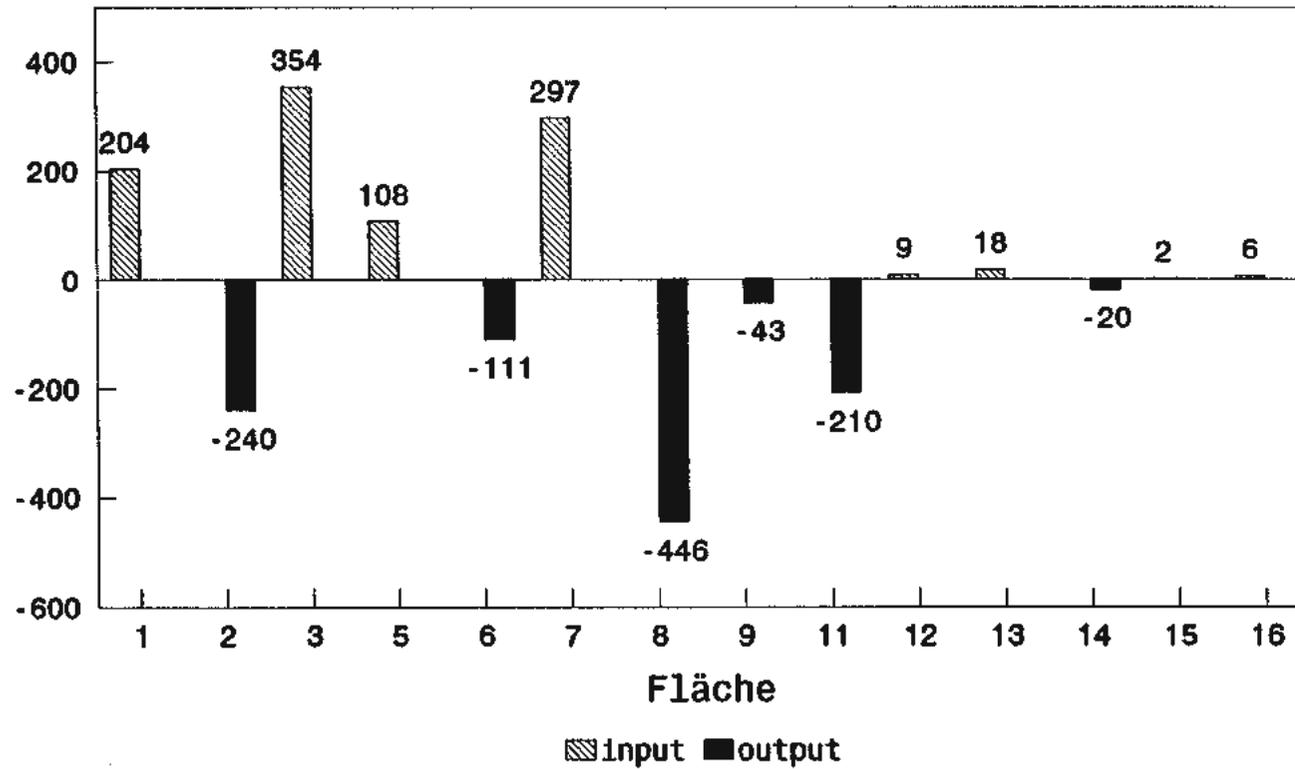
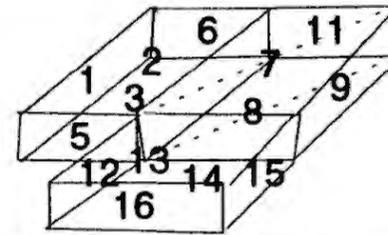


Bild 14.3: GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 22 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run24

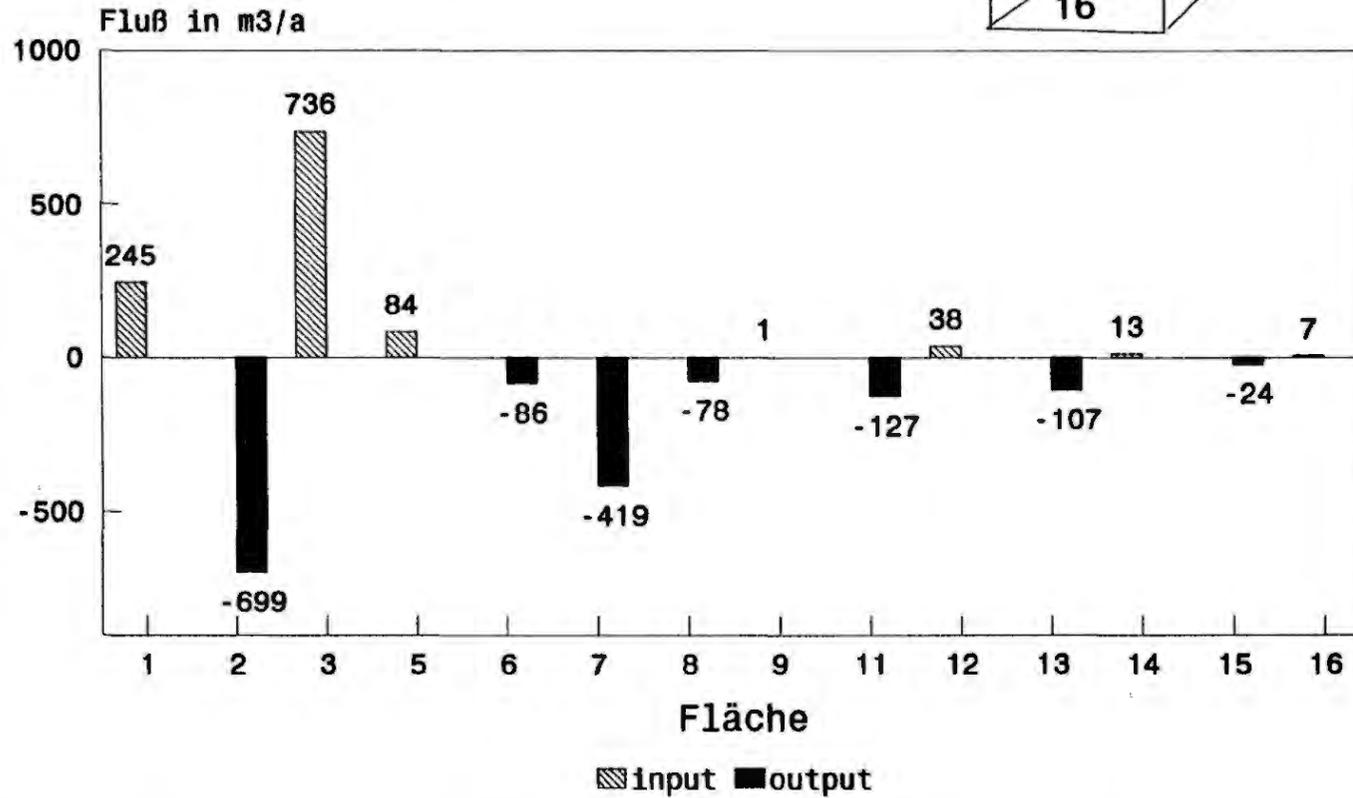


Bild 14.4:

GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 24 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)

Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run28

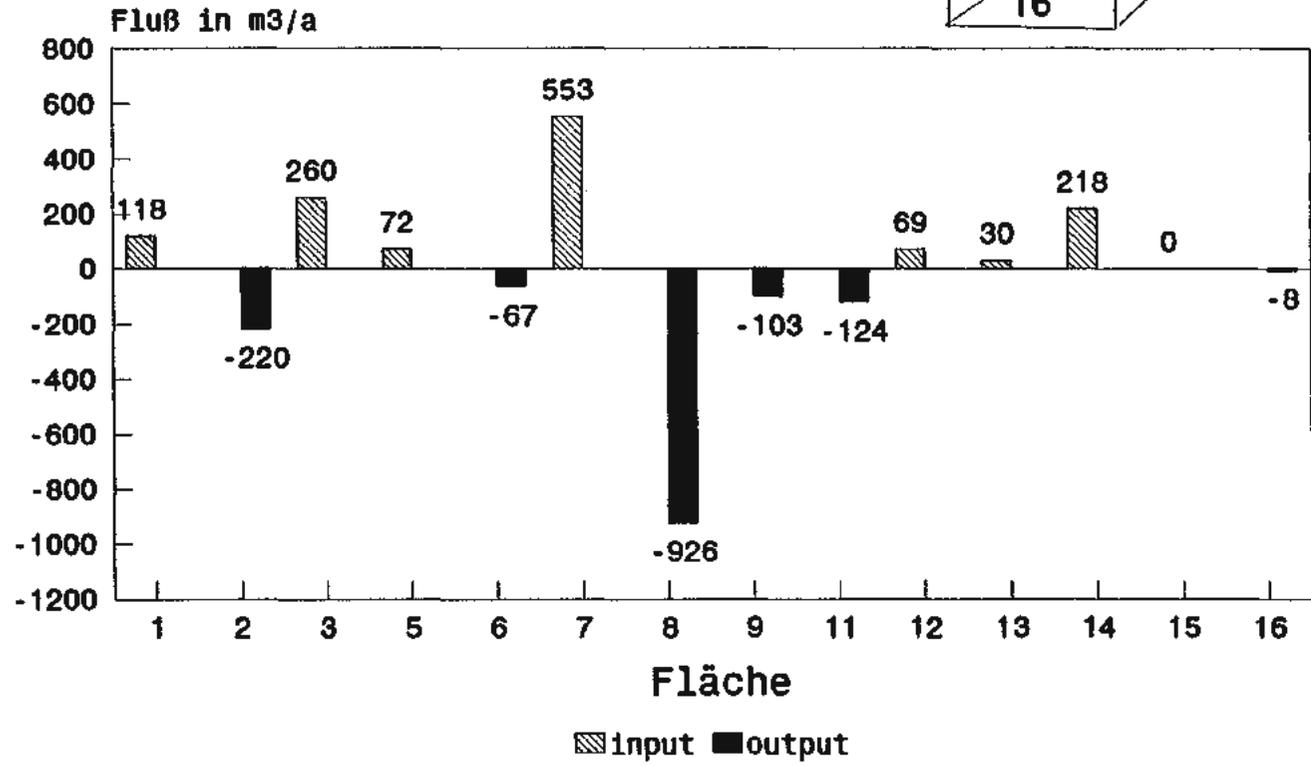
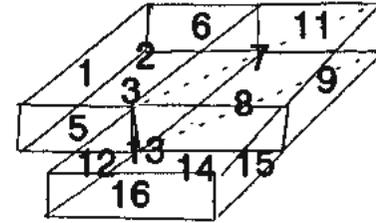
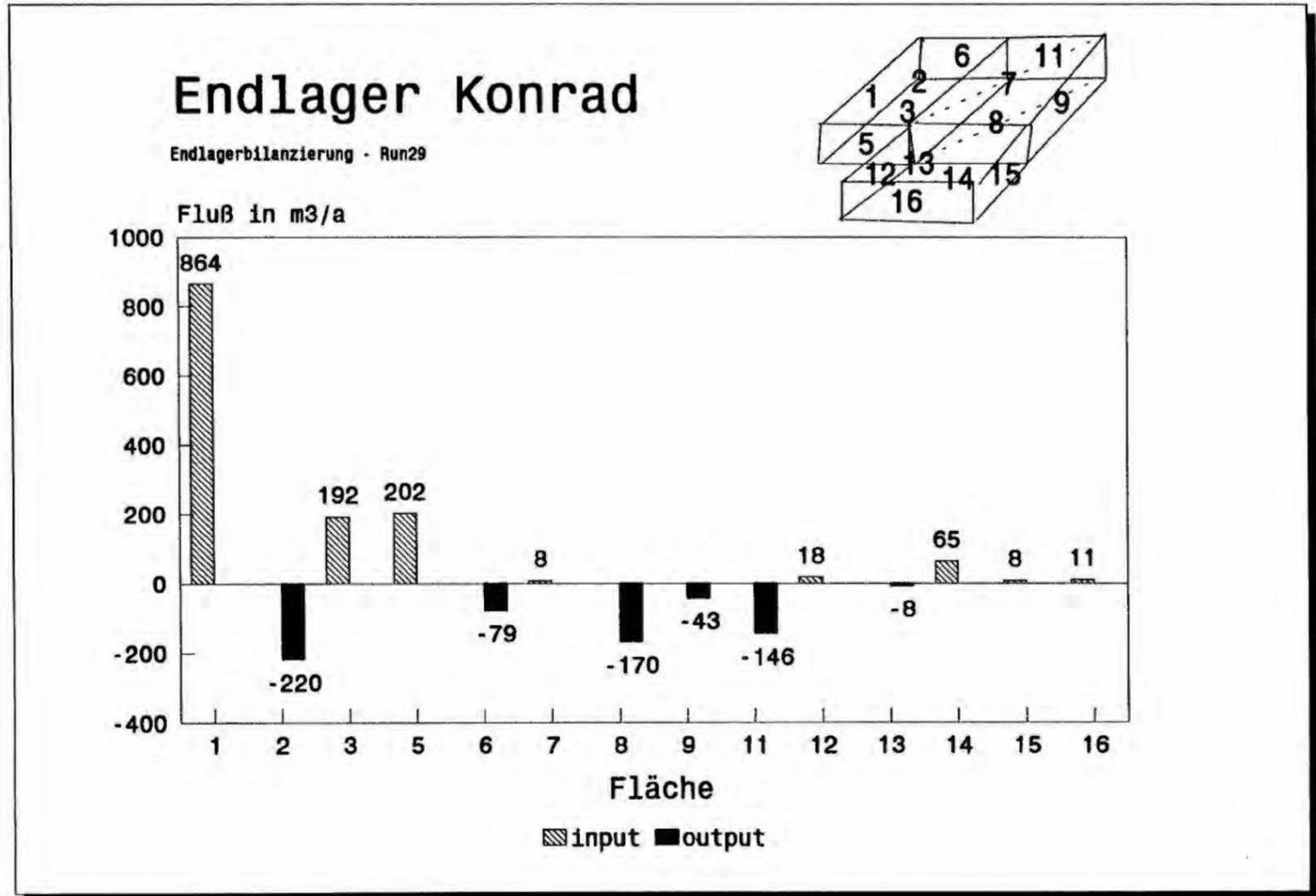
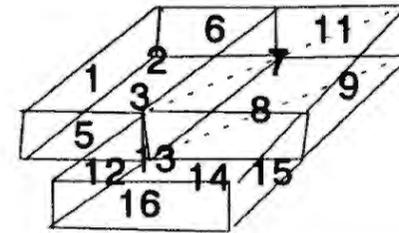


Bild 14.5:

GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 28 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)

Bild 14.6: GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 29 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)





Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run31

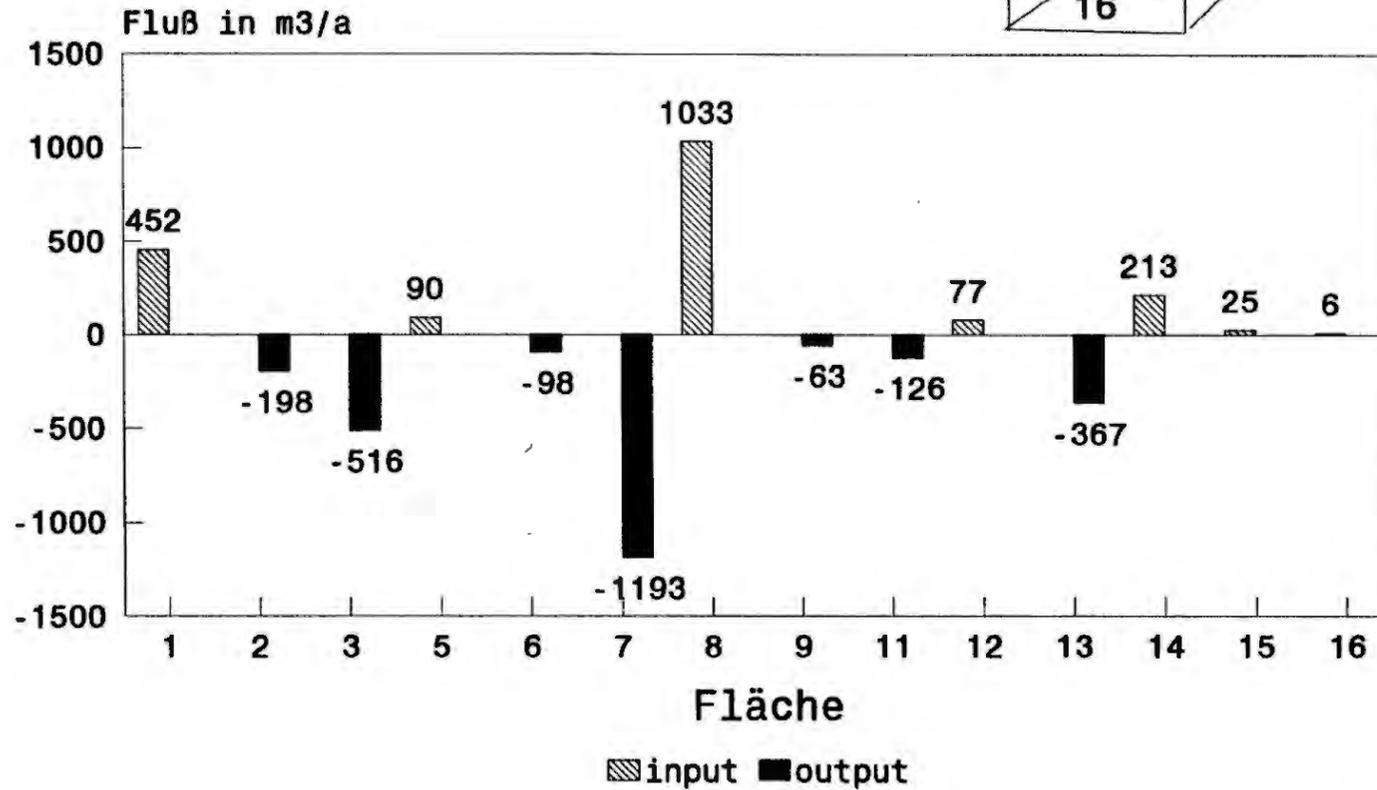


Bild 14.7:

GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 31 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)

Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run32

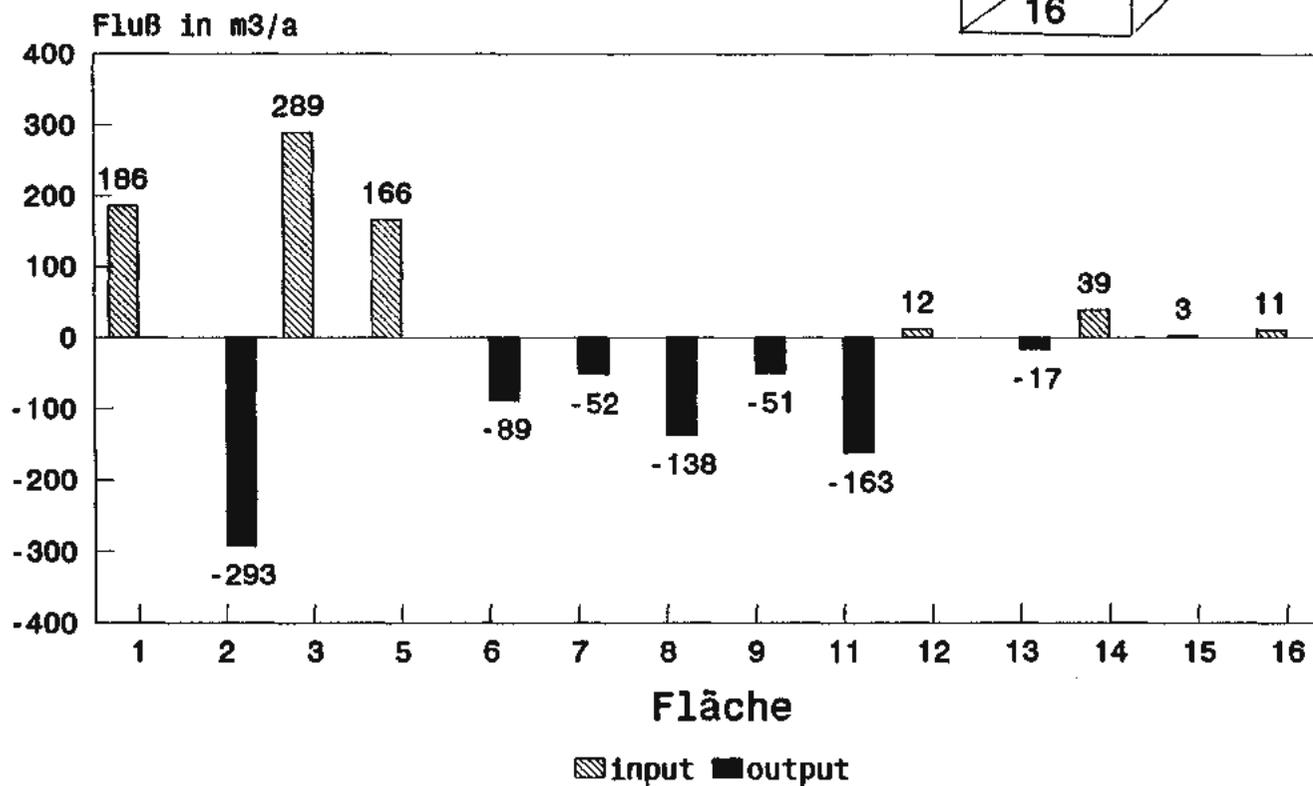
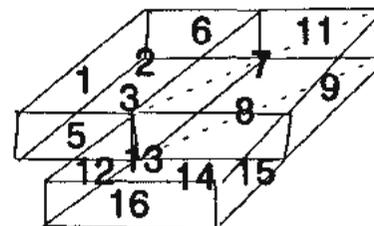
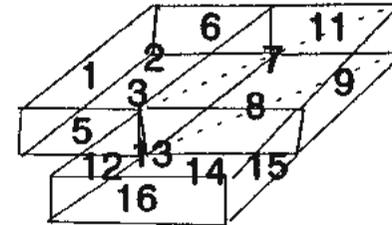


Bild 14.8:

GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 32 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run36

Fluß in m³/a (Tausender)

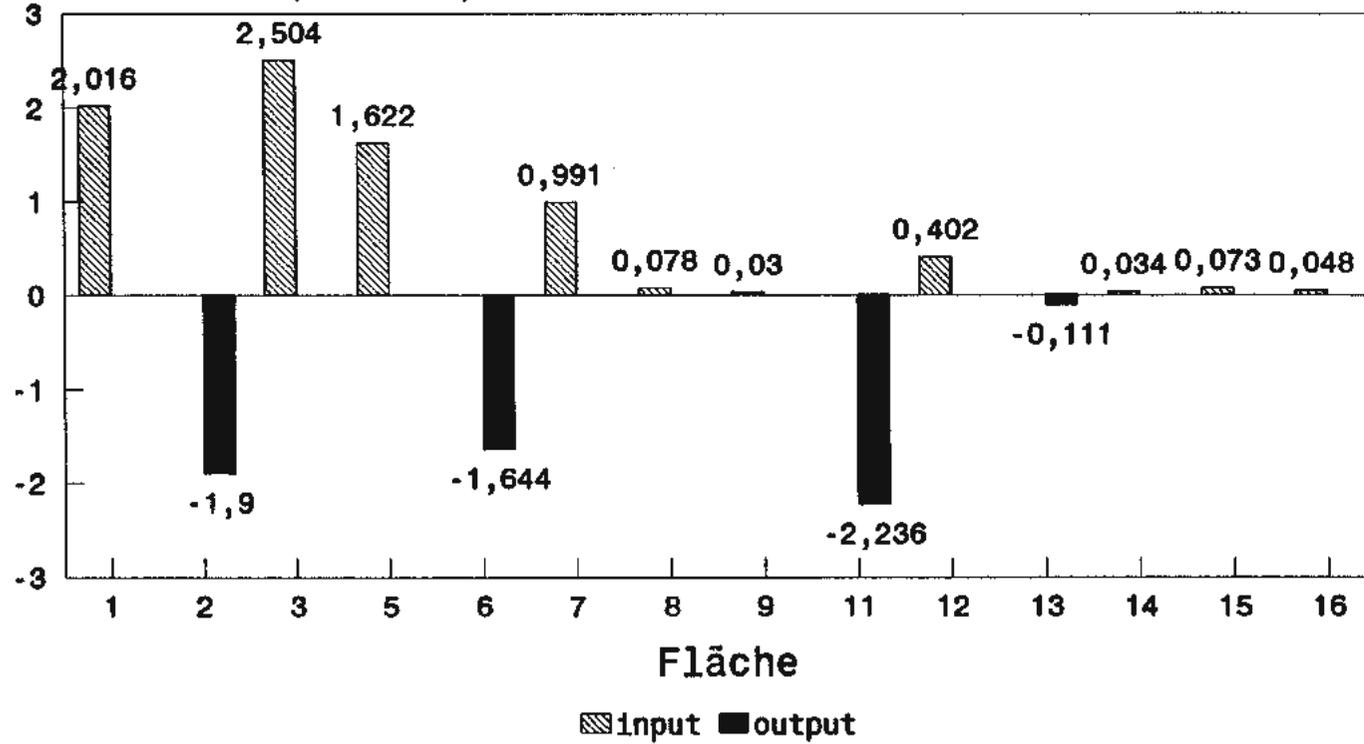
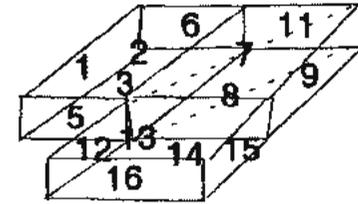


Bild 14.9: GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 36 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run41

Fluß in m³/a (Tausender)

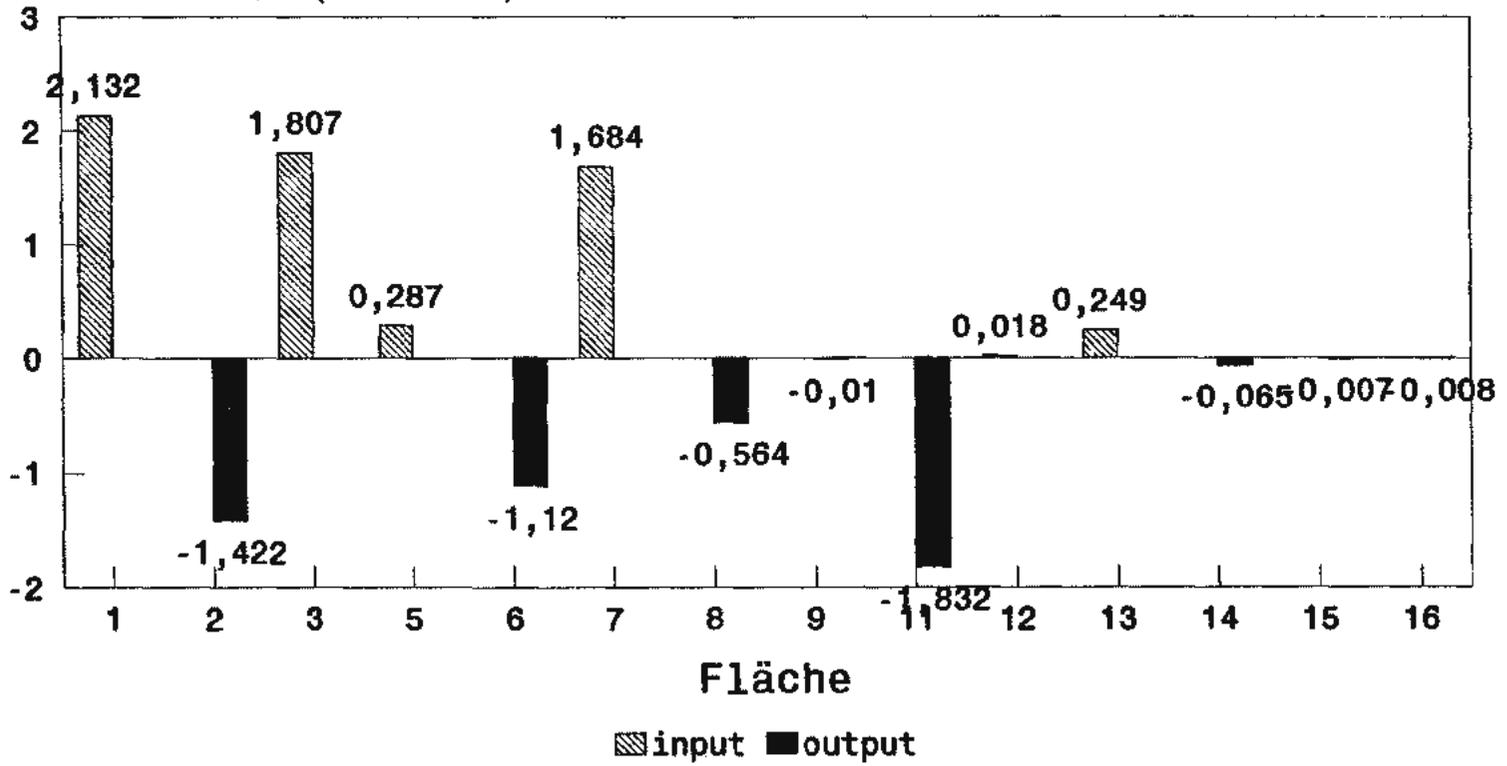
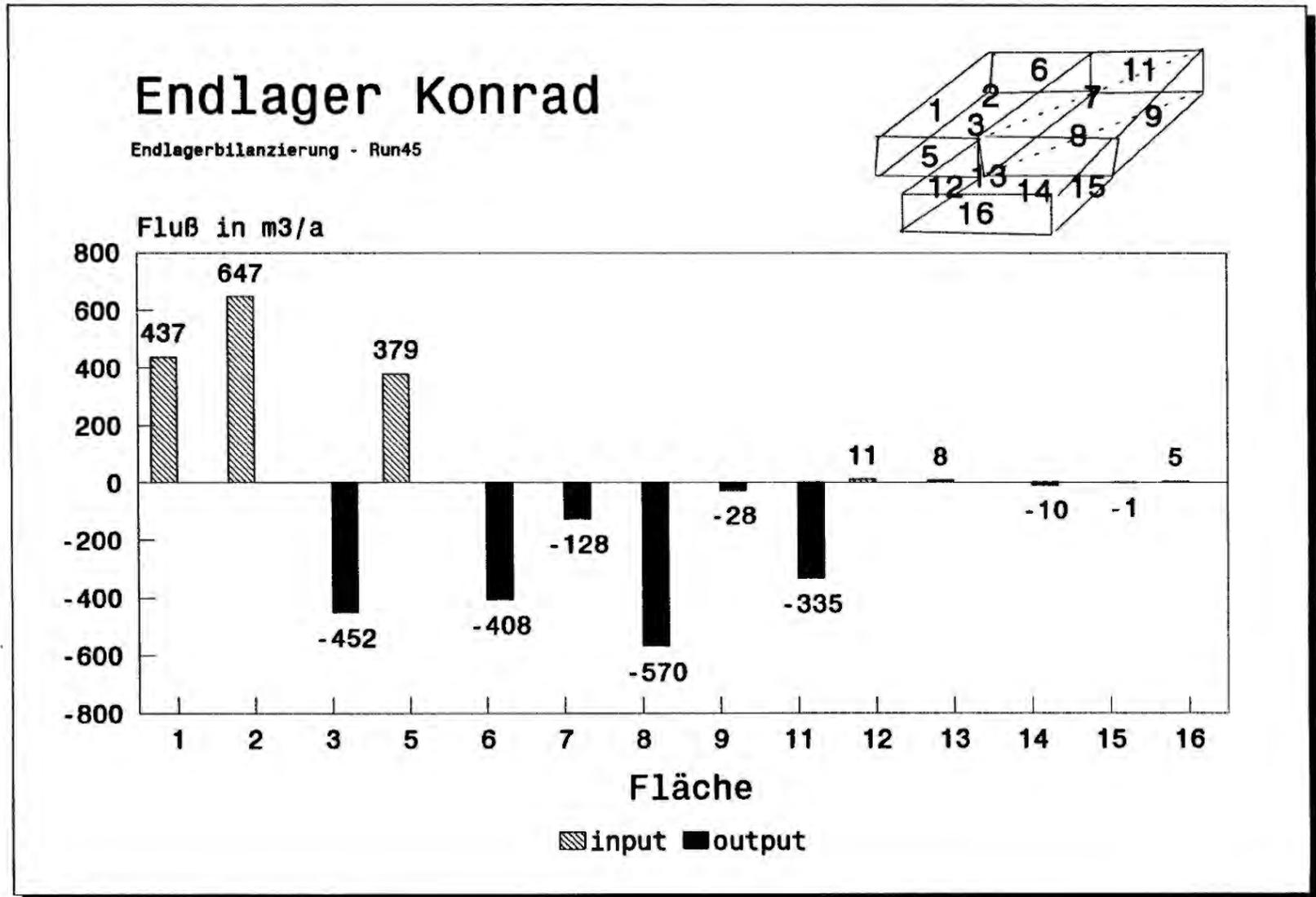


Bild 14.10: GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 41 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)

Bild 14.11: GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 45(negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run46

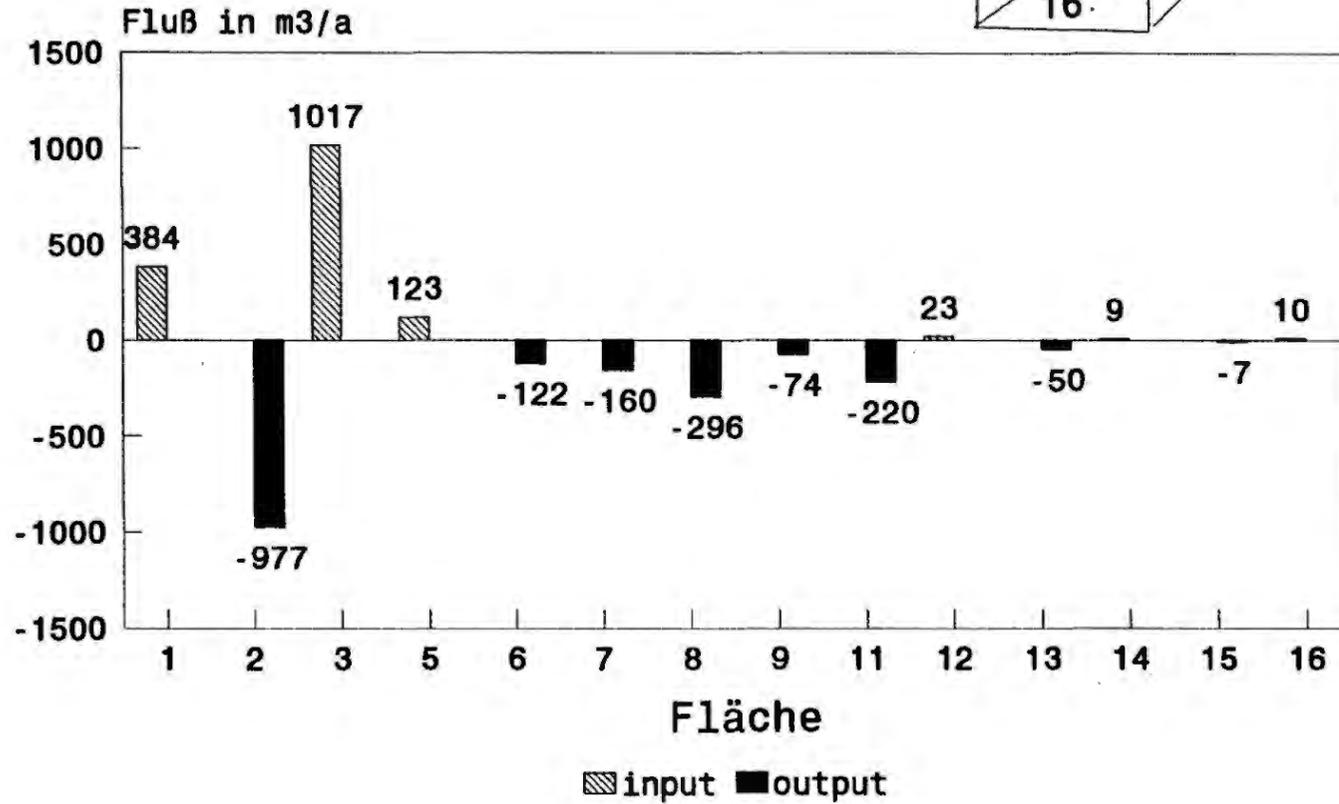
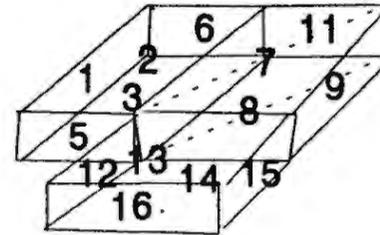
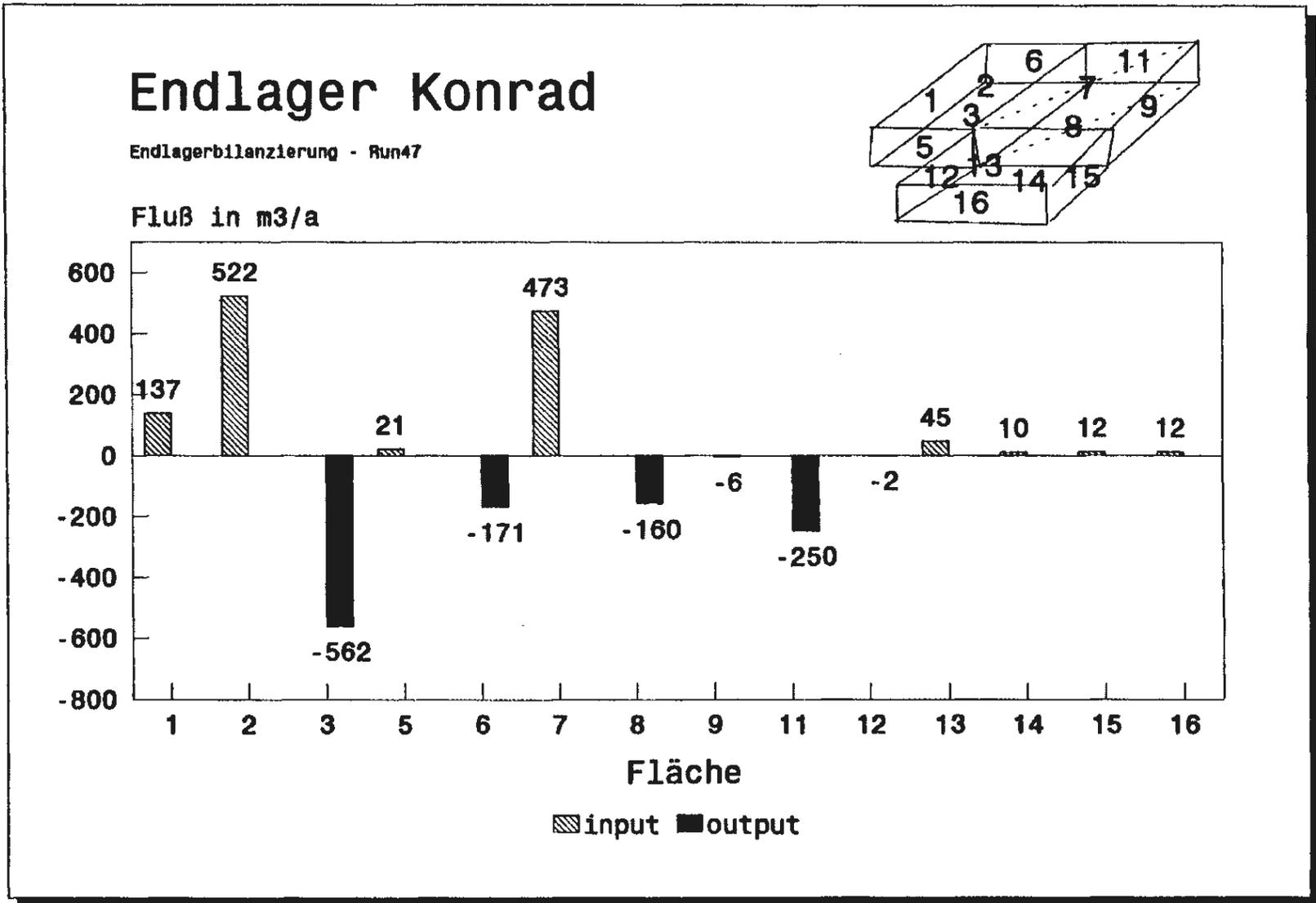


Bild 14.12:

GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 46 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)

Bild 14.13:

GW-Flubbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 47(negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)



Endlager Konrad

Endlagerbilanzierung - Run51

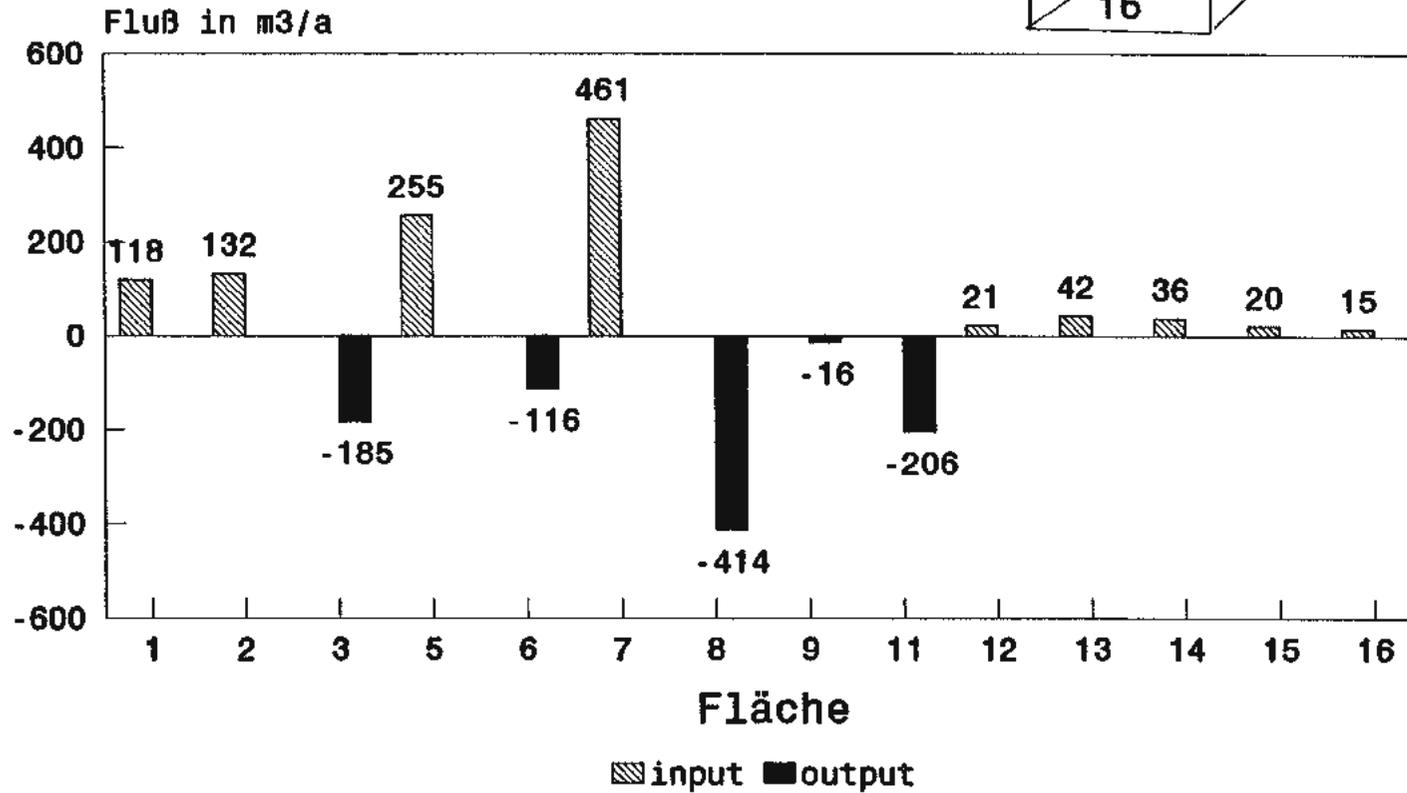
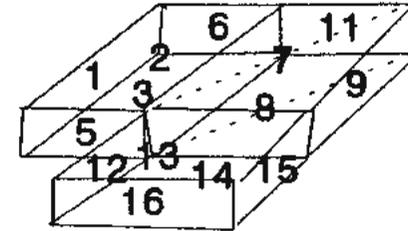


Bild 14.14:

GW-Flußbilanzierung der einzelnen Teilflächen des Endlagers für den Lauf 51 (negative Flüsse = Ausstrom aus dem Endlager, positive Flüsse = Einstrom in das Endlager)

Verteiler

TÜV-Hannover/Sachsen Anhalt

5 x

GRS

Geschäftsführer

je 1 x

Bereichsleiter

je 1 x

Projektbetreuung

je 1 x

Abteilung 604

1 x

Autoren

1 x

2 x

1 x

1 x

Gesamtauflage: 22 x