

**DECKBLATT**

EU 431	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
9K	3282.35	-	EG	RB	0013	00	

Titel der Unterlage:

Helium-Diffusionsmessungen in der Schachtanlage Konrad

Seite:

I.

Stand:

16.03.1990

Ersteller:



Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP.../...:

zu Plan-Kapitel: 3.9

PL

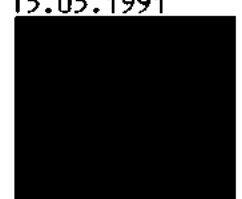
15.05.1991



Freigabe für Behörden

PL

15.05.1991

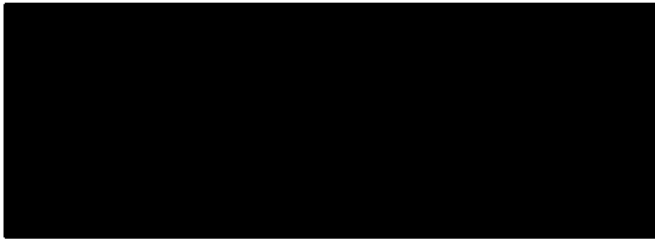


Freigabe im Projekt

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



Auftragnehmer/Verfasser/Bearbeiter



Ort, Datum

Erlangen, 05.03.90

Projekt Nr.: 9K/3282.35

Der Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN Bundesanstalt (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

# Untersuchungs - Bericht

90/43  
 Numerierung (Dienststelle/Jahr/Id. Nr.)

Thema/Anlaß

Erlangen, 16.03.90  
 Ort/Datum

Helium-Diffusionsmessungen in der Schachtanlage Konrad

Verfasser Dienststelle

Bezug (z. B. Projekt, F + E-Vorhaben)

1 KW 22F-C-0000-781 005

Stichworte: Diffusionsmessung, Helium, Endlager, Eisenerz

21  
 Klasse Unterschrift Freigebender (für Inhalt, Klassif., Verteilung)

ZXX007	BT	K338.4	900043
	UA	Inhaltskennzeichen	Zähl-Nr.

Zusammenfassung 

Seiten
--------

 Textseiten 15 Anlagen 5 (Bei Besprechungsberichten voransetzen: Gesprächs-Ort, -Datum, Teilnehmer)

zu erledigen durch bzw. z. Kenntnis/Termine

Für das geplante Endlager Konrad wurde im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) der Helium-Diffusionskoeffizient in einer Eisenerzformation bestimmt. Für die Messungen standen zwei 15 m tiefe Bohrlöcher zur Verfügung. Der Abstand zwischen den Bohrlöchern betrug 1,5 m. In 12 m Tiefe wurden in den Bohrlöchern Doppelpacker gesetzt. Von den so geschaffenen, abgeschlossenen Volumina wurde eines zur Einspeisung von Helium und das andere zur Probenahme benutzt. Der Heliumgehalt auf der Probenahmeseite wurde mit einem Helium-Lecksuch-Detektor bestimmt. Für den Diffusionskoeffizienten wurde ein Bereich von  $6 \text{ E-8 m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  bis  $2 \text{ E-8 m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  gefunden. Dieser Wert stimmt mit eigenen früheren Messungen überein /Lit. 3/.

Der Empfänger dieser Unterlage ist verpflichtet, diese vertraulich zu behandeln. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts -- auch auszugsweise -- nicht gestattet, soweit nicht schriftlich zugestanden. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintragung. Nicht mehr benötigte Unterlagen sind zuverlässig zu vernichten, es sei denn, Empfänger hat Archivierungspflicht.

GgZ für externe Freigabe (nicht erf. bei Vorprüfbericht)

Verteiler (falls nur Zusammenfassung zur Kenntnisnahme: „z. K.“ anfügen):

Geändert:

In- dex	Datum	Seite	Gegen- zeichnung

ZUSTAND	ZWECK	G Q B A	K K K I E N
		X	



Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Theorie
- 3 Versuchsaufbau
- 4 Versuchsdurchführung
- 5 Versuchsauswertung
- 6 Versuchsergebnisse
- 7 Diskussion
- 8 Literatur

Anlagen:

Tabellen

Abbildungen

---

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

- Tabelle 1:           Kalibrierwerte für den Helium-Lecksuchdetektor HLD
- Tabelle 2:           Helium-Meßwerte am HLD
- Tabelle 3:           Helium-Meßwerte /vpm He/
- Tabelle 4:           Helium-Meßwerte in Bohrloch 5/128 innen mit  
Nullpunkt-Korrektur von 34 vpm Helium
- Abbildung 1:         Helium-Konzentrations-Zeitkurven für verschiedene  
Diffusionskoeffizienten







2 Theorie

Die Konzentrations-Zeit-Kurve eines Gases, das durch eine Ge-  
steinsschicht diffundiert, wird durch das zweite Ficksche Gesetz  
beschrieben (1).

$$(1) \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

- D = Diffusionskoeffizient  $m^2 \cdot s^{-1}$
- C = Konzentration  $vpm$
- x = Ortskoordinate  $m$
- t = Zeit  $s$

Wenn die Konzentration  $C_0$  an der He-Aufgabestelle ( $x = 0$ ) kon-  
stant gehalten wird, dann ergibt sich für den linearen Fall  
als Lösung für die obige Differentialgleichung die Gleichung (2).

$$(2) \frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}}$$

Gleichung (2) kann dazu benutzt werden, um für verschiedene  
Diffusionskoeffizienten die Konzentrations-Zeit-Kurven in einem  
bestimmten Abstand zu berechnen /Lit. 1/. Durch Vergleich der  
berechneten Kurven mit den experimentellen Werten kann dann  
der Diffusionskoeffizient ermittelt werden. Die lineare Be-  
trachtungsweise ist hierbei als Näherung anzusehen. Für eine  
genauere Bestimmung des Diffusionskoeffizienten sind die experimen-  
tellen Werte mit der zylindrischen Diffusion zu vergleichen.  
Bei bereits bekanntem Diffusionskoeffizienten D kann nach den  
ersten Fickschen Gesetz der Teilchenstrom  $\dot{n}$  berechnet werden,  
der im stationären Zustand pro Zeiteinheit  $\Delta t$  durch eine Fläche F  
tritt /Lit 1/.  $\Delta C$  ist dabei der Konzentrationsabfall über  
der Strecke  $\Delta x$  (3).

$$(3) \frac{\Delta n}{\Delta t} = - F \cdot D \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} \quad \frac{\Delta C}{\Delta x} = \text{konstant}$$

Für eine Einlagerungskammer in einem Endlager kann nach Formel (3)  
berechnet werden, wie groß der Teilchenstrom ist, der aus dieser

I

...



---

heraus, durch das Gebirge bis in eine benachbarte Strecke diffundiert. Für  $F$  ist dabei die Seitenfläche der Kammer und für  $\Delta x$  der Abstand zur Nachbarstrecke einzusetzen.



3 Versuchsaufbau

Versuchsort: Schachtanlage Konrad, Ort 522, westlicher Stoß

Anzahl der Bohrlöcher: zwei, Bohrloch 5/128 und Bohrloch 5/129

Bohrlöcher: 15 m tief, Durchmesser 86 mm, 24° einfallend

Anordnung der Bohrlöcher: 1,5 m über der Sohle, Abstand zwischen den Bohrlöchern 1,5 m, 5/128 südlich, 5/129 nördlich

Packer: Doppelpackersystem, Abstand zwischen zwei Packern 1 m, freies Volumen zwischen den Packern ca. 5 l

Lage der Packer so, daß das freie Volumen sich zwischen den Packern in 11,7 m bis 12,7 m Tiefe in beiden Bohrlöchern befindet

Ausstattung der Packer mit je zwei 6 mm Schlauchleitungen, zur Spülung und zur Probennahme

Probennahme aus dem freien Volumen zwischen den Packern, (Bezeichnung 5/128 innen und 5/129 innen); außerhalb der Packer, aus 5 m Tiefe in den Bohrlöchern wurden ebenfalls Gasproben entnommen (Bezeichnung 5/128,5 m und 5/129,5 m)



Helium-Messung

mit einem Helium-Lecksuch-Detektor UL 100 von ██████████, daran angeschlossen ein Helium-Schnüffelgerät "Quicktest". Für den Versuch war das serienmäßige Gerät so umgebaut worden, daß eine Probenahme im Kreislauf möglich wurde. Mittels eines Kompensographen und eines Digitalvoltmeters wurden die Meßwerte registriert und abgelesen.



---

#### 4 Versuchsdurchführung

Zur Bestimmung des Helium-Diffusionskoeffizienten wurden zwei Versuchszyklen durchgeführt. Zu Beginn eines Zyklus wurde der Nullwert gemessen. Dazu wurden die Packer mit Druck beaufschlagt, damit sie eine abdichtende Wirkung erzielten. Dann wurde die Veränderung der Helium-Konzentration in dem freien Volumen zwischen den Packern beobachtet, bis sich ein konstanter Wert, der Nullwert einstellte. Danach wurde mit der drucklosen Einspeisung von Helium in das Bohrloch 5/129 in 11,7 m - 12,7 m Tiefe begonnen. In Bohrloch 5/128, ebenfalls zwischen den Doppelpackern in 11,7 m - 12,7 m Tiefe und zusätzlich in beiden Bohrlöchern in 5 m Tiefe wurde mit dem Helium-Lecksuchgerät der zeitliche Verlauf der Helium-Konzentration gemessen. Die Messungen erfolgten im wöchentlichen Abstand.

Vor jeder Messung wurde das He-Lecksuchgerät vor Ort mit Prüfgasen kalibriert. Die Helium-Gehalte der Prüfgase waren 25 vpm, 93 vpm und 989 vpm He. Mit der jeweiligen, resultierenden Kalibriergeraden konnten die mit dem Lecksuchgerät gemessenen Werte direkt in vpm He umgewandelt werden.

Nachdem die Helium-Front von Bohrloch 5/129 nach 5/128 diffundiert war und dort ein Anstieg in der Helium-Konzentration beobachtet werden konnte, wurde die Heliumzufuhr in 5/129 abgestellt und das Volumen zwischen den Doppelpackern in 5/129 mit Druckluft nach jeder Probennahme von Helium freigespült. An den Probennahmestellen außerhalb der Packer, in 5 m Tiefe, wurde ebenfalls der Abfall der Helium-Konzentration gemessen. Die Meßwerte von dem Helium-Lecksuchgerät wurden bei jeder Messung über einen Kompensographen registriert und zusätzlich an einem Digital-Voltmeter abgelesen und protokolliert.

I

...



---

Der erste Meßzyklus dauerte vom 09.05.89 bis zum 15.08.89. Nach der Nullpunktmessung wurde am 17.05.89 mit der Helium-Einspeisung begonnen und am 18.07.89 wurde sie wieder abgestellt. Der zweite Zyklus begann am 21.09.89. Die Helium Zufuhr dauerte vom 11.10.89 bis 24.11.89. Am 25.01.90 wurde die letzte Messung durchgeführt.

I

...



## 5 Versuchsauswertung

Die zu erwartenden Konzentrationsverläufe in dem Bohrloch 5/128 (Probennahmeseite) wurden für verschiedene Diffusionskoeffizienten berechnet, grafisch dargestellt und mit den Meßwerten verglichen. Als Berechnungsgrundlage diente Gleichung (2).

Mit dieser Gleichung wird die eindimensionale, lineare Diffusion beschrieben. Bei den Meßwerten wurde vor der grafischen Auftragung eine Nullpunktkorrektur vorgenommen. Da zwei Meßzyklen mit einer Versuchsdauer von zusammen 250 Tagen durchgeführt wurden, wurden die Meßergebnisse ebenfalls als zwei Kurven aufgetragen.

Kurve I beginnt mit dem Start der Helium-Einspeisung, den 17.05.89, im ersten Zyklus als Tag Null. Bei Kurve II wurde der Beginn der Helium-Einspeisung, der 11.10.89, im zweiten Zyklus auf den Tag Null der Zeitskala gelegt. Dies ist notwendig, weil sich die berechneten Kurven ebenfalls auf den Beginn der Helium-Einspeisung als Tag Null beziehen. Kurve II ist somit gegenüber Kurve I um 147 Tage zeitverschoben.

Aus der berechneten Kurve, die am besten mit den experimentellen Werten übereinstimmt, wurde der Diffusionskoeffizient von Helium bestimmt. Für eine erste Abschätzung ist die Berechnung der theoretischen Kurven nach Gleichung (2) ausreichend. Für eine genauere Bestimmung des Diffusionskoeffizienten sollte die zylindrische Diffusion berechnet werden.

## 6 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 1 bis 4 zusammengestellt. Tabelle 1 enthält die wöchentlichen Kalibrierwerte für den Helium-Lecksuch-Detektor, Tabelle 2 enthält die an den verschiedenen Punkten in den Bohrlöchern gemessenen Werte. Die Werte in Tabelle 3 wurden aus Tabelle 2 mit Hilfe von Kalibriergeraden ermittelt und in Tabelle 4 wurde mit den im Bohrloch 5/128 zwischen den Packern gefundenen Helium Konzentrationen aus Tabelle 3 eine Nullpunktkorrektur um 34 vpm durchgeführt.

In Abbildung 1 sind die nach Formel (2) berechneten Werte und die experimentellen Werte aus Tabelle 4 grafisch dargestellt. Die experimentellen Werte der Kurve I in Abbildung 1 beziehen sich dabei auf den 17.05.89, den Beginn der Helium-Einspeisung im ersten Zyklus und die experimentellen Werte der Kurve II in Abbildung 1 beziehen sich auf den 11.10.89, den Beginn der Helium-Einspeisung im zweiten Zyklus, als Tag Null auf der Zeitskala.

In Kurve I sind drei ansteigende Helium-Konzentrationsflanken, bei 20 Tagen, 170 Tagen und 200 Tagen zu erkennen. Die zweite und dritte Flanke entsprechen dabei den zeitverschobenen Konzentrationsanstiegen bei 25 Tagen und 55 Tagen in Kurve II.

Der höchste Konzentrationsanstieg, nach 55 Tagen in Kurve II entspricht einem Diffusionskoeffizienten  $D$  von  $2 \text{ E-}8 \text{ m}^2/\text{s}$ . Die Konzentrationsflanke bei 20 Tagen in Kurve I entspricht einem Diffusionskoeffizienten  $D$  von  $6 \text{ E-}8 \text{ m}^2/\text{s}$  und der Konzentrationsanstieg bei 25 Tagen in Kurve II ergibt einen Diffusionskoeffizienten der zwischen diesen beiden Werten liegt.

Als Versuchsergebnis kann für den Helium-Diffusionskoeffizienten darum ein Bereich von  $6 \text{ E-}8 \text{ m}^2/\text{s}$  bis  $2 \text{ E-}8 \text{ m}^2/\text{s}$  angegeben werden.

I

...



## 7 Diskussion

Während der gesamten Versuchszeit, auch noch nach Austausch der ersten Packer, traten Störungen durch undichte Packer auf. Diese äußerten sich durch schnellen Druckabfall an den Packern selbst oder durch entstehenden Überdruck im Volumen zwischen den Packern. Die Helium-Konzentrationen im Bohrloch 5/128 zwischen den Packern könnten durch ausströmende Druckluft aus den Packern verdünnt und die Meßergebnisse dadurch beeinflußt worden sein.

Der gefundene Bereich für den Diffusionskoeffizienten von  $6 \text{ E-}8 \text{ m}^2/\text{s}$  bis  $2 \text{ E-}8 \text{ m}^2/\text{s}$  steht jedoch mit früheren eigenen Messungen in der Schachtanlage überein /Lit. 3/.

Zu Vergleichszwecken sind in Abbildung 1 theoretische und experimentelle Kurven gegenübergestellt.

Aus dem steilen Konzentrationsanstieg der Kurve I bei 200 Tagen und dem schnellen Abklingen der Kurve ist eindeutig zu erkennen, daß diese nicht mit einem Diffusionskoeffizienten von  $5\text{E} - 9 \text{ m}^2/\text{s}$  übereinstimmt. Eine bessere Übereinstimmung zwischen experimentellen und theoretischen Werten ergibt sich für die gleiche Konzentrationsflanke auf der zeitverschobenen Kurve II mit dem Diffusionskoeffizienten  $2 \text{ E-}8 \text{ m}^2/\text{s}$ . Der Konzentrationsanstieg ist somit eindeutig dem zweiten Versuchszyklus zuzuordnen.

Bei Verwendung der zylindrischen Diffusionsgleichung würden sich gegenüber der linearen Diffusion etwas höhere Werte für den Diffusionskoeffizienten ergeben. In dem beobachteten Bereich ist der Unterschied kleiner als der Faktor 2.

I

...

---

8 Literatur

- /1/ J.W Higgo, T.G. Cole, L.V.C. Rees  
Diffusion of Radionuclides through  
Deep-Sea Sediments  
Radiochimica Acta 44/45, 231-238 (1988)
- /2/ J.W. Berry, P.J. Bourke  
Sorption of Radionuclides on  
Sandstones and Mudstones  
Radiochimica Acta 44/45, 135-141 (1988)
- /3/ H. Beyer, R. Beck  
Bestimmung des Helium-Diffusionskoeffizienten in einer  
Eisenerzformation der Schachtanlage Konrad  
Siemens Arbeits-Bericht U9 241/89/210

Kalibrierungen (Messungen für BGR)

Datum	25 vpm x 1 E-7	93 vpm x 1 E-7	989 vpm x 1 E-6
09.05.	2,23	7,9	8,04
17.05.	2,27	8,72	8,28
24.05.	2,16	8,44	7,85
31.05.	2,18	8,20	8,01
01.06.	2,07	7,78	7,43
06.06.	2,31	8,61	8,27
13.06.	2,33	8,50	8,23
27.06.	2,32	8,40	8,80
11.07.	2,38	8,93	8,81
18.07.	2,41	8,87	8,85
25.07.	2,27	8,85	8,60
15.08.	2,50	9,80	8,00
21.09.	2,40	9,20	9,10
27.09.	2,38	8,95	8,55
05.10.	2,34	8,55	8,35
11.10.	2,33	8,69	8,42
19.10.	2,26	8,54	8,41
25.10.	2,27	8,30	8,15
03.11.	2,26	8,31	8,22
10.11.	2,25	8,40	8,02
16.11.	2,22	8,22	8,05
24.11.	0,82	7,86	7,88
30.11.	1,50	5,21	5,05
06.12.	1,43	5,27	5,23
14.12.	1,38	5,10	5,03
25.01.	1,48	5,33	5,24

Tab. 1 Kalibrierwerte für den  
Helium-Lecksuchdetektor

I

...



Datum	Tag	Probennahme		Einspeisung		Packerdruck bar	
		5/128 innen	5/128 5 m	5/129 innen	5/129 5 m	5/128	5/129
26.04.		0,88					
09.05.		4,5	0,64	2,82	0,82		
17.05.	8	3,1	0,58	3,1			
24.05.	15	5,91					
01.06.	23	10,4					
06.06.	28	18,3					
13.06.	35	17,1					
27.06.	49	14,9					
11.07.	63	12,9					
18.07.	70	8,9					
25.07.	77	10,0		5550			
15.08.	98	2,5			11,0		
21.09.	135	2,8	1,8	3,4	1,2	19,7	18,7
27.09.	141	3,2	1,9	3,7	1,5	18,4	18,1
05.10.	149	3,8	1,8				
11.10.	155	4,5	1,92	3,3	2,1	18,4	16,4
19.10.	163	5,6	151		4650	16,8	2,05
25.10.	169	9,1	61,0		3250	17,8	17,9
03.11.	178	13,2	81,0		2640	16,1	17,1
10.11.	185	9,9	56,8		4000	15,0	16,9
16.11.	191	14,0	37,1		1410	14,1	16,8
24.11.	199	12,0	18,0		1640	14,1	16,8
30.11.	205	33,6	3,5	1560	32,1	12,8	10,05
06.12.	210	31,1	1,05	779	11,7	11,4	10,05
14.12.	218	24,4	0,92	4,0	0,47	17,4	0
25.01.	260	13,2	0,66		0,33	17,6	0

Tab. 2 Helium Meßwerte am HLD

Angaben in Skalenteilen x1 E-7

5/128

5/129 Bezeichnung der Bohrlöcher an Ort 522

I

Datum	Tag	Probennahme		Einspeisung		
		5/128 innen	5/128 5 m	5/129 innen	5/129 5 m	
09.05		53	10	31	8	
17.05.	8	34	6	34	-	Beginn He-Ein- speisung
24.05.	15	68		-	-	
01.06.	23	118		-	-	
06.06.	28	215		-	-	
13.06.	35	193		-	-	
27.06.	49	164		-	-	
11.07.	63	137		-	-	
18.07	70	94		-	-	Ende He-Einspeisung
25.07.	77	105		-	-	
15.08.	98	25		-	125	
21.09.	135	29	19	35	13	
27.09.	141	33	20	39	16	
05.10.	149	41	20	-	-	neue Packer
11.10.	155	49	22	100 %	13	Beginn He-Ein- speisung
19.10.	163	61	1960	100 %	6,2 %	
25.10.	169	83	740	100 %	4,3 %	
03.11	178	110	960	100 %	3,6 %	
10.11.	185	88	637	100 %	5,3 %	
16.11.	191	92	440	100 %	1,9 %	
24.11.	199	101	220	100 %	2,3 %	Ende He-Einspeisung
30.11.	205	420	63	2,2 %	570	
06.12.	210	500	18	1,04 %	200	
14.12.	218	490	16	72	8	
25.01.	260	232	12	-	5	

5/128

5/129

Bezeichnung der Bohrlöcher an Ort 522

Tab. 3 Helium Meßwerte /vpm He/

I

...



---

Datum	Versuchs- Tag	He-Meßwert vpm	
17.05.	8	0	Beginn He-Einspeisung
24.05.	15	34	erster Zyklus
01.06.	23	84	
06.06.	28	181	
13.06.	35	159	
27.06.	49	130	
11.07.	63	103	
18.07.	70	60	
25.07.	77	71	
15.08.	98	0	
21.09.	135	0	
27.09.	141	0	
05.10.	149	7	
11.10.	155	15	Beginn He-Einspeisung
19.10.	163	27	zweiter Zyklus
25.10.	169	49	
03.11.	178	76	
10.11.	185	54	
16.11.	191	58	
24.11.	199	67	
30.11.	205	386	
06.12.	210	466	
14.12.	218	454	
25.01.90	260	198	

Tab. 4: Helium Meßwerte in Bohrloch

5/128 innen mit Nullpunkt-Korrektur von 34 vpm Helium

I

...



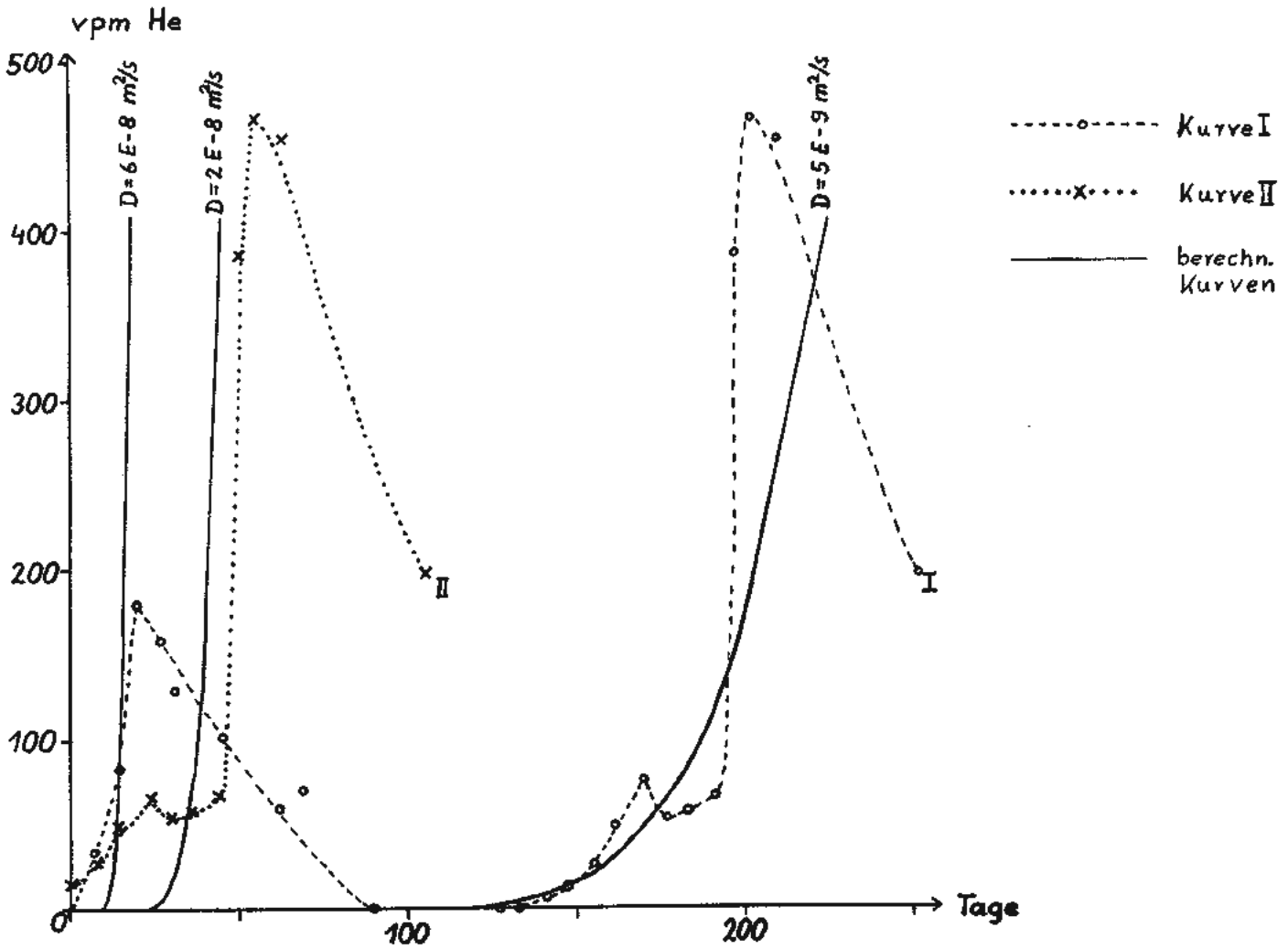


Abb. 1: Helium-Konzentrations-Zeitkurven für verschiedene Diffusionskoeffizienten

Diffusionsstrecke: 1,5 m

Kurve I und II: experimentelle Werte

Kurve I: 17.05.89 = Tag 0

Kurve II: 11.10.89 = Tag 0

I