



Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten

Band 2

Dieses Methodenhandbuch „Deponieuntergrund“ ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Forschungsverbundvorhabens „Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten“ (Projektträgerschaft „Abfallwirtschaft und Altlastensanierung“ beim Umweltbundesamt; Förderkennzeichen 1460605/A0) entstanden.

Die Verantwortung für den Inhalt der Beiträge liegt bei den jeweiligen Autoren.

Springer

Berlin
Heidelberg
New York
Barcelona
Budapest
Hong Kong
London
Mailand
Paris
Santa Clara
Singapur
Tokio

Thomas Lege Olaf Kolditz Werner Zielke

Strömungs- und Transportmodellierung

Mit Beiträgen von Harald Kasper und Frank Häger

Mit 169 Abbildungen und 109 Tabellen



Springer

DR.-ING. THOMAS LEGE¹
DR. RER.NAT. OLAF KOLDITZ
PROF. DR.-ING. W. ZIELKE
DIPL.-ING. HARALD KASPER
DIPL.-ING. FRANK HÄGER²

Institut für Strömungsmechanik und
Elektronisches Rechnen im Bauwesen

¹⁾ jetzt: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2, D-30655 Hannover

²⁾ jetzt: AVS UNIRAS GmbH
Heinrich-Hertz-Straße 40, D-40399 Erkrath

Wissenschaftliche Redaktion:
Dr. Matthias Schreiner
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2 D-30655 Hannover

ISBN-13: 978-3-642-64826-7 e-ISBN-13: 978-3-642-61407-1
DOI: 10.1007/978-3-642-61407-1

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten / BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. - Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Budapest ; Hong Kong ; London ; Mailand ; Paris ; Santa Clara ; Singapur ; Tokyo : Springer 1996
NE: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe <Hannover>
Bd. 2. Lege, Thomas: Strömungs- und Transportmodellierung. - 1996

Lege, Thomas: Strömungs- und Transportmodellierung / Thomas Lege ; Olaf Kolditz ; Werner Zielke. Mit Beitr. von Harald Kasper und Frank Häger. - Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Budapest ; Hong Kong ; London ; Mailand ; Paris ; Santa Clara ; Singapur ; Tokyo : Springer 1996
(Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten ; Bd. 2)

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1996

Einbandgestaltung: E. Kirchner, Heidelberg
Satz: Reproduktionsfertige Vorlage vom Autor

SPIN: 10495906

30/3136 – 5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort der Herausgeberin

Neue Deponien sollen auf geologisch und hydrogeologisch geeigneten Standorten errichtet werden. Der natürliche Untergrund dient als „geologische Barriere“ der Langzeitsicherheit von Deponien im Multibarrierenkonzept der Technischen Anleitung Siedlungsabfall - TASI. Aus zahlreichen älteren Deponien wurden Altlasten, deren Untergrund überwiegend durch das Fehlen geologischer Barrieren gekennzeichnet ist. Die Hydrogeologie verfügt damit prinzipiell über ein reichhaltiges Anschauungsmaterial zur Bedeutung geologischer Barrieren. In Deutschland sind nach einer Erhebung des Umweltbundesamtes ca. 140.000 Altlast-Verdachtsflächen erfaßt. Einige ausgiebig untersuchte Ablagerungen und Altstandorte sowie Erfolge und Mißerfolge von Sanierungsmaßnahmen lieferten bereits richtungweisende Erkenntnisse über Fließwege der Grund- und Sickerwässer und über das Verhalten der darin transportierten Schadstoffe. Die Komplexität physikalischer und chemischer Prozesse der Schadstoffbewegung sowie die Intransparenz und Heterogenität des Untergrundes übersteigen vielfach die Möglichkeiten der experimentellen Aufklärung. Feld- und Laboruntersuchungen müssen daher durch Computersimulationen ergänzt werden. Praktisch nicht meßbare und aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu beschaffende Daten sind so durch Parameterstudien indirekt zu ermitteln. Strömungs- und Transportmodelle dienen in erster Linie als Werkzeuge der hydrogeologischen Erkundung und müssen als solche eine weite Verbreitung finden. Der vorliegende Band soll dazu ermutigen, mehr eigene Erfahrungen mit mathematischen Modellen zu sammeln. Dadurch wird er auch helfen, einen kritischen Umgang mit Modellprogrammen für Prognosezwecke zu erlernen.

Gemessen an der Komplexität hydrogeologischer Erkundungsprobleme stecken sogar weit entwickelte Modellprogramme noch in den Anfängen. Da sich bisherige Forschungsaktivitäten auf die Modellierung von porösen bzw. quasiporösen Untergründen konzentrierten und die deutschsprachige Literatur über Transportprozesse in geklüfteten Festgesteinen recht spärlich war, wurde das Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen der Universität Hannover unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. W. Zielke mit dem Verfassen dieses Bandes auf der Grundlage eigener

Forschungsarbeiten beauftragt. Durch die Anwendung „der Theorie“ in Form eines Leitfadens auf die ehemalige Sonderabfalldeponie Münnehagen, eine der am besten untersuchten Altlasten, ist ein umfangreiches Werk entstanden, das in vielen Details Möglichkeiten mathematischer Modelle für Parameterstudien und Prognosen exemplarisch demonstriert.

Autoren und Herausgeber danken dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) ebenso, wie dem Projektträger Abfallwirtschaft und Altlastensanierung im Umweltbundesamt (UBA) für die Förderung im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens „Methoden zur Erkundung und Beschreibung des Untergrundes von Deponien und Altlasten“, Kurztitel „Deponieuntergrund“.

Der Dank gilt weiterhin den Revisoren Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernhard Hoffmann (Universität Hannover), Herrn Dr. Helmuth Vierhuff (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe - BGR) und Herrn Dipl.-Geol. Klaus Peter Röttgen (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung - NLFb) für die gründliche Durchsicht des Manuskriptes und zahlreiche konstruktive Hinweise für die Verbesserung.

Die wissenschaftliche Redaktion des Bandes lag in den Händen von Herrn Dr. M. Schreiner (BGR). Frau Susanne Dreyer (BGR) hat durch sachkundige Erstellung von vielfach aufwendigen Abbildungen und Tabellen sowie durch ihre Hilfe bei der Erstellung der reproduktionsreifen Vorlagen zu dem vorliegenden Band beigetragen.

Ein großer Kreis weiterer Kolleginnen und Kollegen der Universität Hannover, der BGR und des NLFb hat dankenswerterweise wesentliche Unterstützung für das Handbuch geleistet.

Hannover, im November 1995

Herausgeberin, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Vorwort der Autoren

Die sichere Deponierung von Abfällen und die wirksame Sanierung von Altlasten sind hochaktuelle Aufgaben für die Ingenieur- und Geowissenschaften, wobei die geologischen, geotechnischen und geohydrologischen Disziplinen gleichermaßen herausgefordert sind. Die rechnergestützte Prozeßsimulation gewinnt dabei zunehmend an Akzeptanz und Bedeutung, wohl wissend, daß Modelle immer nur eine Näherung natürlicher Verhältnisse sein können und gerade im schwer zugänglichen geologischen Untergrund mit deutlichen Unsicherheiten behaftet sind. Trotzdem können Modelle helfen, eine Reihe wichtiger Fragen aus der praktischen Sicht von Projektanten, Erbauern und Betreibern von Deponien zu beantworten und die Entscheidungsfindung einer Genehmigungsbehörde zu unterstützen. Daneben ist für die grundlagenorientierte Forschung das vertiefte Verständnis der unterirdisch ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse sowie ihrer Wechselwirkungen nach wie vor von großem Interesse.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hatte das Institut für Strömungsmechanik der Universität Hannover Ende 1990 mit der Ausführung des Teilprojektes "Schadstoffausbreitung unter Deponien" beauftragt. Dabei konnte auf langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen in Kluftgrundwasserleitern und der Entwicklung von Grundwassermodellen aufgebaut werden. In den vergangenen zehn Jahren wurden am Institut für Strömungsmechanik zu dieser Thematik fünf Dissertationsschriften und eine Habilitationsschrift angefertigt.

Der vorliegende Band behandelt in erster Linie den natürlichen Untergrund von Deponien und Altlasten. Ein zentraler Begriff ist dabei die *geologische Barriere* mit ihren physikalischen (Hydraulik und Transport), chemischen und biologischen Komponenten. Ein weiterer Akzent liegt auf der klüftigen Struktur vieler Barrieregesteine mit entsprechenden Konsequenzen für ihre Strömungs- und Transportcharakteristika. Neben dem hydrogeologischen Teil umspannt die Problematik der Deponien und Altlasten allerdings die ganze Palette geologischer, geophysikalischer, geochemischer und geotechnischer Aspekte, denen eigenständige Bände gewidmet sind. Der vorliegende Band "Strömungs- und Transportmodellierung" muß deshalb im Kontext mit den anderen Bänden des Handbuchs zu Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten gesehen werden.

Die Autoren schließen sich der Danksagung der Herausgeberin an die fachbegleitenden Behörden und die Gutachter uneingeschränkt an. Weiter gilt unser Dank Frau Dreyer, Frau Dr. Wilken, Herrn Dr. Kreysing, Herrn Dr. Schreiner (alle BGR, Hannover) für die fachliche Betreuung während des Projektes sowie

für die Unterstützung bei der Prüfung des Manuskripts. Für die technische Unterstützung, kritische Durchsicht des Manuskripts und die konstruktiven Anmerkungen danken wir insbesondere Christine Barlag, Ilka Fischer, Karen Krause, Elmar Brozeit (Institut für Strömungsmechanik der Universität Hannover), Herrn Prof. Diersch (Gesellschaft für Wasserwirtschaftliche Systemanalyse und Planung, Berlin) und Herrn Dipl.- Geol. J. Maier (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover).

Ganz besonders danken die Autoren jedoch ihren Familien, ohne deren Geduld, Verständnis und Entlastung von vielen kleinen täglichen Dingen der vorliegende Band nicht zustandegekommen wäre.

T. Lege, O. Kolditz, W. Zielke

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
2 Definition des Problemfeldes	7
2.1 Lockergesteine (Porengrundwasserleiter)	8
2.2 Festgesteine (Kluft- und Karstgrundwasserleiter)	11
2.3 Wechselwirkung zwischen Kluft und Gesteinsmatrix	14
2.4 Beispiele	14
2.4.1 Ehemalige SAD Münchehagen/Niedersachsen	15
2.4.2 Deponien und Altlasten im Raum Schöneiche	17
3 Stoffe im Grundwasser	19
3.1 Geogener Stoffgehalt des Grundwassers	19
3.1.1 Herkunft	20
3.1.2 Stoffgehalt natürlicher Grundwässer	20
3.2 Grundwasserkontamination durch Deponiesickerwässer	23
3.2.1 Sickerwasserdynamik	24
3.2.2 Sickerwasserzusammensetzung	30
3.2.3 Geochemische Wechselwirkungen	34
4 Parameter der Strömungs- und Transportvorgänge	37
4.1 Grundwasserhydraulik	37
4.1.1 Eigenschaften des Grundwassers	37
4.1.2 Grundwasserdynamik	38
4.1.3 Gespannte und ungespannte Grundwässer	51
4.1.4 Strömungsdifferentialgleichung für den gespannten Aquifer	53
4.2 Stoffmigration im Grundwasser	58
4.2.1 Diffusion	59
4.2.2 Advektion	64
4.2.3 Dispersion	65
4.2.4 Matrixdiffusion	70
4.2.5 Retardation	79
4.2.6 Einfluß der Anisotropie auf die Schadstoffausbreitung	88
4.2.7 Transportgleichung	88
5 Analytische Methoden	95
5.1 Lösungsverfahren	96
5.2 Brunnenhydraulik	102
5.3 Dispersionsfreie Näherung	112
5.4 Dispersiver Transport	117
5.4.1 Aufgabenstellung nach Ogata u. Banks	117

5.4.2	Aufgabenstellung nach Moench (1989)	121
5.4.3	Aufgabenstellung nach Hoopes u. Harlemann (1967)	125
5.5	Dispersiver Transport in geschichteten Aquiferen	130
5.5.1	Aufgabenstellung nach Bruch u. Street (1967)	130
5.5.2	Aufgabenstellung nach Thiele u. Diersch (1986)	132
5.6	Matrixdiffusion	136
5.6.1	Aufgabenstellung nach Lauwerier (1955)	137
5.6.2	Aufgabenstellung nach Tang et al.(1981)	141
5.6.3	Aufgabenstellung nach Gringarten u. Sauty (1975)	146
6	Numerische Methoden	153
6.1	Finite-Elemente-Methode	156
6.2	Zeitdiskretisierung	158
6.3	Stabilität und Konsistenz diskreter Näherungsverfahren	161
6.4	Verifikation numerischer Modelle	168
6.4.1	Dispersiver Transport	168
6.4.2	Matrixdiffusion	172
6.4.3	Flächenhafter Schadstoffeintrag	175
6.4.4	Schadstoffeintrag durch einen Brunnen	180
6.5	Kalibrierung	186
7	Leitfaden	193
7.1	Einordnung des Problems	195
7.2	Transformation der Fragestellung	196
7.2.1	Erkundungsprobleme	197
7.2.2	Prognoseprobleme	197
7.2.3	Optimierungsprobleme	198
7.3	Anforderungen an das Modellergebnis	199
7.3.1	Räumliche Abgrenzung	199
7.3.2	Zeitlicher Bezug	199
7.3.3	Genauigkeitsanforderungen	200
7.3.4	Bemessung des Aussagegebiets	201
7.4	Beschreibung des Systems	202
7.4.1	Datenakquisition und Bewertung	202
7.4.2	Datenergänzung	206
7.5	Abstraktion - Schematisierung des Systems	208
7.5.1	Wichtige allgemeine Gesichtspunkte	208
7.5.2	Schematisierung der Deponie und ihres Einflußbereichs	209
7.6	Erstellung eines mathematischen Modells	210
7.7	Modellauswahl	212
7.8	Modellanwendung	215
7.8.1	Diskretisierung	216
7.8.2	Verifikation	218
7.8.3	Kalibrierung	220
7.8.4	Validierung	221
7.9	Standortmodell	221

8	Exemplarische Anwendung des Leitfadens auf die ehemalige SAD MÜNCHENHAGEN	225
8.1	Einordnung des Problems	226
8.2	Transformation der Fragestellung	231
8.2.1	Erkundungsproblem	232
8.2.2	Prognoseproblem	233
8.2.3	Optimierungsproblem	233
8.3	Anforderungen an das Modellergebnis	234
8.3.1	Räumliche Abgrenzung	234
8.3.2	Zeitlicher Bezug	237
8.3.3	Genauigkeitsanforderungen	240
8.4	Beschreibung des Systems	242
8.4.1	Datensammlung und Bewertung	242
8.4.2	Datenergänzung	249
8.5	Abstraktion – Schematisierung des Systems	249
8.5.1	Allgemeines - analytische Vorbetrachtungen	249
8.5.2	Abstraktion – Schematisierung des Systems mit Matrixdiffusion	254
8.6	Modellauswahl	262
8.7	Erstellung eines mathematischen Modells	266
8.7.1	Strömungsmodell	267
8.7.2	Transportmodell	268
8.7.3	Prä- und Postprozessoren	271
8.8	Modellanwendung	272
8.8.1	Verifikation	272
8.8.2	Kalibrierung: die numerische Modellierung des Versuchs Ib	272
8.8.3	Validierung: Modellierung des Experiments II	277
8.9	Standortmodell MÜNCHENHAGEN	282
8.9.1	Diskretisierung und Modellparameter	282
8.9.2	Standortmodell: History – Matching	290
8.9.3	Prognoserechnung I: keine Sanierungsmaßnahme	296
8.9.4	Prognoserechnung II: Entfernung des Deponiekörpers	298
8.9.5	Modell II: Variation der Kluftabstände	300
8.9.6	Modell III: Variation des Diffusionskoeffizienten	303
8.9.7	Zusammenfassende Ergebnisdarstellung	304
9	Geometriemodelle	309
9.1	Modellbildung	310
9.1.1	Von der Natur zum Modell	310
9.1.2	Diskretisierung	311
9.2	Gitternetzgenerierung	315
9.2.1	Allgemeine Anforderungen	315
9.2.2	Klassifikation von Gitternetzen	316
9.2.3	Methoden der Gitternetzgenerierung	316
9.2.4	Delaunay – Triangulation	320
9.2.5	Transformation von Dreiecksnetzen zu Vierecksnetzen	320
9.2.6	Triangulation von Kluftsystemen	321

9.2.7	Transformation von Tetraedernetzen in Hexaedernetze	322
9.2.8	Geometrische Qualität von Gitternetzen	322
9.3	Entwickelte Netzgenerierungssoftware	325
9.4	Anwendungsbeispiele	327
9.4.1	Vierecksnetze	327
9.4.2	Sich im Raum verschneidende Kluftsysteme	329
9.5	Zusammenfassung	333
10	Graphische Datenverarbeitung	335
10.1	Wissenschaftliche Visualisierung	336
10.1.1	Datenaufbereitung und Datenintegrität	336
10.1.2	Fehlersuche im Modell und Steigerung der Programmpformance	337
10.1.3	Interpretation und Präsentation von Berechnungsergebnissen	337
10.2	Aufbau einer Modellierungsumgebung	338
10.2.1	Programmiersprachen der nächsten Generationen	340
10.2.2	Einsatz graphischer Entwicklungswerkzeuge	342
10.2.3	Einsatz von User – Interface – Management – Systemen	344
10.3	Hydrologisches Modellierungssystem	346
10.3.1	Aufbau	346
10.3.2	Datenerfassung und Datenhaltung	348
10.3.3	Funktionalität	349
10.3.4	Integration von Methoden zum Datenmanagement und zur Modellbildung, Simulationssteuerung und Visualisierung	350
10.3.5	Nutzen	352
10.4	Entwicklungsstand	352
10.4.1	ROCKFLOW	352
10.4.2	DALI	353
10.4.3	Application Control Environment (ACE)	354
10.5	Schlußbetrachtung	356
10.6	Beispiele	357
10.6.1	Strömungen im verschneidenden Kluftsystem (Münchehagen)	357
10.6.2	Darstellung des Felslabors Grimsel	358
		.
	Anhang A: Checkliste für Grundwasserprogramme	359
	Anhang B: Tabellarischer Leitfaden	373
	Literatur	385
	Sachverzeichnis	413

Symbolverzeichnis

B	[m]	- halber Kluftabstand
b	[m]	- halbe Kluftöffnungsweite
Cr	[1]	- Courant-Kriterium
c	[kg m ⁻³]	- Stoffkonzentration
c _R	[%]	- Stoffkonzentration am Modellrand
c _A	[%]	- Anfangskonzentration
c _a	[kg kg ⁻¹]	- normierte Konzentration der sorbierten Spezies
c _D	[1]	- dimensionslose Konzentration einer chemischen Spezies
c _i , c ₀	[kg m ⁻³]	- Anfangs- bzw. Einleitungskonzentration
c	[J kg ⁻¹ K ⁻¹]	- spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen
cp	[J m ⁻³ K ⁻¹]	- volumenbezogene Wärmekapazität
c _f	[Pa ⁻¹]	- Kompressibilität der Porenflüssigkeit
d	[m]	- halber Quellen-Senken-Abstand
\hat{D}	[m ² s ⁻¹]	- Tensor der hydrodynamischen Dispersion
D _m	[m ² s ⁻¹]	- molekularer Diffusionskoeffizient
D [*]	[m ² s ⁻¹]	- effektiver Diffusionskoeffizient
D _L '	[m ² s ⁻¹]	- Koeffizient der longitudinalen Dispersion
D _T '	[m ² s ⁻¹]	- Koeffizient der transversalen Dispersion
D _L	[m ² s ⁻¹]	- Koeffizient der longitudinalen Dispersion nach Scheidegger
D _T	[m ² s ⁻¹]	- Koeffizient der transversalen Dispersion nach Scheidegger
E	[Pa]	- Kompressionsmodul
e	[1]	- Porenzahl
erfc	[1]	- komplementäre Errorfunktion
exp	[1]	- Exponentialfunktion
F	[m ²]	- durchströmte Fläche
Fo	[1]	- Neumann-Kriterium
g	[m s ⁻²]	- Erdbeschleunigung
h	[m]	- hydraulische Druckhöhe (Piezometerhöhe)
i	[1]	- hydraulischer Gradient
J _n	[kg/(m ³ s ¹)]	- Substanzmassenstrom
h	[m]	- Standrohrspiegelhöhe
K	[m ²]	- Permeabilitätstensor
K _D	[m ³ kg ⁻¹]	- Verteilungskoeffizient
k _f	[m s ⁻¹]	- Durchlässigkeitsbeiwert
k _{fG}	[m s ⁻¹]	- Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwert
k _{fK}	[m s ⁻¹]	- Durchlässigkeitsbeiwert der Kluft
k _{fM}	[m s ⁻¹]	- Durchlässigkeitsbeiwert der Matrix
n	[1]	- Porosität
n _e	[1]	- effektive (für den advektiven Transport wirksame) Porosität
M	[m]	- Aquifermächtigkeit
m	[kg]	- Masse
\dot{m}	[kg s ⁻¹]	- Massenstrom

P_g	[1]	- Peclet-Zahl
Q	$[m^3 s^{-1}]$	- Durchfluß
q	$[s^{-1}]$	- pro Volumeneinheit zugeführte Wassermenge
\bar{q}	$[m s^{-1}]$	- Filtergeschwindigkeit
q_0	$[m s^{-1}]$	- Filtergeschwindigkeit des natürlichen Grundwasserstroms
R	[1]	- Retardationskoeffizient
R	[m]	- Kluftradius
r, θ	[m]	- Radialkoordinaten
S	[1]	- Speicherkoeffizient nach Theis
S_0	$[m^{-1}]$	- spezifischer Speicherkoeffizient
\hat{T}^*	[1]	- Tortuosität
T	[K]	- Temperatur
T_D	[1]	- dimensionslose Temperatur
T_i, T_0	[K]	- ungestörte Anfangs- bzw. Injektionstemperatur
T_M	$[m^2 s^{-1}]$	- Transmissivität
t	[s]	- Zeit
u	[1]	- Sprungfunktion (DIRAC-Funktion)
V_{ges}	$[m^3]$	- gesamtes Gesteinsvolumen (Matrix und Hohlräume)
V_M	$[m^3]$	- Volumen der Gesteinsmatrix (Feststoffvolumen)
\bar{v}_a	$[m s^{-1}]$	- Abstandsgeschwindigkeit
\bar{v}_f	$[m s^{-1}]$	- Filter- (Darcy-)geschwindigkeit
w	[m]	- halbe Kluftöffnungsweite
x, y, z	[m]	- Ortskoordinaten
$\vec{x} (x, y, z)$	[m]	- Ortsvektor (kartesische Ortskoordinaten)
$z (x, y)$	[m]	- komplexer Ortsvektor
α_L	[m]	- longitudinale Dispersionslänge
α_T	[m]	- transversale Dispersionslänge
Γ		- Berandung des Definitionsgebiets
γ_i	[1]	- Impedanzfaktor
η	[Pa s]	- dynamische Viskosität
λ	$[a^{-1}]$	- Zerfallskonstante
$\hat{\lambda}$	$[W m^{-1} K^{-1}]$	- Wärmeleitfähigkeitstensor
ν	$[m^2 s^{-1}]$	- kinematische Viskosität
ρ	$[kg m^{-3}]$	- Dichte
ρ_s	$[kg m^{-3}]$	- Gesamtdichte des porösen Mediums
τ	[1]	- Tortuosität

ϕ, ψ	$[m^2 s^{-1}]$	- Geschwindigkeitspotential bzw. Stromfunktion
ϕ_D, ψ_D	[1]	- dimensionsloses Geschwindigkeitspotential bzw. dimensionslose Stromfunktion
ζ	$[m^2 s^{-1}]$	- komplexes Strömungspotential

Exponenten, Indizes

r, w	- Materialgröße des Gesteins bzw. des Formationswassers
'	- Zustandsgröße der Matrix

spezielle Symbole

∇	- Nabla-Operator: $(\partial/\partial x, \partial/\partial y)$
Δ	- Laplace-Operator: $(\partial^2/\partial x^2, \partial^2/\partial y^2)$
*	- Skalarprodukt