

Dipl.-Geophys. Georg Kosakowski, Hannover

**Modellierung von
Strömungs- und Transport-
prozessen in geklüfteten
Medien: Vom natürlichen
Kluftsystem zum nume-
rischen Gitternetzwerk**

Reihe **7**: Strömungstechnik

Nr. **304**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1-1
1.1 Problemstellung	1-3
1.2 Gliederung der Arbeit	1-4
2 Geometrische und hydraulische Eigenschaften von Kluftsystemen.....	2-6
2.1 Geometrische Charakterisierung von Klüften und Kluftsystemen	2-6
Kluftdichte und Kluftabstandsverteilung	2-8
Kluftorientierung.....	2-10
Kluftgröße	2-11
Kluftöffnungsweite	2-14
Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Kluftereigenschaften	2-14
2.2 Hydraulische Eigenschaften von Kluftsystemen.....	2-15
Gesetz von Darcy	2-16
Kontinuitätsgleichung	2-16
Fließgesetze für die Kluftströmung	2-17
Kontinuumsansatz.....	2-18
Vereinfachung der Hydraulik.....	2-20
Hydraulische Eigenschaften.....	2-20
2.3 Experimentelle Bestimmung von Durchlässigkeit und Porosität in Kluftgrundwasserleitern	2-23
Prinzipieller Aufbau von Druckaufbau- oder Druckabbauversuchen.....	2-23
Auswertung von Bohrloch- und Pumpversuchen	2-24
2.4 Stofftransport in Kluftsystemen	2-27
Transportmechanismen bei der Kluftströmung	2-27
Experimentelle Bestimmung der Transporteigenschaften von Kluftgrundwasserleitern.....	2-30
3 Bestimmung der fraktalen Dimension von Kluftsystemen	3-31
3.1 Grundlegende Definitionen und Begriffe zur fraktalen Dimension.....	3-32
Definitionen des Fraktals	3-32
Definition der fraktalen Dimension	3-33

Selbstähnlichkeit und Selbstaffinität	3-36
Zusammenhang zwischen fraktaler Dimension und Energie-Größen- Beziehung	
bei der Fragmentierung	3-37
Zusammenhang zwischen fraktaler Dimension und Perkolationstheorie.....	3-39
3.2 Bestimmung der fraktalen Dimension an realen Datensätzen	3-40
Verfahren mit eindimensionalen Daten	3-40
Verfahren mit zweidimensionalen Daten	3-41
Verfahren mit dreidimensionalen Daten.....	3-42
3.3 Modifizierte Kästchenzähl-Methode	3-42
Zweidimensionale Kästchenzähl-Methode.....	3-42
Vieldeutigkeit der fraktalen Dimension.....	3-42
Eindimensionale Kästchenzähl-Methode	3-45
Verteilungsmethode	3-46
3.4 Ermittlung der fraktalen Dimension für konkrete Fallbeispiele	3-47
Falkenberg: ein gering geklüfteter Granit.....	3-47
Yucca Mountain: Ein intensiv zerklüfteter Tuff.....	3-51
4 Kluftnetzwerk-Modelle.....	4-55
4.1 Verfahren zur Erzeugung von Kluftnetzwerk-Modellen	4-56
Einzelkluft-Modelle.....	4-57
Deterministische Kluftnetzwerk-Modelle	4-57
Stochastische Modelle	4-58
Kontinuumsmodelle	4-60
Hybride Modelle.....	4-60
4.2 Verfahren zur Erzeugung dreidimensionaler numerischer Kluftnetzwerk- Modelle unter Berücksichtigung der fraktalen Dimension	4-61
Fraktales Modell Lévy-Lee.....	4-61
Erzeugung von zwei- und dreidimensionalen Kluftsystemen mit der Methode des „Iterated Function System“ (IFS)	4-62
4.3 Eine Modellierungsstrategie zur Erzeugung deterministischer Kluftnetzwerke mit fraktaler Abstandsverteilung	4-64
4.4 Generierung von Parallelkluftsystemen mit unendlich langen Klüften.....	4-66
Einbeziehung von bekannten Kluftpositionen (konditionierte Modelle)	4-68

Zusammenfassung von Kluftscharen zu einem Kluftsystem	4-68
Ein etwas anderer Ansatz: Die Fragmentierung in Gesteinsblöcke	4-69
5 Berechnung von Strömung und Transport in Kluftnetzwerk-Modellen	5-74
5.1 Vom geometrischen Modell zum Finite-Elemente-Modell	5-74
Überführung des geometrischen Modells in ein Berechnungsgitter	5-76
5.2 Die Berechnung der Strömung in stochastischen und fraktalen Kluftnetzwerk- Modellen	5-79
5.3 Ein stochastisches Testbeispiel	5-79
5.4 Fragmentierter Würfel	5-83
Druckaufbauversuche in fraktalen Kluftsystemen	5-83
Berechnung von Druckaufbauversuchen in fragmentierten Würfeln	5-86
Berechnung von Druckaufbauversuchen in deterministischen Parallelkluft- Modellen mit fraktalen Kluftöffnungsweitenverteilungen	5-91
5.5 Erstellung eines prinzipiellen deterministischen Kluftnetzwerk-Modells für die Lokation Münchehagen	5-93
Datenlage	5-93
Ein prinzipielles Kluftnetzwerk-Modell für Münchehagen	5-100
6 Ausblick.....	6-109
Anhang A	A-111
Cantor-Menge	A-111
Sierpinski-Teppich.....	A-112
Menger-Schwamm.....	A-113
Anhang B Symbolverzeichnis.....	B-114
Anhang C : Literaturverzeichnis.....	C-116