

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Transportprozesse	5
2.1.1	Statistische Bewegung	5
2.1.2	Selbstdiffusion und mittlerer Propagator	6
2.1.3	Strömung	7
2.2	Charakterisierung ungeordneter poröser Systeme	10
2.2.1	Porosität ϕ	10
2.2.2	Porengrößenverteilung	11
2.2.3	Fraktale Dimension d_f	12
2.2.4	Oberfläche-zu-Porenvolumenverhältnis S/V_p	14
2.2.5	Tortuosität \mathfrak{T}	15
2.3	Transport in porösen Systemen	17
2.3.1	Gesetz von Darcy	18
2.3.2	Dispersion	19
2.4	Grundlagen der NMR-Methoden	20
2.4.1	Einführung	20
2.4.2	Kernmagnetische Relaxation und Bloch-Gleichungen	22
2.4.3	Freier Induktionsabfall	23
2.4.4	NMR-Impulssequenzen	24
2.4.4.1	Das Spin-Echo (SE)	24
2.4.4.2	Die Wirkung magnetischer Feldgradienten	25
2.4.4.3	SE mit Gradientenimpulsen (PGSE)	27
2.4.4.4	STE mit Gradientenimpulsen (PGSTE)	31
2.4.4.5	Interne magnetische Feldgradienten	33
2.4.4.6	APGSTE-Sequenz	35
3	Experimentelles	37
3.1	Apparatives	37
3.1.1	300 MHz-System mit Kryomagnet	37
3.1.2	25,3 MHz-System mit Permanentmagnet	40
3.1.3	Der 200 MHz NMR-Tomograph	41
3.1.4	Probenzelle und Pumpe	41

3.2	Verwendete Materialien	44
3.2.1	Sandsteine	44
3.2.2	Glaskugeln	44
3.2.3	Sephadex	45
3.2.4	Flüssigkeiten und Chemikalien	46
4	Ergebnisse und Diskussion	47
4.1	Strukturcharakterisierung durch Selbstdiffusionsmessungen	47
4.1.1	Selbstdiffusion unter geometrischer Beschränkung	47
4.1.1.1	Selbstdiffusion bei kurzen Beobachtungszeiten	49
4.1.1.2	Selbstdiffusion bei langen Beobachtungszeiten	50
4.1.1.3	Die Padé-Approximation	51
4.1.2	Charakterisierung von Sandsteinen	53
4.1.2.1	Präparation der Sandsteinproben	53
4.1.2.2	Experimentelle Besonderheiten	54
4.1.2.3	Ergebnisse der Sandsteinproben aus Brandenburg	56
4.1.2.4	Ergebnisse der Sandsteinproben aus Allermöhe	79
4.1.2.5	Résumé	87
4.1.3	Kombination zeitabhängiger Selbstdiffusionsmessungen mit MRI („dynamic imaging“)	90
4.1.3.1	Die NMR-Bildgebungssequenz	90
4.1.3.2	Verwendete Modellschüttung	92
4.1.3.3	Ergebnisse und Diskussion	95
4.1.3.4	Résumé	103
4.2	Strukturcharakterisierung durch Strömungsmessungen	104
4.2.1	Strömungsmessungen im Leerrohr	104
4.2.1.1	Prinzip der Messung von Strömungsgeschwindig- keiten mit NMR	104
4.2.1.2	Pfropfströmung im Leerrohr	106
4.2.1.3	Laminare Strömung im Leerrohr	107
4.2.2	q-Space-Imaging und Flow-Diffraction	114
4.2.2.1	Strömung durch ein poröses Medium	114
4.2.2.2	Ergebnisse in Glaskugelschüttungen	116
4.2.2.3	Ergebnisse in Sephadex LH 20	120
4.2.2.4	Résumé	123

4.2.3	Beobachtungszeitabhängige Strömungsmessungen in Kugelschüttungen	124
4.2.3.1	Die Auswirkungen von Fluktuationen im Geschwin- digkeitsfeld auf das NMR-Signal	124
4.2.3.2	Ergebnisse	126
4.2.3.3	Résumé	130
5	Zusammenfassung	133
6	Literaturverzeichnis	137
7	Anhang	145
7.1	Meßdaten in tabellarischer Form	145
7.1.1	Sandsteine Brandenburg	145
7.1.2	Sandsteine Allermöhe	148
7.1.3	Kombination „dynamic imaging“ mit MRI	149
7.1.4	Strömungsmessungen im Leerrohr	150
7.1.5	Strömungsmessungen in porösen Medien	152
7.1.6	beobachtungszeitabhängige Strömungsmessungen	155
7.2	Symbole	157
7.3	Publikationsliste	163