

---

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Motivation	1
2.	Grundlagen	4
2.1	Polyoxymethylen	4
2.1.1	Chemische Struktur	4
2.1.2	Synthese	5
2.1.3	Eigenschaften von POM	6
2.1.4	Eigenschaften von Ultraform	8
2.2	Grundlagen der NMR	10
2.2.1	Kernmagnetische Resonanz	10
2.2.2	Lineare Wechselwirkungen	12
2.2.3	Bilineare Wechselwirkungen	17
2.2.4	Rotation am magischen Winkel	18
2.2.5	Die Blochschen Gleichungen	20
2.3	Relaxation	23
2.3.1	Spin-Gitter-Relaxation	23
2.3.2	Spin-Spin-Relaxation	26
2.4	Echos	28
2.4.1	Spin-Echo (Hahn-Echo)	28
2.4.2	CPMG-Sequenz	30
2.4.3	Stimuliertes Echo	31
2.4.4	Magisches Echo	32

---

2.5	NMR-Bildgebung	35
2.5.1	Frequenzkodierung	35
2.5.2	Phasenkodierung	37
2.5.3	Der <b>k</b> -Raum	40
2.5.4	Zweidimensionale Spin-Echo-Bildgebungssequenz	43
2.6	Diffusion	45
2.6.1	Interdiffusion	45
2.6.2	Die Fickschen Gesetze	45
2.6.3	Selbstdiffusion	46
2.6.4	Freie und eingeschränkte Selbstdiffusion	48
2.6.5	Messung der Selbstdiffusion mit NMR	50
2.6.6	Bestimmung des Selbstdiffusionstensors	53
2.6.7	Graphische Darstellung der Selbstdiffusionstensoren	54
2.7	Grundlagen weiterer verwendeter polymeranalytischer Methoden	58
2.7.1	Bestimmung mechanischer Kenngrößen	58
2.7.2	Das Hooksche Gesetz	59
2.7.3	Spannungs-Dehnungsmessungen	60
2.7.4	Kristallstrukturanalyse; Röntgenkleinwinkelstreuung (SAXS)	63
2.7.5	Thermoanalyse; Differentialkalorimetrie (DSC)	65
3.	Experimentelle Untersuchungen	68
3.1	Materialspezifische und morphologische Veränderungen von POM unter uniaxialer Ver Streckung	68
3.1.1	Mechanisches Verhalten von nassen und trockenen POM-Proben	70
3.1.2	Bestimmung der Dichte	72
3.1.3	Bestimmung des Kristallisationsverhaltens	73
3.1.4	Untersuchung der Morphologie an ver streckten POM-Proben	75
3.1.5	Bestimmung des Kontaktwinkels	77
3.1.6	SAXS-Untersuchungen im ver streckten Bereich	78
3.1.7	Statisches <sup>1</sup> H-NMR-Spektrum, Spin-Gitter- und Spin-Spin-Relaxation	83
3.1.8	<sup>1</sup> H-MAS-Spektren	88

---

3.1.9	DSC-Untersuchungen	91
3.2	Gravimetrische Untersuchungen zur Einlagerungsdynamik von Wasser	93
3.2.1	Einlagerungsdynamik von Wasserdampf in unverstreckte und verstreckte Bereiche	94
3.2.2	Diffusionskonstanten und prozentuale Wasserzunahme	98
4.	NMR-Bildgebung von Wasser in mechanisch induzierten Strukturen im POM	100
4.1	NMR-Bildgebung an verstrecktem POM	100
4.1.1	$T_2$ -Bildgebung zur Detektion eingeschränkter Kettenbeweglichkeit	100
4.1.2	Wasser als NMR-Sonde	102
4.1.3	NMR-Bildgebung an verstreckten POM-Knochen	104
4.1.4	NMR-Bilder zu verschiedenen Punkten in der Spannungs-Dehnungskurve	105
4.2	Nachweis mechanisch induzierter Anisotropien durch Diffusionstensor-Bildgebung	109
4.2.1	Bestimmung des Bulk Diffusionstensors	109
4.2.2	Diffusionstensorbildgebung	110
4.2.3	Bestimmung der Porengröße im Bulk des verstreckten Bereiches	112
4.3	NMR-Bildgebung an industriellen Werkstücken	115
4.3.1	Detektion beschädigter Bereiche	115
5.	Zusammenfassung	120
<b>Anhang</b>		123
A	Archimedisches Auftriebprinzip zur Bestimmung der Dichte	123
B	CPMG-Messkurven zur $T_2$ -Zeit Bestimmung	125
C	NMR-Flüssigspektrum von POM	126
D	Mathematisches Modell des Diffusionsvorgangs	126

E	Einlagerungsdynamik von Wasser	129
E	Experimentelle Bedingungen zu den NMR-Bildern und Matlab Auswerteroutine	133
F	Vorversuche zu den Gardinenhaltern	160
	Literaturverzeichnis	161
	Danksagung	167