

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
Kurzfassung	v
Abstract	vii
Publikationen	ix
Abkürzungen	xi
1 Einleitung	1
1.1 Industrielle Bedeutung aushärtender und vernetzter Materialien	1
1.1.1 Klebstoffe	1
1.1.2 Vernetztes Polyethylen	2
1.2 Qualitätskriterium: Aushärte- bzw. Vernetzungsgrad	2
1.3 Bedarf für zerstörungsfreie Prüfung	3
1.4 Zielsetzung dieser Arbeit	5
2 Theoretische Grundlagen	7
2.1 Klebstoffe und Klebeverbindungen	7
2.1.1 Vor- und Nachteile des Klebens	7
2.1.2 Chemischer Aufbau und Einteilung der Klebstoffe	7
2.1.3 2K-Epoxidharz-Klebstoffe	8
2.1.4 2K-Polyurethan-Klebstoffe	9
2.1.5 Strahlungshärtende und -aktivierbare 1K-Klebstoffe	10
2.1.6 Einflussfaktoren bei Klebeverbindungen	10
2.2 Vernetzung von Polyethylen zu PE-X	12
2.3 Unilaterale magnetische Kernspinresonanz	13
2.3.1 Grundlagen der magnetischen Kernspinresonanz	13
2.3.2 Bestimmung der Relaxationszeiten T_1 und T_2	15
2.3.3 Messtechnische Nutzung der NMR	17
2.3.4 Zerstörungsfreie Prüfung mit unilateraler NMR	17
2.3.5 Auswertung der Messsignale der NMR-Relaxometrie	20
3 Stand der Technik und Wissenschaft	23
3.1 Nasschemische Vernetzungsgradbestimmung	23
3.2 Dynamische Differenzkalorimetrie	24
3.3 Rheologische Prüfung	25
3.4 Dielektrische Analyse	26
3.5 Zugscherprüfung und Zentrifugal-Adhäsionsprüfung	28
3.6 Kernspinresonanz	29

xiii

3.7 Weitere zerstörungsfreie Prüfverfahren im Forschungsstadium	30
4 Experimentelles	33
4.1 Verwendete Materialien	33
4.1.1 Strahlenvernetztes UHMWPE	33
4.1.2 Klebstoffe und Klebeverbindungen	33
4.2 Verwendete Prüfmethoden und Messsysteme	37
4.2.1 Nasschemische Vernetzungsgradbestimmung von UHMWPE-Xc . .	37
4.2.2 Dynamische Differenzkalorimetrie	37
4.2.3 Rheologische Untersuchung	38
4.2.4 Dielektrische Analyse	39
4.2.5 Zugscherprüfung	41
4.2.6 Zentrifugal-Adhäsionsprüfung	42
4.2.7 Unilaterale Kernspinresonanz	42
4.2.8 Temperaturüberwachung von NMR-Mouse und Proben	46
4.2.9 Verwendete Software zur Auswertung der NMR-Daten	47
5 Temperatureffekte bei uNMR-Messungen und LED-Belichtung	51
6 Vernetzungsgradbestimmung von UHMWPE-Xc	57
6.1 Nasschemische Untersuchung	57
6.2 Dynamische Differenzkalorimetrie	58
6.3 Unilaterale Kernspinresonanz	60
6.3.1 T_1 -Zeiten	60
6.3.2 $T_{2\text{eff}}$ -Zeiten und Amplitudenverhältnisse	61
6.3.3 Binning von Echos	67
6.3.4 Echosummen und Echosummenverhältnisse	69
6.3.5 Homogenität der Vernetzung und Tiefenprofile	72
6.4 Modell zur Überwachung und Vorhersage des Vernetzungsgrades	74
6.5 Bewertung der Vernetzungsgradbestimmung von UHMWPE-Xc mit unilateraler NMR	75
7 Bestimmung des Aushärtegrades von Klebstoffen in Klebeverbindungen	77
7.1 Dynamische Differenzkalorimetrie	77
7.2 Platte/Platte-Rheometer	78
7.3 Dielektrische Analyse	81
7.4 Zugscherprüfung und Zentrifugal-Adhäsionsprüfung	85
7.5 Unilaterale Kernspinresonanz	88
7.5.1 T_1 -Zeiten	89
7.5.2 $T_{2\text{eff}}$ -Zeiten und Amplitudenverhältnisse	90
7.5.3 Binning von Echos	96
7.5.4 Echosummen und Echosummenverhältnisse	100
7.5.5 Profilmessungen	109
7.6 Modelle zur Überwachung und Vorhersage des Aushärtegrades	110
7.6.1 uNMR-Aushärtemodell auf Basis von Echosummen	110
7.6.2 DSC-basierte Vergleichsmodelle	115

7.6.3	Rheologiebasierte Vergleichsmodelle	117
7.6.4	DEA-basierte Vergleichsmodelle	120
7.7	Bewertung der Aushärtegradbestimmung von Klebstoffen mit unilateraler NMR	124
8	Zusammenfassung	127
A	DSC-Messungen	129
B	Rheometer-Messungen	137
C	DEA-Messungen	139
D	uNMR-Messungen	147
E	Fitparameter der uNMR-Modelle	153
	Literaturverzeichnis	157
	Abbildungsverzeichnis	171
	Tabellenverzeichnis	179
	Danksagung	181