

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation und Einführung	1
2 Umfeld für Zuverlässigkeitsbewertung	5
2.1 Belastungen	5
2.1.1 Mechanische Lasten	5
2.1.2 Temperatur	6
2.1.3 Feuchte	6
2.2 Beanspruchung	6
2.2.1 Spannungs-Dehnungs-Zusammenhang	6
2.2.2 Spezielle Randbedingungen bei Klebverbindungen	7
2.3 Beanspruchbarkeit - Zuverlässigkeit	8
3 Theorie	9
3.1 Viskoelastizität	9
3.1.1 Lineare Viskoelastizität	10
3.1.2 Spektren und konstitutive Gleichungen	13
3.1.3 Ersatzschaubilder	14
3.2 Zeit-Temperatur-Zusammenhang	17
3.2.1 Thermisch aktivierte Vorgänge	17
3.2.2 Zeit-Temperatur-Superposition	17
3.3 Viskoelastisches Verhalten im dreidimensionalen Spannungszustand	19
3.3.1 Betrachtung der Hauptrichtungen $i = j$	19
3.3.2 Betrachtung der Scherkomponenten $i \neq j$	20
3.3.3 Zusammenhang zwischen Scherung und Kompression	20
3.3.4 Implementierung des Materialverhaltens	21

4 Experimente und Methoden	23
4.1 Untersuchtes Material	23
4.1.1 Chemische Zusammensetzung	23
4.1.2 Materialphysikalischer Rückschluss	25
4.2 Ermittlung des Relaxationsverhaltens	25
4.2.1 Spannungsrelaxationsversuch in Universalprüfmaschine	25
4.2.2 Relaxationsversuch in der dynamisch-mechanischen Analyse	27
4.2.3 Relaxationsverhalten aus zyklischen Versuchen	29
4.2.4 Masterung der zyklisch - dynamischen Messwerte	33
4.3 Versuchsmethoden zur Bestimmung der Poissonzahl	33
4.3.1 Literaturüberblick	34
4.3.2 Ultraschallverfahren	36
4.3.3 Messung der Querdehnung im Zugversuch mit Grauwertkorrelation	38
5 Ergebnisse und Diskussion des Relaxationsverhaltens	41
5.1 Ergebnisse der zyklischen Versuche	41
5.1.1 Zug- und Biegebelastung in der DMA	41
5.1.2 Masterung	42
5.2 Zeit-Temperatur-Verschiebung	44
5.2.1 Sekundärer Relaxationsmechanismus - Arrheniusansatz	47
5.2.2 Implementierung der kombinierten ZTV in FEM	48
5.3 Übergang vom Frequenz- in den Zeitbereich	49
5.3.1 Optimierungsproblem	50
5.3.2 Optimierung mit genetischen Algorithmen	51
5.3.3 Optimierung mit Gradientenverfahren	52
5.3.4 Sensitivitätsanalyse	54
5.4 Verifikation der Transformation von Frequenz- zu Zeitbereich und ZTV mit Relaxation- versuch	56
5.4.1 Ergebnisse aus Relaxationstests	56
5.4.2 Bewertung der Zeit-Temperatur-Verschiebung	59
5.4.3 Bedeutung von E_∞ und dessen Bestimmung	61

6 Ergebnisse und Diskussion der zeit- und temperaturabhängigen Poissonzahl	63
6.1 Ergebnisse aus Messungen der Poissonzahl	63
6.1.1 Ergebnisse aus Ultraschallmessungen	63
6.1.2 Ergebnisse aus Messungen des Verformungsfeldes mittels Grauwertkorrelation . . .	65
6.1.3 Ansatz der zeitabhängigen Poissonzahl	66
6.1.4 Diskussion des Parameters b	68
6.2 Ermittlung der Pronyreihen	70
6.2.1 Bestimmung von $G(t)$ und $K(t)$ über $E(t)$ und $\nu(t)$	70
6.2.2 Fehler durch Verletzung der Randbedingung	71
6.3 Anwendungsbeispiel	72
6.3.1 FE-Modell und Randbedingungen	72
6.3.2 Ergebnisse aus FE-Rechnung	74
6.4 Fazit zur zeit- und temperaturabhängigen Poissonzahl	75
7 Ausblick	77
7.1 Relaxationsverhalten und Temperaturabhängigkeit	77
7.2 Parameteridentifikation der Pronyreihe	78
7.3 Zeit- und Temperaturabhängige Poissonzahl	78
A Masterung	79
A.1 Unterschiede von automatischer und manueller Masterung	79
B Zeit-Temperatur-Verschiebung	83
B.1 ZTV Subroutine für ABAQUS	83
C Materialdaten	85
C.1 Pronyreihen für $G(t)$ und $K(t)$	85
C.2 Verwendete Materialdaten für FE-Modell	87
Literatur	93