

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Nomenklatur	v
Symbolverzeichnis	v
Mathematische Symbole	ix
Indizes	xi
Abkürzungen	xi
1 Zielstellung und Aufbau der Arbeit	1
2 Informationen zu magnetorheologischen Fluiden und Ansätze zur Materialmodellierung	5
2.1 Bestandteile von magnetorheologischen Fluiden	5
2.2 Zusammensetzung des verwendeten magnetorheologischen Fluids	6
2.3 Materialverhalten von Suspensionen in Abhängigkeit der Partikel Volumen Konzentration	7
2.4 Magnetorheologischer Effekt	8
2.5 Phänomenologischer fest-flüssig Übergang eines magnetorheologischen Fluids	10
2.6 Anwendungsbereich magnetorheologischer Fluide	11
2.7 Magnetorheologisches Fluid – das magnetische Analogon zum elektrorheologischen Fluid	12
2.8 Magnetomechanische Eigenschaften des verwendeten magnetorheologischen Fluids . .	13
2.9 Ansätze zur Modellierung des Materialverhaltens magnetorheologischer Fluide	14
2.10 Zweistufige phänomenologische Materialmodellierung auf Grundlage eindimensionaler Materialgleichungen rheologischer Elemente	16
3 Grundlegende Betrachtungen für die Materialmodellierung	23
3.1 Physikalisch nichtlineares Materialverhalten im Bereich geometrisch linearer Theorie .	23
3.2 Kinematische Beschreibung von einfachem Schub	25
3.3 Gleichgewichtsrelation	30
3.4 Praktische Bestimmung der Gleichgewichtsrelation und Konsequenzen für die Model- lierung	31
3.4.1 Viskoelastizität mit von Null verschiedener Gleichgewichtsspannung	32
3.4.2 Viskoelastizität mit Gleichgewichtsspannung von Null	34
3.5 Untersuchung des Materialverhaltens auf Ratenabhängigkeit	38
3.5.1 Bogenlänge u als pseudo Zeitmaßstab	38
3.5.2 Arbeitsweise der kinematischen Bogenlänge	39
3.5.3 Experimentelle Möglichkeiten zur Feststellung von Ratenabhängigkeit	40
3.6 Phänomenologische Materialklassifizierung nach HAUPT	40
3.7 Stationäre Materialfunktion für eine konstante Schubverzerrungrate	42
3.7.1 Fließkurve	42
3.7.2 Viskosität	43
3.8 Stationäre Materialfunktionen für eine sinusförmige verzerrungsgesteuerte Anregung im Bereich geometrisch linearer Theorie	46
3.8.1 Oszillatorische Scherung physikalisch kleiner Amplituden (SAOS)	48
3.8.2 Oszillatorische Scherung physikalisch großer Amplituden (LAOS)	50

3.8.3	Visualisierung des rheologischen Fingerabdrucks mittels LISSAJOUS Diagrammen im PIPKIN Raum	57
4	Phänomenologische Klassifizierung von Stoffen in Festkörper, Flüssigkeiten und Materialien mit fest-flüssig Übergang	61
4.1	Viskoses und plastisches Fließen	61
4.2	Bestehende Ansätze zur Klassifikation von Materialien in Festkörper und Flüssigkeiten	62
4.3	Klassifizierung von Stoffen in Festkörper, Flüssigkeiten und Materialien mit fest-flüssig Übergang	65
4.3.1	Definition der Stoffklasse <i>Flüssigkeit</i>	68
4.3.2	Definition der Stoffklasse <i>Festkörper</i>	70
4.3.3	Definitionen für <i>Flüssigkeit mit Fließspannung</i> und <i>Flüssigkeit mit pseudo Fließspannung</i> als Teilmenge der Stoffklasse <i>Material mit fest-flüssig Übergang</i>	71
5	Charakteristische Punkte von Materialfunktionen des rCROSS-BINGHAM-HOOKE Elements	75
5.1	Konstitutive Gleichungen des rCROSS-BINGHAM-HOOKE Elements	75
5.2	Numerische Implementierung des rCROSS-BINGHAM-HOOKE Elements	77
5.3	Materialantwort des rCROSS-BINGHAM-HOOKE Elements für eine konstante Schubverzerrungsrate	81
5.4	Verhalten des rCROSS-BINGHAM-HOOKE Elements unter verzerrungsgeregelter sinusförmiger Anregung mit physikalisch großer Amplitude	84
5.4.1	FOURIER Transformierte in Abhängigkeit der Schubverzerrungsamplitude für konstante Kreisfrequenzen	88
5.4.2	FOURIER Transformierte in Abhängigkeit der Kreisfrequenz für konstante Schubverzerrungsamplitude	97
6	Charakteristische Punkte von Materialfunktionen des endochronen MAXWELL Elements	103
6.1	Korrespondenzprinzip zum Ableiten endochroner Materialgesetze	104
6.2	Konstitutive Gleichungen des endochronen MAXWELL Elements	104
6.3	Materialantwort des endochronen MAXWELL Elements für eine konstante Schubverzerrungsrate	106
6.4	Verhalten des endochronen MAXWELL Elements unter verzerrungsgeregelter sinusförmiger Anregung mit physikalisch großer Amplitude	109
7	Konzept und Identifikation der Fließspannung	117
7.1	Fließspannung als phänomenologischer Materialparameter	117
7.2	Fließkurve zur Extrapolation auf die dynamische Fließspannung	119
7.3	Verzerrungsrampe zur Identifizierung der statischen Fließspannung	120
7.4	Spannungsrampe zur Bestimmung der statischen Fließspannung	122
7.5	Amplitudensweep zur Identifizierung der statischen Fließspannung	125
7.6	LISSAJOUS Diagramme im PIPKIN-Raum zur Bestimmung der statischen Fließspannung	128
7.7	Relaxationsversuche zum Ermitteln der statischen Fließspannung	128
7.8	Kriechversuche zur Identifizierung der statischen Fließspannung	129
7.9	Identifikation der Fließspannung einer magnetorheologischen Flüssigkeit	130
8	Modellierung des Materialverhaltens magnetorheologischer Fluide unter einfachem Schub	131
8.1	Modellierung des Materialverhaltens eines magnetorheologischen Fluids ohne dem Einfluss eines äußeren Magnetfeldes	131
8.1.1	Identifikationsstrategie zur bestmöglichen Modellierung von Speicher- und Verlustmodul	132
8.1.2	Identifikationsstrategie zur bestmöglichen Modellierung der Fließkurve	133
8.2	Modellierung des Materialverhaltens eines magnetorheologischen Fluids unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfeldes auf Basis des rCROSS-BINGHAM-HOOKE Elements .	135
8.2.1	Qualitativer Modellierungsschritt – Entwicklung einer Modellstruktur	135
8.2.2	Quantitative Modellierung – Identifikation der Materialparameter	136

8.2.3	Vergleich der Messungen mit Modellvorhersagen	144
8.3	Modellierung des Materialverhaltens eines magnetorheologischen Fluids unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfelds auf Basis des PRANDTL Elements	146
8.3.1	Qualitativer Modellierungsschritt – Entwicklung einer Modellstruktur	146
8.3.2	Quantitative Modellierung – Identifikation der Materialparameter	147
8.3.3	Vergleich der Messungen mit Modellvorhersagen	150
8.4	Modellierung des Materialverhaltens eines magnetorheologischen Fluids unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfelds auf Basis des endochronen MAXWELL Elements	152
8.4.1	Qualitativer Modellierungsschritt – Entwicklung einer Modellstruktur	152
8.4.2	Quantitative Modellierung – Identifikation der Materialparameter	153
8.4.3	Vergleich der Messungen mit Modellvorhersagen	156
8.5	Auswertung und Gültigkeitsbereich der Modellierungsansätze	158
9	Modellierung des Materialverhaltens eines magnetorheologischen Komposites	161
9.1	Phänomenologische Modellierung des Materialverhaltens eines Polyurethan Schaumstoffs	162
9.2	Materialmodell eines magnetorheologischen Fluids unter Berücksichtigung geometrischer Restriktionen für die Simulation des Verhaltens eines magnetorheologischen Komposites	164
9.3	Simulation des Druckverhaltens eines magnetorheologischen Komposites bei verschiedenen Stärken der äußeren magnetischen Induktion	165
10	Zusammenfassung und Ausblick	169
11	Folgerungen	173
A	Anhang	181
A.1	Definition des LAGRANGESchen und EULERSchen Verzerrungstensors	181
A.2	Geometrische Linearisierung des LAGRANGESchen und EULERSchen Verzerrungstensors	186
A.3	Linearisierung des LAGRANGESchen und EULERSchen Deformationsgeschwindigkeitstensors für geometrisch linearen einfachen Schub	188
A.4	Komplexe Schreibweise von LAOS in elastischer und dissipativer Interpretation	189
A.4.1	Komplexe Schreibweise in dissipativer Interpretation	189
A.4.2	Komplexe Schreibweise in elastischer Interpretation	190
A.5	Identifikation der Spannung des endochronen MAXWELL Elements als Gleichgewichtsspannung	190
A.6	LAOS-Verhalten des endochronen MAXWELL Elements	191
A.6.1	Asymptotische Spannungsantwort für sinusförmige verzerrungsgeregelte Anregung	191
A.6.2	Speichermodul des endochronen MAXWELL Elements	193
A.6.3	Höherharmonische des endochronen MAXWELL Elements	195
A.6.4	Numerische Eigenschaften der analytischen Lösungen der harmonischen Materialfunktionen	197
A.6.5	Harmonische Materialfunktionen des endochronen MAXWELL Elements im Vergleich zu denen des PRANDTL Elements	200
A.7	Rohdaten der Messungen zur Fließkurve sowie Speicher- und Verlustmodul einer 40 vol% Suspension aus Carbonyleisen Pulver von BASF™ suspendiert in die Trägerflüssigkeit MOTUL 300V	203
	Literaturverzeichnis	205
	Stichwortverzeichnis	237