



Ulrich Sauter (Autor)

**Globale Stabilität schlanker schweregetriebener
hochviskoser und viskoelastischer
Flüssigkeitsstränge**

Ulrich Sauter

**Globale Stabilität
schlanker schweregetriebener
hochviskoser und
viskoelastischer
Flüssigkeitsstränge**

Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2596>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	IV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand des Wissens	4
2.1 Instabilitäten in axialsymmetrischen Flüssigkeitssträngen	4
2.1.1 Kapillare Instabilität	4
2.1.2 Tropfender Hahn	8
2.1.3 Laufzeitinstabilitäten	10
2.1.4 Zerwellen	10
2.1.5 „Draw Resonance“	10
2.1.6 „Necking“	11
2.1.7 Kohäsiver Bruch	12
2.1.8 „Buckling“ und „Coiling“	12
2.2 Fluidmechanische Grundlagen	13
2.2.1 Die Kinematik einachsiger Dehnströmungen	13
2.2.2 Materialspannungen bei einachsiger Dehnung	15
2.2.3 Maxwellfluide in einachsiger Dehnströmung	15
2.3 Mathematische Grundlagen	17
2.3.1 Klassifizierung quasilinearer partieller Differentialgleichungen 2. Ordnung	17
2.3.2 Hyperbolische Partielle Differentialgleichungen	18
2.3.3 Abhängigkeitsgebiet und Einflußgebiet	20
2.3.4 Stabilität, Konsistenz, Konvergenz	21
2.4 Ausgewählte Aspekte der Stabilitätstheorie	22
2.4.1 Lineare Stabilitätsanalyse	22
2.4.2 Absolute und konvektive Instabilitäten	23
3 Newtonfluide	25
3.1 Das eindimensionale Modell	25
3.2 Stationäre Lösungen	29

3.2.1	TROUTON-Lösung	29
3.2.2	CLARKE-Lösung	30
3.2.3	Dominanter Oberflächenspannungseffekt	30
3.2.4	Lösung der vollen stationären Gleichungen	31
3.3	Lineare Stabilitätsanalyse	36
3.3.1	Herleitung der linearisierten Stördifferentialgleichungen	36
3.3.2	Direkte numerische Simulation der Stördifferentialgleichungen	37
3.3.3	Separationsansatz	39
3.3.4	Eigenschaften der Störfunktionen	44
3.4	Simulation der instationären nichtlinearen Gleichungen	49
3.5	Numerik der nichtlinearen Simulation	56
4	Nichtlinear viskose Flüssigkeiten	58
4.1	Modellgleichungen	58
4.2	Stationäre Lösung	59
4.3	Lineare Stabilitätsanalyse	60
5	Korotatorische Maxwellfluide	65
5.1	Modellgleichungen	65
5.2	Bestimmung des PDG-Typs	66
5.3	Stationäre Lösung	67
5.3.1	Eigenschaften der stationären Gleichungen	67
5.3.2	Behebung der Singularität	68
5.3.3	Berechnung der stationären Lösung	71
5.4	Stördifferentialgleichungen und Transformation auf konservative Variable	73
5.5	Formulierung der Randbedingungen	77
5.6	Lösung der Stördifferentialgleichungen	78
5.7	Elastische Instabilität	81
6	Experimenteller Aufbau und verwendete Materialien	84
6.1	Die Versuchsanlage	84
6.2	Bestimmung des Volumenstroms	88
6.3	Düsen	88
6.4	Optische Meßtechnik	90
6.4.1	Hardware	90

6.4.2	Software	91
6.5	Versuchsflüssigkeiten	92
6.5.1	Newtonsche Silikonöle	92
6.5.2	Wässrige Polyvinylpyrrolidon-Lösung	94
7	Experimente	97
7.1	Stationäre Experimente mit Newtonfluiden	97
7.2	Experimentelle Stabilitätsanalyse mit Newtonfluiden	101
7.2.1	„Punkte“ marginaler Stabilität	101
7.2.2	Fehlerbetrachtung	105
7.2.3	Schlankheitskriterium	109
7.2.4	Wellengeschwindigkeiten	111
7.3	Messungen im instabilen Bereich und Vergleich mit nichtlinearen Simulationen	114
7.4	Vergleich mit verwandten Problemen	117
7.5	Stationäre Experimente mit viskoelastischen Flüssigkeiten	122
7.6	Experimentelle Stabilitätsanalyse mit viskoelastischen Flüssigkeiten	123
8	Zusammenfassung	127
Literatur	131
A	Rheometrische Daten und Kamerakalibrierung	141
B	Numerische Verfahren	144
B.1	Implizites Eulerverfahren	144
B.2	Upwind-Verfahren	144
C	Dimensionsbehaftete Stabilitätsgrenze – eine Beispielrechnung	146
D	Unabhängigkeit der maximal möglichen Dehnrates von der Düsenströmung	148
E	Ergänzende Stabilitätsmessungen	150
E.1	Versuche mit PAA in Zuckersirup	150
E.2	Experimente mit Silikonkautschuk in Silikonöl	151
F	CaBER-Messungen	155