

Dipl.-Ing. Hans J. Berg, Zürich

**Prozeßoptimierte  
numerische Verfahren  
zur Auslegung von  
wirkmedienunterstützten  
Umformvorgängen**

Reihe **2**: Fertigungstechnik

Nr. **461**

---

# Inhaltsverzeichnis

---

Danksagung .....	III
Inhaltsverzeichnis .....	V
Kurzfassung.....	IX
Abstract .....	XI
Konventionen .....	XIII
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation .....	1
1.2 Stand des Wissens .....	1
1.3 Ziel der Arbeit .....	3
2 Beschreibung der Umformverfahren .....	6
2.1 Innenhochdruckumformen von Rohren .....	6
2.1.1 Verfahrensprinzip.....	6
2.1.2 Verfahrensvarianten .....	7
Aufweiten mit Nachschieben .....	7
Partielles Aufweiten mit Gegenhalter .....	8
Versetzen.....	9
2.1.3 Versagensfälle .....	9
2.1.4 Prozeßparameter.....	10
2.1.5 Vorteile des Verfahrens .....	10
2.2 Fluidzellverfahren .....	11
2.2.1 Verfahrensprinzip.....	11
2.2.2 Verfahrensvarianten .....	12
Formblock als Werkzeug .....	12
Fluidformverfahren .....	12

2.2.3	Versagensarten .....	13
2.2.4	Prozeßparameter.....	13
2.2.5	Vorteile.....	13
3	Explizite Zeitintegrationsmethode .....	15
3.1	Gleichgewichtsbedingung .....	15
3.2	Zentrales Differenzenverfahren .....	19
3.3	Stabilität .....	22
4	Elementformulierung .....	26
4.1	Elementwahl .....	26
4.2	Beschreibung des Schalenelementes .....	29
4.2.1	Korotiertes Elementkoordinatensystem .....	29
4.2.2	Membrananteil .....	32
Isoparametrische Darstellung.....		32
Dehnungsberechnung.....		34
Kräfteberechnung.....		36
Aufdatieren der Dicke.....		37
4.2.3	Biegeanteil .....	38
Elementaufteilung .....		38
Dehnungsberechnung.....		39
Momentenberechnung.....		44
Korrekturkräfte.....		46
4.2.4	Addition des Biege- und Membrananteiles zur vollständigen Schalenelementbeschreibung .....	47
4.2.5	Druckberechnung.....	49
4.3	Beispiel .....	51
5	Modellierung des Materialverhaltens .....	55
5.1	Elasto-plastisches Werkstoffgesetz .....	55
Fließfunktion.....		55
Fließregel .....		56

	Verfestigung .....	56
	Spannungs-Dehnungsmatrix .....	56
5.2	Integration des Stoffgesetzes .....	57
5.2.1	Stoffgesetzintegration in zwei Schritten .....	58
5.2.2	Subinkremente .....	63
5.2.3	Abschätzung der Anzahl Subinkremente .....	65
5.3	Fließortbeschreibungen .....	67
5.3.1	Isotropes Materialverhalten.....	67
5.3.2	Anisotropes Materialverhalten.....	67
	Hill .....	67
	Barlat-Lian .....	68
5.4	Beispiele .....	71
5.4.1	Fließortvergleich zwischen Hill und Barlat-Lian.....	71
5.4.2	Tiefziehen eines rotationssymmetrischen Topfes .....	75
6	Kontaktbeschreibung .....	77
6.1	Aufbau des Kontaktmoduls .....	77
6.2	Algorithmen zur Erfüllung der Kontaktbedingungen .....	79
6.2.1	Kontakt deformierbar gegen starr .....	79
	Verschiebungsmethode .....	79
	Beispiel.....	80
	Anwendung bei realen Prozessen .....	81
	Vergleich mit der Penalty-Formulierung .....	89
	Beispiel.....	89
6.2.2	Kontakt deformierbar-deformierbar.....	91
	Verschiebungsmethode .....	91
	Sonderfall: Doppelkontakt deformierbar-deformierbar-starr....	93
	Penalty-Methode .....	94
	Beispiel.....	96
	Penalty-Methode bei der Simulation realer Prozesse .....	97

---

	Festlegung der Master- und Slave-Fläche.....	100
6.3	Modellierung der Reibung .....	100
6.3.1	Reibungsgesetze.....	100
6.3.2	Berechnung der Normalspannung.....	101
	Kontakt deformierbar gegen starr .....	101
	Beispiel Streckziehen.....	102
	Kontakt deformierbar gegen deformierbar .....	104
6.3.3	Berechnung der Reibungskräfte.....	105
7	Anwendungsbeispiele .....	109
7.1	Rohraufweiten mit Vorbiegen .....	109
	Materialdaten .....	109
	Vorbiegen.....	110
	Innenhochdruckumformen .....	110
	Interpretation der Ergebnisse .....	113
7.2	Umformen einer Duschwanne mit dem Fluidzellverfahren .....	113
	Simulationsmodell .....	113
	Partielle Prozeßbeschleunigung .....	114
	Resultate.....	118
	Interpretation der Ergebnisse .....	121
8	Ausblick .....	123
9	Literaturverzeichnis .....	124