

Dipl.-Ing. Waldemar Kubli, Niederglatt

**Prozeßoptimierte
implizite FEM-Formulierung
für die Umformsimulation
großflächiger Blechbauteile**

Reihe **20**: Rechnerunterstützte
Verfahren

Nr. **204**

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	VIII
Summary	X
Konventionen.....	XII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Vorgehensweise	1
1.3 Neu entwickelte Verfahren	2
2 Anforderungen der Blechumformung	4
2.1 Situationsanalyse	4
2.1.1 Vorgegebene Ziele.....	4
2.1.2 Ablauf der Produkt- und Prozessentwicklung	5
2.1.3 Auslegung des Umformprozesses.....	5
2.1.4 Mechanik des Blechumformproblems.....	7
2.1.5 Datenfluss.....	8
2.1.6 Stand der Simulationstechnik.....	8
2.1.7 Zukunftsentwicklung.....	11
2.2 Anforderungen an das Simulationssystem	11
3 Überlegungen zur Konzeption	14
3.1 Special-Purpose-Programm	14
3.2 Genauigkeit und Aufwand	15
3.3 Anwenderfreundliche Problemspezifikation	17
3.4 Hauptmodule	18
4 Entwicklung des Grundprogrammes	20
4.1 Zeitintegrationsmethode	20
4.1.1 Implizite Zeitintegration.....	20
4.1.2 Explizite Zeitintegration	23
4.1.3 Vergleich und Folgerungen.....	28
4.2 Grundidee der Entkoppelung	29
4.2.1 Das Problem der Konditionierung	29
4.2.2 Grundidee der entkoppelten Lösung.....	31
4.3 Elementformullerung	32
4.3.1 Elementwahl.....	32
4.3.2 Grosse Verschiebungen und Verzerrungen.....	34

4.3.3	Koordinatensysteme	35
4.3.4	Dehnungsbeschreibung.....	36
4.3.5	Berechnung der quadratischen Dehnung	40
4.3.6	Stoffgesetz.....	42
4.3.7	Prinzip der virtuellen Verschiebungen	46
4.3.8	Steffigkeit	49
4.3.9	Entkoppelung der Steffigkeit.....	50
4.4	Das entkoppelte Löseverfahren	52
4.4.1	Berücksichtigung von Kontakt und Reibung.....	52
4.4.2	Biegelösung	55
4.4.3	Scheibenlösung	57
4.4.4	Der entkoppelte Algorithmus.....	60
4.5	Konvergenzkriterium für die Newton-Raphson-Iteration	63
4.6	Lineare Gleichungslösung	67
4.6.1	Konjugierte-Gradienten-Methode	67
4.6.2	Element-by-Element-Speicher methode.....	69
4.6.3	Side-by-Side-Speicher methode	72
4.6.4	Numerische Untersuchungen	74
4.7	Adaptive Diskretisierung	79
4.7.1	Räumliche Diskretisierung.....	79
4.7.2	Zeitliche Diskretisierung.....	96
4.8	Verifikationsbeispiel Kotflügel	101
4.8.1	Vergleich mit dem Experiment.....	102
4.8.2	Vergleich mit dem Programm Dyna3D	102
4.8.3	Konvergenzstudie.....	106
5	Berücksichtigung von Biegeeffekten	113
5.1	Biegeeinflüsse beim Tiefziehen	113
5.2	Biegeform	115
5.3	Zieh widerstand Infolge Biegung	119
5.3.1	Berücksichtigung In der Scheibenlösung	119
5.3.2	Berechnung der Krümmung	122
5.3.3	Verifikationsbeispiel Griffmulde: Einfluss der Dicke	125
5.3.4	Verifikationsbeispiel Rückwand: Einfluss der Ziehleisten	126
5.3.5	Folgerungen.....	131
5.4	Rückfederung	131
5.4.1	Konzept	132
5.4.2	Diskussion.....	135

6	Zusammenfassung und Ausblick	137
A	Eingabesyntax	139
B	Eingabebeispiel	143
C	Literaturverzeichnis	145