

INHALTSVERZEICHNIS**Seite:**

0. VERZEICHNIS DER WICHTIGSTEN ABKÜRZUNGEN	IV
1. EINLEITUNG	1
2. STAND DER TECHNIK	4
2.1 Werkstückeigenschaften	5
2.2 Umformwerkzeug, Wirkfuge und Werkstückform	6
2.3 Werkzeugmaschine und Betrieb	7
2.4 Die Umformzone	9
3. ZIELSETZUNG UND AUFGABENSTELLUNG	13
4. PILOTVERSUCHE	14
4.1 Fließbeginn	15
4.2 Bersten	17
4.3 Knicken oder Falten	17
5. MODELLBILDUNG	20
5.1 Merkmale einer Hohlwelle	20
5.2 Geometrie und Werkstoffe des Modells	21
5.2.1 Vorbereitung der Ausgangsrohre	23
5.3 Umformbelastungen	25
5.4 Versuchsprogramm	26
6. FORMGEBUNG	29
6.1 Vorgangsablauf	29
6.1.1 Erste Vorgangsphase (freies Aufweiten)	29
6.1.2 Zweite Vorgangsphase (Kalibrieren)	29
6.1.3 Vorgangsphasen im Maschinenarbeitsdiagramm	30

6.2	Einflüsse auf die Formgebung	32
6.2.1	Versagensfälle	33
6.2.1.1	Bersten	33
6.2.1.2	Knicken oder Falten	33
6.2.1.2.1	Berechnung der Knickgrenze	34
6.2.1.2.2	Untersuchung der berechneten Knickgrenze	39
6.2.2	Rohrausgangsparameter	45
6.2.3	Prozeßführung	46
6.2.3.1	Das prozeßnahe Rechenmodell	46
6.2.3.1.1	Programm zur Prozeßdatenermittlung	46
6.3	Experimentelle Untersuchungen	54
6.3.1	Variation der Rohrbelastungen	54
6.3.1.1	Vorgangsparameter	54
6.3.1.2	Wanddicke im Aufweitbereich	58
6.3.2	Variation der Modellgeometrie	62
6.3.2.1	Einfacher Absatz	62
6.3.2.1.1	Variation der Rohrausgangswanddicke	62
6.3.2.1.2	Variation des Aufweitdurchmessers	65
6.3.2.1.2	Variation der Querschnittsübergänge	69
6.3.2.1.4	Variation der zylindrischen Aufweitung	72
6.3.2.1.5	Stufenversuche	75
6.3.2.2	Mehrfache Absätze	86
6.3.2.2.1	gleichmäßig gestufte Hohlwelle	86
6.3.2.2.2	ungleichmäßig gestufte Hohlwelle	86
6.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	96
7.	HINWEISE ZUR GENAUIGKEIT	97
7.1	Form- und Maßgenauigkeit des Ausgangsrohres	98
7.2	Rückbildung von Wanddickenabweichungen	98
7.3	Werkstückgeometrie	100
7.4	Prozeßsteuerung	103
7.4.1	Formgebungsablauf	103
8.	WERKZEUG UND MASCHINE	112
8.1	Werkzeug	112
8.1.1	Werkzeugbelastungen	113
8.1.2	Werkzeugteilung	118

8.1.3	Werkzeugfederung	121
8.2	Maschine	121
8.2.1	Hydraulikantrieb	123
8.2.2	Maschinen und Prozeßsteuerung	124
8.2.3	Prozeßführung	124
9.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	131
	LITERATURVERZEICHNIS	133
	ANHANG	136