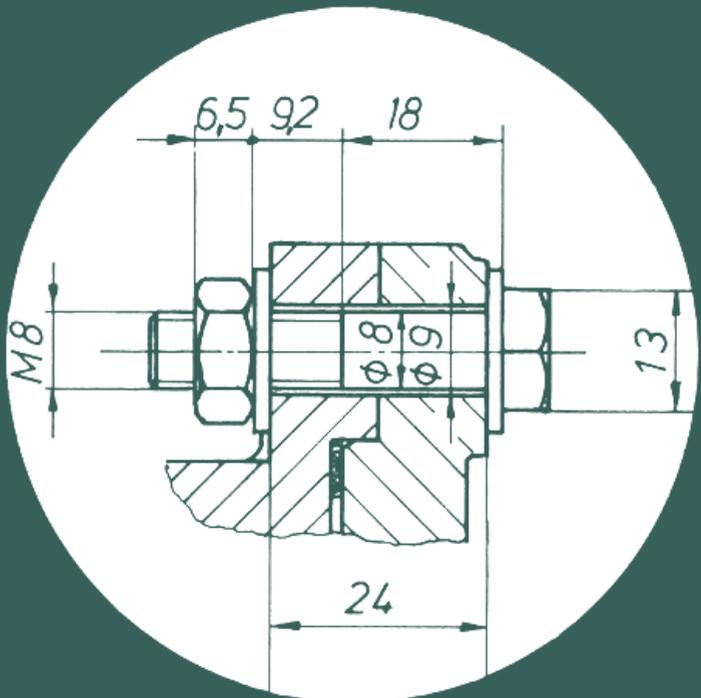


# Vieweg Programmbibliothek Taschenrechner 8

## Maschinenbau (TI-58/59, HP-41C, FX-502/602P)

Verbindungstechnik  
Verformungstechnik  
Getriebetechnik  
Wärmeabfuhr





Vieweg Programmbibliothek  
Taschenrechner 8

**Maschinenbau**  
**(TI-58/59, HP-41C, FX-502/602 P)**

# Vieweg Programmbibliothek Taschenrechner

Herausgegeben von Helmut Alt/Harald Schumny

Band 1

Programmierung mathematischer Algorithmen

Band 2

Taschenrechnerarithmetik

mit erhöhter Genauigkeit (TI-59/HP-41 C/CV)

Band 3

Spezielle mathematische

Algorithmen (HP-41 C/TI-58/59)

Band 4

Schreiben, Zeichnen, Tabellieren (TI-59/HP-41 C)

Band 5

Spiele (TI-56, HP-41 C)

Band 6

Geodätische Programme (HP-11 C)

Band 7

Kryptologie (HP-41 C/CV)

Band 8

Maschinenbau (TI-58/59, HP-41 C, FX 502/602 P)

Vieweg Programmbibliothek  
Taschenrechner Band 8

Helmut Alt/Harald Schumny (Hrsg.)

# **Maschinenbau (TI-58/59, HP-41 C, FX-502/602 P)**

Verbindungstechnik, Verformungstechnik  
Getriebetechnik, Wärmeabfuhr

Mit 9 ausführlich  
erläuterten Programmen



Friedr. Vieweg & Sohn      Braunschweig / Wiesbaden

## Die Autoren des Bandes

*Dipl.-Ing. (FH) Erich Christian*  
Dillstr. 5  
6370 Oberursel

Konstruktionsingenieur in der  
Luftfahrttechnik

*Dipl.-Ing. Jürgen Ritzenhoff*  
Unterbank 16  
4600 Dortmund-Dorstfeld

Nachrichtentechniker,  
Software-Entwickler

*Ing. (grad.) Hans Krissler*  
Brunnenwiesenweg 44  
7061 Lichtenwald 2

Konstruktionsingenieur

*Ing. Peter Dahms VDI*  
Zerndorfer Weg 60  
1000 Berlin 28

Maschinenbauingenieur, zuständig für  
die Anwendungstechnik – Hydraulik/  
Zentralschmierung

*Dipl.-Ing. Gerhard Eckerle*  
Bahnhofstr. 22  
7500 Karlsruhe 1

Ingenieur für Heizung, Lüftung, Klima,  
Kälte

## 1984

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1984

Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder, auch für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren einschließlich Speicherung und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien.

Satz: Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

ISBN-13: 978-3-528-04262-2

e-ISBN-13: 978-3-322-85906-8

DOI: 10.1007/978-3-322-85906-8

# Inhaltsverzeichnis

Einführung .....	1
<i>Erich Christian</i>	
Berechnung von Schraubenverbindungen, TI-59 .....	2
Berechnung der Volumenströme, Druckverluste und Paßspiele für Ringspalt-drosseln, TI-59 .....	15
<i>Jürgen Ritzenhoff</i>	
Breitungsgleichung nach Ekelund, TI-58/59 .....	24
<i>Hans Krissler</i>	
Zahnradberechnung, HP-41C .....	32
<i>Peter Dahms</i>	
Druckfederberechnung, FX-602 P .....	49
Räderkurbelgetriebe, FX-602 P .....	54
Koppelkurve, FX-602 P .....	60
<i>Gerhard Eckerle</i>	
Berechnung des optimalen Platten- und Rippenabstandes bei freier Konvektion in Luft, FX-502 P .....	65
Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten bei freier Konvektion in Luft, FX-502 P .....	71



# Einführung

In diesem 8. Band der Vieweg-Programmbibliothek sind praxisorientierte Programmanwendungen aus dem Bereich Maschinenbau für drei verschiedene Rechnertypen zusammengestellt.

Im ersten Beitrag befaßt sich *E. Christian* mit der Dimensionierung von Schraubenverbindungen unter dem Einfluß von Wärmespannungen. Das Programm liefert als Ergebnis die kritischen Spannungswerte und das zulässige Anzugsmoment. Der anschließende Beitrag befaßt sich mit dem Problem der Leckverluste durch Ringspalte bei Steuerschiebern und Förderpumpen. Beide Programme sind für den Texas-Instruments-Rechner TI-59 konzipiert.

Das Problem der Breitenzunahme nach einem Walzvorgang greift *J. Ritzenhoff* zu einem Programm vorschlag zur iterativen Lösung einer Breitungsgleichung nach Ekelund mit dem Texas-Instruments-Rechner TI-58 auf.

Im vierten Beitrag befaßt sich *H. Krissler* mit einer Zahnradberechnung auf dem Hewlett Packard-Rechner HP-41C. Die Programme liefern die Bestimmungsgrößen einer Zahnradpaarung sowie die Koordinaten von Zwischenwellen.

Die drei folgenden Beiträge von *P. Dahms* basieren auf dem Casio-Rechner FX-602 P. Das erste Beispiel Druckfederberechnung liefert als Ergebnis den Drahtdurchmesser einer Druckfeder nach DIN 2089. Im zweiten und dritten Beispiel werden Programme für ein Räderkurbelgetriebe und zur Analyse einer Kurbelschwinge behandelt, ein Thema, das in systematischer Darstellung bereits in den Bänden 10 und 13 der Reihe Anwendung programmierbarer Taschenrechner abgehandelt wurde.

Die beiden letzten Beispiele von *G. Eckerle* befassen sich mit der Oberflächengestaltung von Maschinenteilen zur Erzielung einer optimalen Wärmeabfuhr an die Umgebungsluft.

Dieser Band wird innerhalb der Vieweg-Programmbibliothek insbesondere Studenten und Praktikern des Maschinenbaus den möglichen Einsatz programmierbarer Rechner aufzeigen und Anregungen für eigene Problemlösungen in diesem Fachgebiet liefern.

Die Herausgeber

# Berechnung von Schraubenverbindungen, TI-59

von Erich Christian

## 1 AUFGABENSTELLUNG

Sind Schraube und die zu verschraubenden Flanschteile aus verschiedenen Werkstoffen, dann treten bei Temperaturschwankungen auch entsprechende Änderungen in der Vorspannkraft und der davon abhängigen Werkstoffspannung auf.

Dieser Umstand muß bei der Bemessung der Vorspannung, und damit bei der Festlegung des Anzugsmomentes mit berücksichtigt werden.

Vielfach werden Leichtmetallflansche mit Stahlschrauben verbunden. In solchen Fällen wird sich bei Temperaturerhöhungen, infolge der unterschiedlichen Wärmeausdehnung der beiden Werkstoffe, auch eine entsprechende Erhöhung der Vorspannkraft einstellen, die dann bei dynamischer Belastung auch eine entsprechende Erhöhung der Maximallast  $F_0$  mit sich bringt.

Hier muß für die Berechnung des Anzugsmomentes eine entsprechend geringere Vorspannung in Ansatz gebracht werden.

## 2 LÖSUNGSWEG

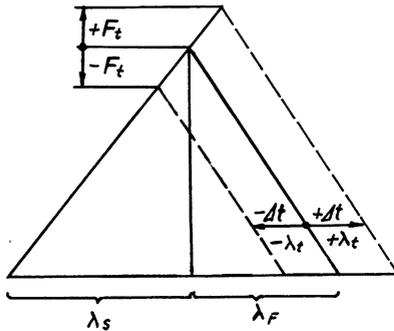
### 2.1 Theoretische Grundlagen

Die Längenausdehnungsdifferenz durch Wärmeeinwirkung auf zwei verschiedene Werkstoffe errechnet sich nach der Gleichung

$$\lambda_f = L_K \cdot (\alpha_f - \alpha_s) \cdot \Delta t$$

Hierin ist  $\alpha_F$  die Ausdehnungszahl für die Flanschteile  
 $\alpha_S$  die Ausdehnungszahl für die Schraube  
 $L_K$  die Klemmlänge

Die Veränderung der Länge lässt sich im Verspannungs-  
dreieck (Rötscher-Diagramm) folgendermaßen darstellen.



Es ist zu erkennen, daß bei positivem  $\lambda_t$  eine Vorspannungserhöhung und bei negativem  $\lambda_t$  eine Vorspannungssenkung eintritt. Dabei verhält sich

$$\frac{F_V}{\lambda_S + \lambda_F} = \frac{F_t}{\lambda_t}$$

Setzt man für

$$\lambda_t = L_K \cdot (\alpha_F - \alpha_S) \cdot \Delta t$$

und für

$$\lambda_S = \frac{F_V}{C_S} \quad \text{sowie} \quad \lambda_F = \frac{F_V}{C_F}$$

dann ergibt sich als temperaturabhängige Zusatzlast

$$F_t = \frac{C_F \cdot C_S \cdot L_K \cdot (\alpha_F - \alpha_S) \cdot \Delta t}{C_F + C_S}$$

Ein negatives Ergebnis bedeutet dabei eine entsprechende Minderung der Vorspannkraft.

Diese zusätzliche Kraft  $F_t$  muß bei der Berechnung des Anzugsmomentes entweder von der Vorspannkraft  $F_V$  abgezogen werden, oder man muß prüfen, ob  $F_V + F_t$  bei Berücksichtigung der Betriebslast  $F_B$  keine unzulässigen Spannungen erzeugt.

Unter Anwendung der Gleichung

$$F_D = F_B \frac{C_S}{C_F + C_S}$$

erhält man die Maximallast

$$F_{Ot} = F_V + F_t + F_{Bmax} \frac{c_S}{c_F + c_S}$$

oder

$$F_{Ot} = F_V + \frac{c_S [ F_{Bmax} + c_F \cdot L_K \cdot d_t \cdot (\alpha_F - \alpha_S) ]}{c_F + c_S}$$

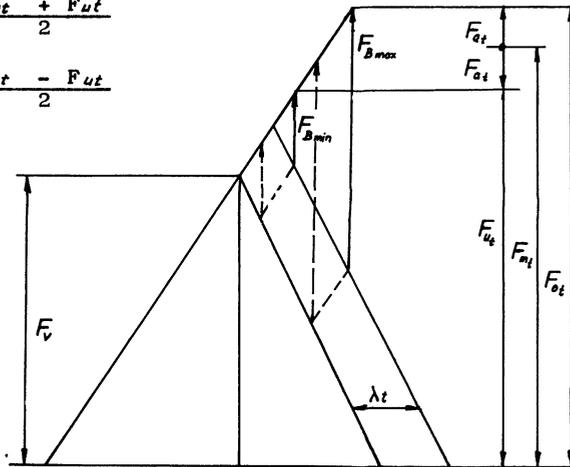
analog steigt sich dann auch der untere Lastwert auf

$$F_{Ut} = F_V + \frac{c_S [ F_{Bmin} + c_F \cdot L_K \cdot d_t \cdot (\alpha_F - \alpha_S) ]}{c_F + c_S}$$

Mittelkraft und Ausschlagkraft ergeben sich dann nach den bekannten Gleichungen

$$F_{mt} = \frac{F_{Ot} + F_{Ut}}{2}$$

$$\pm F_{at} = \pm \frac{F_{Ot} - F_{Ut}}{2}$$



Die Federraten werden dabei nach folgenden Gleichungen bestimmt:

Für die Schraube 
$$c_S = \frac{E_S}{\frac{L_G + \frac{m}{2}}{A_S} + \frac{L_C}{A_C}}$$

hierin ist  $L_G$  die Gewindelänge  
 $m$  die Mutterhöhe oder Einschraubtiefe  
 $A_S$  der Spannungsquerschnitt  
 $L_C$  die Länge des Schraubenschaftes  
 $A_C$  der Schraubenschaftquerschnitt  
 $E_S$  das Elastizitätsmodul des Schraubenwerkstoffes.

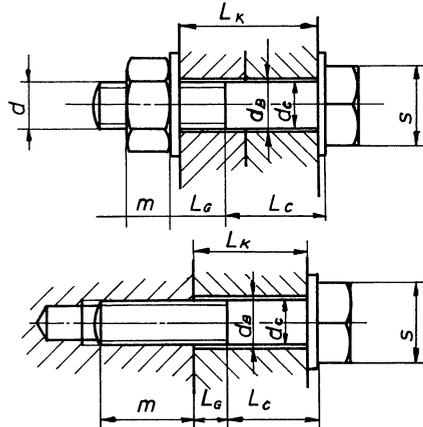
Für die Flanschteile

$$c_F = \frac{A_Z \cdot E_F}{L_K}$$

wobei

$$A_Z = \frac{\pi}{4} \left[ \left( s + k \frac{L_K}{2} \right)^2 - d_B^2 \right]$$

hierin ist  $s$  die Schlüsselweite oder der Kopfauflegedurchmesser  
 $k$  ein Werkstoffkorrekturfaktor  
 $L_K$  die Klemmlänge  
 $d_B$  der Bohrungsdurchmesser  
 $E_F$  das Elastizitätsmodul des Werkstoffs der Flanschteile.



Die Berechnung des Anzugsmomentes erfolgt nach der Gleichung

$$M_A = 0,5 F_V \cdot d_2 \left( \mu' + \operatorname{tg} \varphi + \frac{s + d}{2d_2} \mu_A \right)$$

hierin ist  $d_2 = d - 0,64935 p$   
 $d_2$  der Flankendurchmesser des Gewindes  
 $p$  die Steigung des Gewindes  
 $d$  der Gewinde-Nenn Durchmesser  
 $\mu'$  die Keilreibungszahl am Gewinde  
 $\mu_A$  die Reibungszahl an der Kopfauflage  
 $s$  die Schlüsselweite oder der Durchmesser der Kopfauflage  
 $\varphi$  der Steigungswinkel des Gewindes

wobei

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{p}{d_2 \cdot \pi}$$

2.2 Programmgestaltung

Das Rechenprogramm erlaubt über Programmadresse A eine Vorbestimmung des erforderlichen Spannungsquerschnittes nach der Gleichung

$$A_s = \frac{x \cdot F_{B \max}}{\sigma_{zul}}$$

sowie über Programmadresse B eine Aussage über die notwendige Vorspannkraft

$$F_v = x \cdot F_{B \max}$$

Hierzu müssen folgende Eingaben gemacht werden:

- maximale Betriebskraft  $F_{B \max}$  in N über Taste C'
- Vorspannungsverhältnis  $x$  in Speicher 10
- zulässige Zugspannung  $\sigma_{zul}$  in N/mm in Speicher 11

Für  $\sigma_{zul}$  kann gesetzt werden

$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_s}{\gamma} \quad \text{oder} \quad \sigma_{zul} = \frac{\sigma_{0,2}}{\gamma}$$

wobei  $\gamma = 1,25$  für Güteklasse 4 bis 6

$\gamma = 1,4$  für Güteklasse 8 bis 12

angenommen werden kann.

Festigkeitswerte und Spannungsverhältnis können aus der folgenden Tabelle entnommen werden.

Festigkeitswerte												
Festigkeits- klasse	neu alt	4,6 4D	4,8 4S	5,6 5D	5,8 5S	6,6 6D	6,8 6S	6,9 6G	8,8 8G	10,9 10K	12,9 12K	14,9
Zugfestigkeit $\sigma_B$ N/mm <sup>2</sup>	min max	400 550	400 550	500 700	500 700	600 800	600 800	600 800	800 1000	1000 1200	1200 1400	1400 1600
Streckgrenze $\sigma_s$ N/mm <sup>2</sup>	min.	240	320	300	400	360	480					
0,2-Dehngrenze $\sigma_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	min.							540	640	900	1080	1260
Dehnung $\delta_s$ %	min.	25	14 <sup>1</sup>	20	10	16	8	12	12	9	8	7
Vorspannungsverhältn. $x$		2,75	(4,3)	3	(4,5)	4,2	(4,7)	(4,4)	4,4	4,5	4,7	(4,7)
Ausschlag- festigkeit $\pm \sigma_A$ N/mm <sup>2</sup>	M6	60						75				
	M8	50						65				
	M10	45						55				
	M16	40						45				
	M24	40						40				
	M30	40						40				

Nach dieser Vorauslegung folgt die Auswahl der Schraubengröße nach den DIN-Tabellen und die Eingabe des zugeordneten Spannungsquerschnittes  $A_s$  in  $\text{mm}^2$  über die Programmadresse  $A'$

Die gefundene, oder auch eine korrigierte Vorspannkraft  $F_v$  in N, die für die weitere Berechnung zugrundegelegt werden soll, ist dann über Programmadresse  $B'$  einzugeben.

Soll noch eine minimale Betriebslast  $F_{B, \min}$  in der Berechnung berücksichtigt werden, dann kann diese über Programmadresse  $D'$  eingegeben werden.

Alle geometrischen und physikalischen Daten werden direkt eingespeichert, und zwar

- Gewinde-Nenndurchmesser	$d$ in mm	Speicher 01
- Gewindesteigung $p$	$p$ in mm	Speicher 02
- Gewindelänge bis Mutter	$L_G$ in mm	Speicher 03
- Mutterhöhe oder Einschraubtiefe	$m$ in mm	Speicher 04
- Schaftdurchmesser der Schraube	$d_c$ in mm	Speicher 05
- Länge des Schraubenschaftes	$L_C$ in mm	Speicher 06
- Schlüsselweite oder Durchmesser der Kopfauflage	$s$ in mm	Speicher 07
- Schraubenlochdurchmesser	$d_B$ in mm	Speicher 08
- Klemmlänge der Flanschteile	$L_K$ in mm	Speicher 09
- Elastizitätsmodul des Schraubenwerkstoffes	$E_s$ in N/mm	Speicher 12
- Elastizitätsmodul der Flanschwerkstoffe	$E_F$ in N/mm	Speicher 13
- Wärmeausdehnungsziffer des Schraubenwerkstoffes	$\alpha_s$ in $\frac{1}{\text{Grd}}$	Speicher 14
- Wärmeausdehnungsziffer der Flanschwerkstoffe	$\alpha_F$ in $\frac{1}{\text{Grd}}$	Speicher 15
- Korrekturfaktor	$k$	Speicher 20
- Temperaturschwankung	$\Delta t$ in K	Speicher 21
- Keilreibungszahl am Gewinde	$\mu'$	Speicher 22
- Reibungszahl der Schraubenkopfauflage	$\mu_A$	Speicher 23

Die Reibungszahlen  $\mu'$  und  $\mu_A$  können mit 0,15 bis 0,18 in die Rechnung aufgenommen werden.

Die Korrekturfaktoren  $k$  sind wie folgt anzusetzen:

- $k = 0,2$  für Stahl
- $k = 0,25$  für Grauguß
- $k = 0,3$  für Leichtmetalle

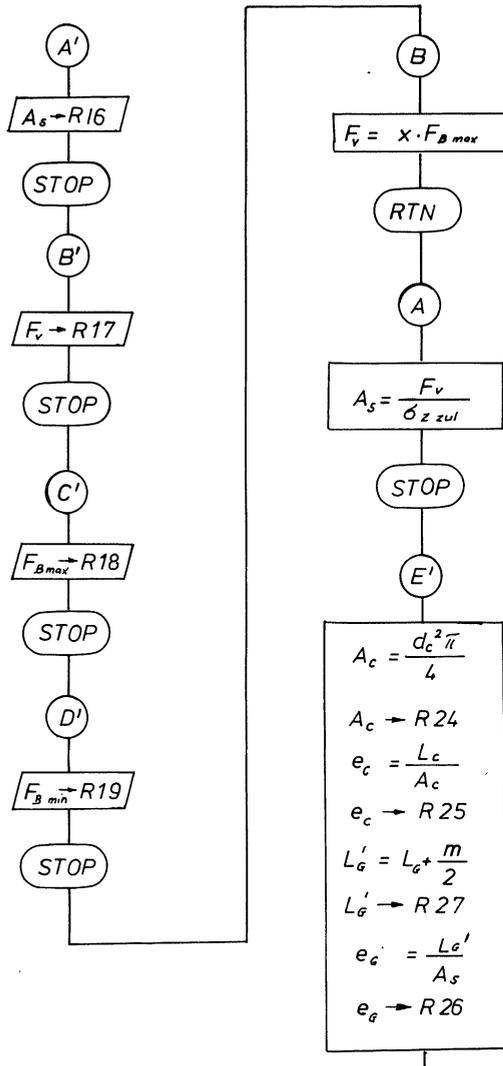
Die Wärmeausdehnungsziffern sind für

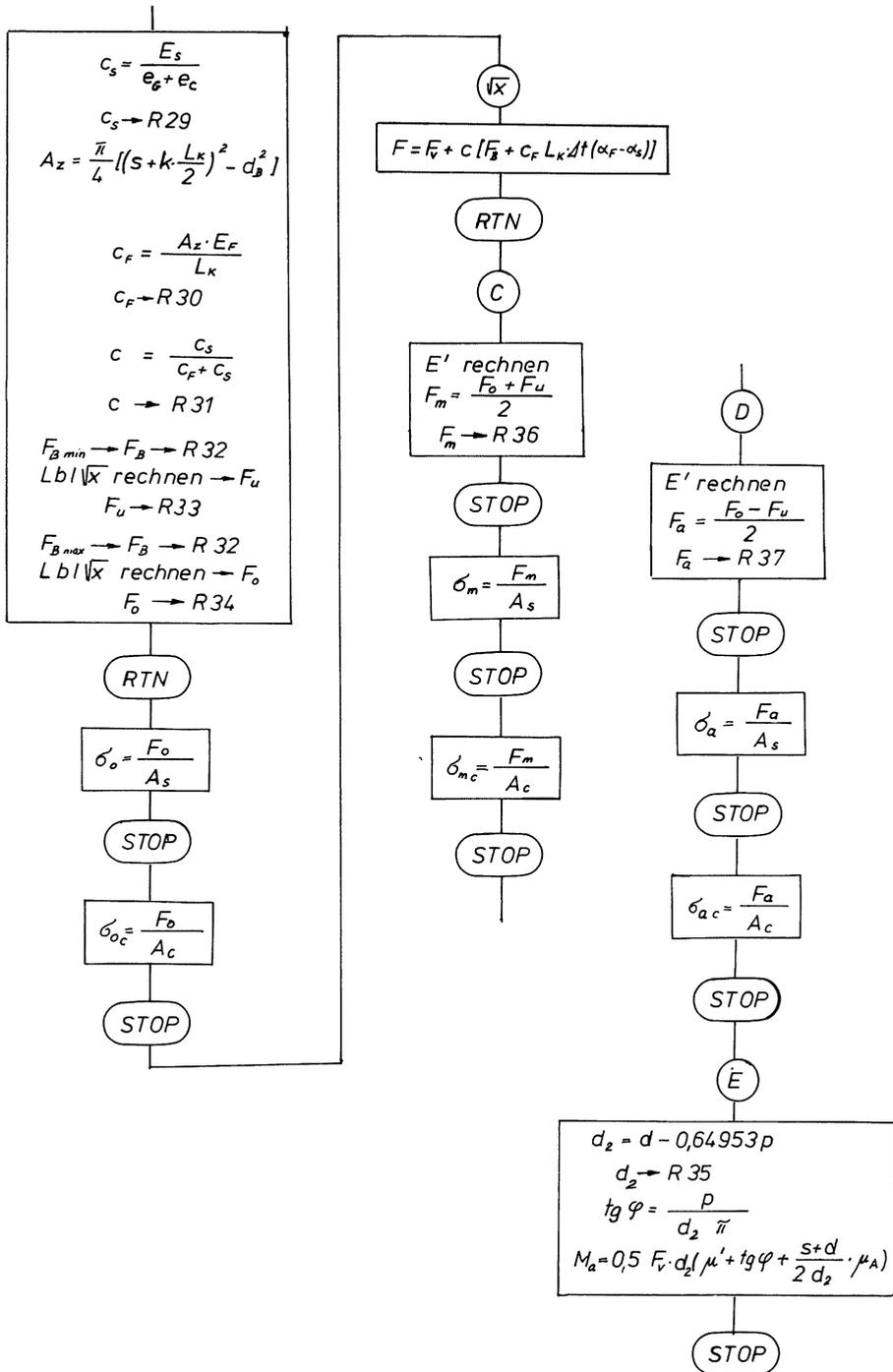
- Stähle	11,1 ... 12	$\cdot 10^{-6}$
- Leichtmetalle	20 ... 24	$\cdot 10^{-6}$
- Messing	18 ... 19	$\cdot 10^{-6}$
- Titan	10,8	$\cdot 10^{-6}$
- G Sn Bz	17 ... 18,5	$\cdot 10^{-6}$
- Kupfer	16,2	$\cdot 10^{-6}$
- Magnesium	24,5	$\cdot 10^{-6}$
- Austenite	17 ... 18	$\cdot 10^{-6}$
- Grauguß	10,5	$\cdot 10^{-6}$
- Rotguß	17	$\cdot 10^{-6}$
- Zink	29,8	$\cdot 10^{-6}$

Nach Eingabe der vorgenannten Daten können unabhängig voneinander folgende Ergebnisse errechnet werden:

Programmadresse	E'	Obere Kraft $F_{ot}$	in N
	R/S	Obere Spannung i.Gewinde	in N/mm
	R/S	Obere Spannung i.Schaft	in N/mm
Programmadresse	C	Mittelkraft $F_{mt}$	in N
	R/S	Mittelspannung i.Gewinde	in N/mm
	R/S	Mittelspannung i.Schaft	in N/mm
Programmadresse	D	Ausschlagkraft $F_a$	in N
	R/S	Ausschlagspannung i.Gewinde	in N/mm
	R/S	Ausschlagspannung i.Schaft	in N/mm
Programmadresse	E	Erforderliches Anzugsmoment	in Nmm

Ergeben sich aus dieser Rechnung zu hohe oder zu niedrige Spannungswerte, so kann nach entsprechender Änderung der Vorspannung  $F_v$  (Eingabe über Programmadresse B') die Rechnung solange wiederholt werden bis zufriedenstellende Spannungswerte erreicht sind.



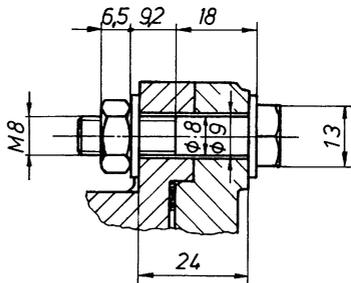


000	76	LBL	056	06	06	112	75	-	168	24	24
001	16	R'	057	54	)	113	43	RCL	169	95	=
002	42	STD	058	42	STD	114	08	08	170	91	R/S
003	16	16	059	25	25	115	33	X <sup>2</sup>	171	76	LBL
004	91	R/S	060	53	(	116	54	)	172	34	FX
005	76	LBL	061	53	(	117	65	x	173	53	(
006	17	B'	062	43	RCL	118	89	if	174	53	(
007	42	STD	063	03	03	119	55	+	175	53	(
008	17	17	064	85	+	120	04	4	176	43	RCL
009	91	R/S	065	43	RCL	121	54	)	177	15	15
010	76	LBL	066	04	04	122	65	x	178	75	-
011	18	C'	067	55	+	123	43	RCL	179	43	RCL
012	42	STD	068	02	2	124	13	13	180	14	14
013	18	18	069	54	)	125	55	+	181	54	)
014	91	R/S	070	42	STD	126	43	RCL	182	65	x
015	76	LBL	071	27	27	127	09	09	183	43	RCL
016	19	D'	072	53	(	128	54	)	184	21	21
017	42	STD	073	53	(	129	42	STD	185	65	x
018	19	19	074	53	(	130	30	30	186	43	RCL
019	91	R/S	075	43	RCL	131	85	+	187	09	09
020	76	LBL	076	27	27	132	43	RCL	188	65	x
021	12	B	077	55	+	133	29	29	189	43	RCL
022	53	(	078	43	RCL	134	54	)	190	30	30
023	43	RCL	079	16	16	135	35	1/X	191	85	+
024	18	18	080	54	)	136	65	x	192	43	RCL
025	65	x	081	42	STD	137	43	RCL	193	32	32
026	43	RCL	082	26	26	138	29	29	194	54	)
027	10	10	083	85	+	139	54	)	195	65	x
028	54	)	084	43	RCL	140	42	STD	196	43	RCL
029	92	RTN	085	25	25	141	31	31	197	31	31
030	76	LBL	086	54	)	142	43	RCL	198	85	+
031	11	A	087	35	1/X	143	19	19	199	43	RCL
032	71	SBR	088	65	x	144	42	STD	200	17	17
033	12	B	089	43	RCL	145	32	32	201	54	)
034	55	+	090	12	12	146	71	SBR	202	92	RTN
035	43	RCL	091	54	)	147	34	FX	203	76	LBL
036	11	11	092	42	STD	148	42	STD	204	13	C
037	95	=	093	29	29	149	33	33	205	10	E'
038	91	R/S	094	53	(	150	43	RCL	206	85	+
039	76	LBL	095	53	(	151	18	18	207	43	RCL
040	10	E'	096	53	(	152	42	STD	208	33	33
041	53	(	097	53	(	153	32	32	209	95	=
042	53	(	098	53	(	154	71	SBR	210	55	+
043	43	RCL	099	53	(	155	34	FX	211	02	2
044	05	05	100	43	RCL	156	42	STD	212	95	=
045	33	X <sup>2</sup>	101	09	09	157	34	34	213	42	STD
046	65	x	102	55	+	158	92	RTN	214	36	36
047	89	if	103	02	2	159	55	+	215	91	R/S
048	55	+	104	65	x	160	43	RCL	216	55	+
049	04	4	105	43	RCL	161	16	16	217	43	RCL
050	54	)	106	20	20	162	95	=	218	16	16
051	42	STD	107	85	+	163	91	R/S	219	95	=
052	24	24	108	43	RCL	164	43	RCL	220	91	R/S
053	35	1/X	109	07	07	165	34	34	221	43	RCL
054	65	x	110	54	)	166	55	+	222	36	36
055	43	RCL	111	33	X <sup>2</sup>	167	43	RCL	223	55	+

Fortsetzung

224	43	RCL	245	91	R/S	266	43	RCL	287	01	01
225	24	24	246	43	RCL	267	02	02	288	54	)
226	95	=	247	37	37	268	95	=	289	55	+
227	91	R/S	248	55	+	269	42	STD	290	02	2
228	76	LBL	249	43	RCL	270	35	35	291	55	+
229	14	D	250	24	24	271	35	1/X	292	43	RCL
230	10	E'	251	95	=	272	65	X	293	35	35
231	75	-	252	91	R/L	273	43	RCL	294	65	X
232	43	RCL	253	76	LBL	274	02	02	295	43	RCL
233	33	33	254	15	E	275	55	+	296	23	23
234	95	=	255	53	(	276	89	i	297	54	)
235	55	+	256	43	RCL	277	95	=	298	65	X
236	02	2	257	01	01	278	85	+	299	43	RCL
237	95	=	258	75	-	279	43	RCL	300	35	35
238	42	STD	259	93	.	280	22	22	301	65	X
239	37	37	260	06	6	281	85	+	302	43	RCL
240	91	R/S	261	04	4	282	53	(	303	17	17
241	55	+	262	08	8	283	43	RCL	304	55	+
242	43	RCL	263	05	5	284	07	07	305	02	2
243	16	16	264	03	3	285	85	+	306	95	=
244	95	=	265	65	X	286	43	RCL	307	91	R/S
									308	81	RST

3 BEISPIEL



Die Schrauben zur Befestigung eines Deckels zu einem Leichtmetallgehäuse werden durch eine schwelkend auftretende Betriebslast beansprucht, die sich zwischen 2500 N und 1250 N bewegt.

Der Werkstoff von Gehäuse und Deckel ist ALCOA A 356 mit einem Elastizitätsmodul  $E_F = 73\ 500\ \text{N/mm}^2$  und einer Wärmeausdehnungsziffer  $\alpha_F = 24 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{Grad}$

Als Schrauben sollen solche der Qualität 8.8 vorgesehen werden.

Streckgrenze des Schraubenwerkstoffes  $\sigma_s = 640 \text{ N/mm}^2$

$$\nu = 1,4$$

damit wird

$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_s}{\nu} = \frac{640}{1,4} = 457 \text{ N/mm}^2$$

Elastizitätsmodul des Schraubenwerkstoffes

$$E_s = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

Wärmeausdehnungsziffer des Schraubenwerkstoffes

$$\alpha_s = 11,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Grad}$$

Die Arbeitstemperatur des Gerätes bewegt sich zwischen  
+ 20 und + 80 °C.

### 3.1 Vorauslegung

Eingabe  $F_{B \max} = 2500 \text{ N}$  über Taste C  
 $x = 1,4$  (aus Tabelle) in Speicher 10  
 $\sigma_{zul} = 457 \text{ N/mm}^2$  in Speicher 11

Abruf Taste A erforderlicher Spannungsquerschnitt  
 $A_{s \min} = 24,07 \text{ mm}^2$   
 Taste B erforderliche Vorspannkraft  
 $F_v = 11\,000 \text{ N}$   
 Diese wird über Taste B für die  
 weitere Berechnung eingegeben.

### 3.2 Nachrechnung

Auswahl der Schraube nach vorliegendem erforderlichem  
Spannungsquerschnitt ergibt:

Sechskantschraube M 8 x 40 DIN 931 m 8.8

mit einem Spannungsquerschnitt  $A_s = 36,6 \text{ mm}^2$

Dieser wird über Taste A eingegeben.

Über Taste D folgt die Eingabe der minimalen Betriebs-  
last  $F_{B \min} = 1250 \text{ N}$

In die Speicher werden direkt eingegeben:

- Schrauben-Nenndurchmesser  $d = 8$  Speicher 01
- Gewindesteigung  $p = 1,25$  " 02
- Gewindelänge  $L_G = 9,2$  " 03
- Mutterhöhe  $m = 6,5$  " 04

- Schaftdurchmesser	$d_c = 8$	Speicher	05
- Schaftlänge	$L_c = 18$	"	06
- Schlüsselweite	$s = 13$	"	07
- Schraubenlochdurchmesser	$d_B = 9$	"	08
- Klemmlänge	$L_K = 24$	"	09
- E-Modul der Schraube	$E_S = 210\ 000$	"	12
- E-Modul der Flanschteile	$E_F = 73\ 500$	"	13
- Wärmeziffer der Schraube	$\alpha_S = 11,1 \cdot 10^{-6}$	"	14
- Wärmeziffer Leichtmetall	$\alpha_F = 24 \cdot 10^{-6}$	"	15
- k für Leichtmetalle	$k = 0,3$	"	20
- Temperaturschwankung	$\Delta t = 60$	"	21
- Reibungsziffer	$\mu' = 0,16$	"	22
- Reibungsziffer	$\mu_A = 0,15$	"	23

Abruf:

Taste E° Obere Kraft $F_D$		15379.06639	N
R/S	$\sigma_{oB}$	420.1930707	N/mm <sup>2</sup>
R/S	$\sigma_{oC}$	305.9563045	N/mm <sup>2</sup>
Taste C Mittelkraft $F_m$		15134.54692	N
R/S	$\sigma_{mB}$	413.5122109	N/mm <sup>2</sup>
R/S	$\sigma_{mC}$	301.0922442	N/mm <sup>2</sup>
Taste D Ausschlagkraft $F_a$		244.5194688	N
R/S	$\sigma_{aB}$	6.680859803	N/mm <sup>2</sup>
R/S	$\sigma_{aC}$	4.984560267	N/mm <sup>2</sup>
Taste E Anzugsmoment $M_d$		17176.39747	Nmm

Speicherbelegung:

0.	00	1250.	19
8.	01	0.3	20
1.25	02	60.	21
9.2	03	0.16	22
6.5	04	0.15	23
8.	05	50.26543246	24
18.	06	0.358093622	25
13.	07	.3401639344	26
9.	08	12.45	27
24.	09	0.	28
4.4	10	300746.4715	29
457.	11	467971.6417	30
210000.	12	.3912311501	31
73500.	13	2500.	32
0.0000111	14	14890.02745	33
0.000024	15	15379.06639	34
36.6	16	7.1880875	35
11000.	17	15134.54692	36
2500.	18	244.5194688	37

# Berechnung der Volumenströme, Druckverluste und Paßspiele für Ringspaltrosseln, TI-59

von Erich Christian

## 1 AUFGABENSTELLUNG

Bei hydraulisch arbeitenden Systemen benötigt man oft eine Bilanz über die möglichen Verbrauchsmengen, damit eine ausreichende Dimensionierung der zugehörigen Versorgungspumpen durchgeführt werden kann.

Außerdem soll damit sichergestellt werden, daß die erforderlichen Betriebsmengen des Förder- und Arbeitsmediums auch an ihre zgedachten Stellen gelangen.

Um dies zu erreichen, sind unter anderem auch Untersuchungen über Leckverluste an Steuerschiebern oder funktionell gleichbedeutenden Bauelementen notwendig. Diese Leckverluste entstehen durch den Ringspalt zwischen Schieber und Buchse. Sie sind bedingt durch die Größe des Pass-Spieles, der Lage der beiden Achsen von Schieber und Buchse zueinander, der Länge des Ringspalt, dem Druckgefälle und der Zähigkeit des Mediums.

Derartige Betrachtungen sind oft auch bei ringfreien Kolben, Ventilführungen, Buchsen mit Stößel sowie Gleitlagerungen für Hub und Drehbewegung angebracht.

## 2 LÖSUNGSWEG

### 2.1 Theoretische Grundlagen

Wegen der Geometrie des durchströmten Querschnitts und der damit erzeugbaren Drosselwirkung kann das hier behandelte hydraulische Funktionselement auch als **R i n g s p a l t d r o s s e l** bezeichnet werden.

Da im normalen Anwendungsfall kleine Reynoldszahlen auftreten, kann dieses Element als Laminardrossel betrachtet werden. Diese ist den Gesetzen der laminaren Strömung unterworfen und hat im Gegensatz zu den sonst üblichen runden Durchflußquerschnitten einen ringförmigen oder auch sichelförmigen Spalt als Durchflußquerschnitt. ( Siehe Bild 1 und 2 )

Bild 1  
Zentrische Lage des vollen Kernes in Bohrung ergibt ringförmigen Querschnitt. ( Index: Z )

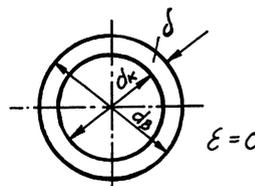
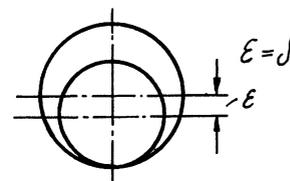


Bild 2  
Exzentrische Lage des vollen Kernes in Bohrung ergibt sichelförmigen Querschnitt. ( Index: E )



Die Durchflußgleichung für Ringspaltrosseln lautet:

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot d_B \cdot \Delta p \cdot \delta^3}{12 \cdot L \cdot \eta} \left[ 1 + 1,5 \left( \frac{\epsilon}{\delta} \right)^2 \right] \quad ( 1 )$$

- Hierin ist:
- $d_B$  = Bohrungsdurchmesser
  - $L$  = Länge des Ringspalt
  - $\delta$  = Ringspaltbreite bei zentrischer Lage
  - $\epsilon$  = Exzentrizität des Kernes gegenüber der Bohrung
  - $\eta$  = dynamische Zähigkeit des Mediums
  - $\Delta p$  = Druckdifferenz vor und hinter Spalt.

Da bei Lagern und Steuerschiebern allgemein das Pass-Spiel - also die Differenz der beiden Durchmesser - angesprochen wird, ist es zweckmäßig mit dem Spiel  $s$  zu rechnen und die Spaltbreite  $\delta$  in  $s$  umzustellen.

$$\delta = \frac{s}{2} = \frac{d_B - d_k}{2} \quad ( 2 )$$

Aus praktischen Erfordernissen ist es ausreichend, lediglich die Grenzlagen  $\epsilon = 0$  und  $\epsilon = \delta$  zu betrachten. Dabei reicht in den meisten Fällen die Untersuchung des



A'	B'	C'	D'	E'
$\dot{V}$	$\Delta p$	s	$\dot{V}$ ← ← $\eta$	$\eta$ → → 1 nicht für Re
A	B	C	D	E
$\dot{V}_{min} \dot{V}_{max} Re$	$\Delta p_{max} \Delta p_{min} Re$	$s_z s_E Re$	d	L

Bild 3 Tastaturschema  
 Eingabeadressen: D, E und A' bis E'  
 Abrufadressen: A bis C

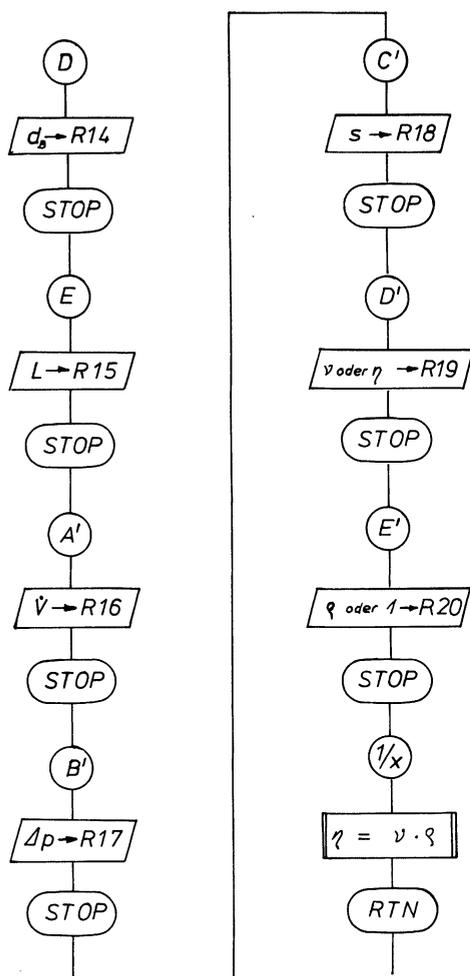
Die Eingabe erfolgt ausschließlich über die im Tastaturschema ( Bild 3 ) angegebenen Programmadressen.

Wird Programm A gerechnet, dann entfällt Eingabe über A'  
 Wird Programm B gerechnet, dann entfällt Eingabe über B'  
 Wird Programm C gerechnet, dann entfällt Eingabe über C'

Über Taste D' kann wahlweise  $\dot{V}$  oder  $\eta$  eingegeben werden. Da die Dichte  $\rho$  in  $\eta$  enthalten ist, muß bei Eingabe von  $\eta$  Taste E' mit 1 belegt werden. In diesem Fall dürfen keine Reynoldszahlen gerechnet werden, weil hierfür die Eingabe von  $\dot{V}$  erforderlich wäre.

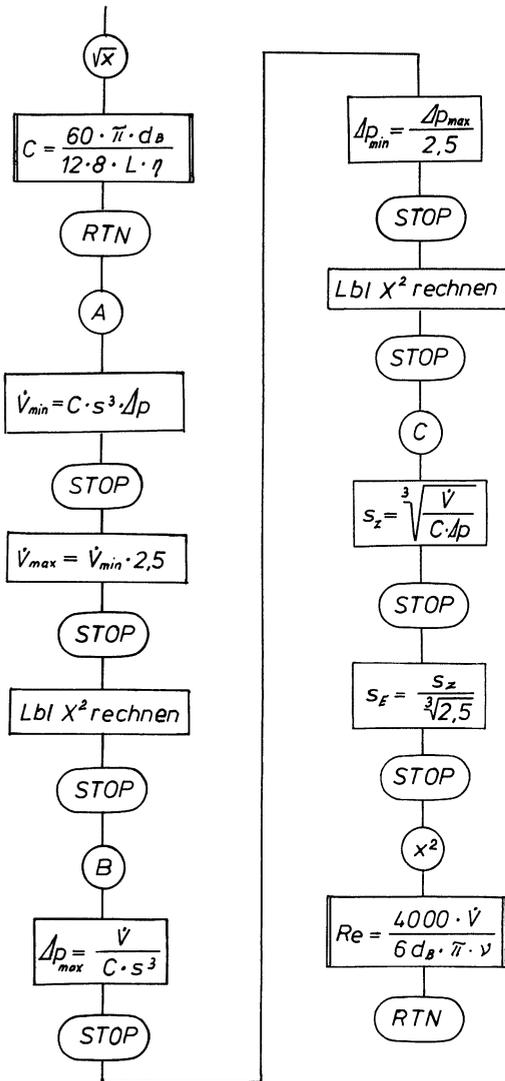
Speicherplan

Speicher	Wert	Dimension	Eingabetaste	
14	d	mm	D	
15	L	mm	E	
16	$\dot{V}$	L/min	A'	
17	$\Delta p$	bar	B'	
18	s	mm	C'	
19	$\dot{V}$	cm <sup>2</sup> /s	D'	oder
	$\eta$	g/s.cm	D'	
20	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	E'	oder
	1		E'	



### Programmabruf

Taste	Wert	Dimension	Bemerkung
A	$\dot{V}_{min}$	L/min	zentrische Lage
R/S	$\dot{V}_{max}$	L/min	exzentrische Lage
R/S	Re		
B	$\Delta p_{max}$	bar	zentrische Lage
R/S	$\Delta p_{min}$	bar	exzentrische Lage
R/S	Re		



C	s	mm	zentrische Lage
R/S	s	mm	exzentrische Lage
R/S	Re		
$\sqrt{x}$	C		Rechenkonstante
1/x		g/s.cm	dyn. Zähigkeit
$x^2$	Re		Reynoldzahl

000	76	LBL	042	20	20	084	65	x	126	43	RCL
001	14	D	043	54	)	085	02	2	127	17	17
002	42	STD	044	92	RTN	086	93	.	128	95	=
003	14	14	045	76	LBL	087	05	5	129	45	YX
004	91	R/S	046	34	FX	088	95	=	130	03	3
005	76	LBL	047	53	(	089	42	STD	131	35	1/X
006	15	E	048	89	#	090	16	16	132	95	=
007	42	STD	049	55	÷	091	91	R/S	133	91	R/S
008	15	15	050	01	1	092	71	SBR	134	55	÷
009	91	R/S	051	02	2	093	33	X²	135	02	2
010	76	LBL	052	65	x	094	91	R/S	136	93	.
011	16	A'	053	06	6	095	76	LBL	137	05	5
012	42	STD	054	00	0	096	12	B	138	45	YX
013	16	16	055	55	÷	097	43	RCL	139	03	3
014	91	R/S	056	08	8	098	16	16	140	35	1/X
015	76	LBL	057	65	x	099	55	÷	141	95	=
016	17	B'	058	43	RCL	100	71	SBR	142	91	R/S
017	42	STD	059	14	14	101	34	FX	143	76	LBL
018	17	17	060	55	÷	102	55	÷	144	33	X²
019	91	R/S	061	43	RCL	103	43	RCL	145	53	(
020	76	LBL	062	15	15	104	18	18	146	43	RCL
021	18	C'	063	55	÷	105	45	YX	147	16	16
022	42	STD	064	71	SBR	106	03	3	148	55	÷
023	18	18	065	35	1/X	107	95	=	149	43	RCL
024	91	R/S	066	54	)	108	91	R/S	150	14	14
025	76	LBL	067	92	RTN	109	55	÷	151	55	÷
026	19	D'	068	76	LBL	110	02	2	152	43	RCL
027	42	STD	069	11	A	111	93	.	153	19	19
028	19	19	070	71	SBR	112	05	5	154	65	x
029	91	R/S	071	34	FX	113	95	=	155	04	4
030	76	LBL	072	65	x	114	91	R/S	156	00	0
031	10	E'	073	43	RCL	115	71	SBR	157	00	0
032	42	STD	074	18	18	116	33	X²	158	00	0
033	20	20	075	45	YX	117	91	R/S	159	55	÷
034	91	R/S	076	03	3	118	76	LBL	160	06	6
035	76	LBL	077	65	x	119	13	C	161	55	÷
036	35	1/X	078	43	RCL	120	43	RCL	162	89	#
037	53	(	079	17	17	121	16	16	163	54	)
038	43	RCL	080	95	=	122	55	÷	164	92	RTN
039	19	19	081	42	STD	123	71	SBR	165	91	R/S
040	65	x	082	16	16	124	34	FX	166	81	RST
041	43	RCL	083	91	R/S	125	55	÷			

### 3 BEISPIEL

Ein Verstellkolben für die Einstellung der Drehzahl-Federkraft in einem Gasturbinenregler soll über ein Zweiblenden-Steuersystem betätigt werden. ( Bild 4 )

Da wegen der Blendenauslegung eines solchen Steuersystems nur ein begrenzter Volumenstrom des Steuermediums zur

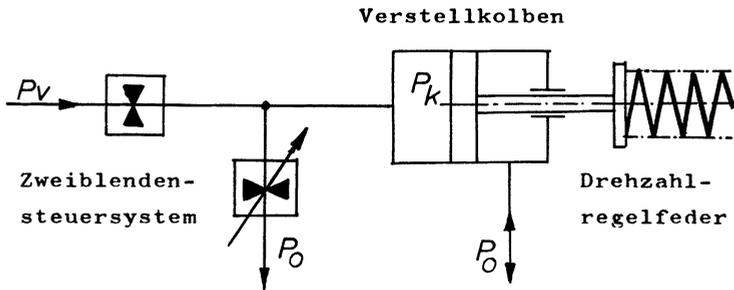


Bild 4 Hydraulisch gesteuerte Drehzahlverstellung an einem Gasturbinenregler.

Verfügung steht, muß eine Untersuchung der Leckmengen im Ringspalt zwischen Kolben und Bohrung durchgeführt werden.

Der Kolben hat folgende Abmessungen:

- Nenndurchmesser 12 mm
- Länge 15,5 mm
- Paßspiel 0,008 mm

Das Steuermedium ist Flugkraftstoff mit folgenden Daten:

- kinematische Zähigkeit  $\nu = 0,007 \text{ cm}^2/\text{s}$
- Dichte  $\rho = 0,726 \text{ g/cm}^3$

Zu untersuchen ist der Leckverlust im Spalt bei einer

- Druckdifferenz  $\Delta p = p_K - p_o = 10 \text{ bar}$

Eingabe:	$\Delta p = 10$	bar	Taste B'
	$s = 0,008$	mm	Taste C'
	$\nu = 0,007$	$\text{cm}^2/\text{s}$	Taste D'
	$\rho = 0,726$	$\text{g/cm}^3$	Taste E'
	$d = 12$	mm	Taste D
	$L = 15,5$	mm	Taste E

Abruf:	Taste A	$\dot{V}_{min} = 0,001531492$	L/min ( Z )
	R/S	$\dot{V}_{max} = 0,00382873$	L/min ( E )
	R/S	$Re = 9,672401796$	( E )
		Re	2320 laminare Strömung

Wie groß könnte das Paßspiel ausgeführt werden, wenn bei einer Druckdifferenz von 10 bar ein Volumenstrom von 0,01 L/min zugelassen werden kann?

Eingabe:  $\dot{V} = 0,01$  L/min Taste A'  
 Abruf: Taste C  $s = 0,0149526583$  mm ( Z )  
 R/S  $s = 0,0110172128$  mm ( E )  
 R/S  $Re = 25,26268938$

In diesem Fall wäre  $s = 0,011$  mm vorzusehen, weil die Lage des Kolbens nicht beeinflusst werden kann.

Wie groß müßte die Druckdifferenz sein, wenn bei einem Paßspiel von 0,01 mm der Volumenstrom 0,004 L/min beträgt?

Eingabe:  $s = 0,01$  mm Taste C'  
 $\dot{V} = 0,004$  L/min Taste A'  
 Abruf: Taste B  $p = 13,37258029$  bar ( Z )  
 R/S  $p = 5,349032116$  bar ( E )  
 R/S  $Re = 10,10507575$

Wie groß ist die dynamische Zähigkeit des Mediums:

Taste GTO 1/x R/S = 0,005082 g/s.cm

# Breitungsgleichung nach Ekelund, TI-58/59

von Jürgen Ritzenhoff

## 1. Programmbeschreibung

Das vorliegende Programm für den programmierbaren Taschenrechner TI 58/59 mit und ohne alphanumerischen Drucker PC 100 berechnet die Breitenzunahme nach einem Walzvorgang. In der unten angegebenen Gleichung (1) fehlt der Einfluß der Walzgeschwindigkeit und der Stahlzusammensetzung. Sie gilt damit nur für Walzgeschwindigkeiten bis etwa 7 m/s und für Massenschl.

## 2. Berechnungsgrundlagen

Die Breitungsgleichung nach Ekelund (1) ist eine der genauesten bisher bekannten Breitungsgleichungen, die aber als transzendente Gleichung nicht ohne weiteres lösbar ist.

$$\frac{1}{2} (b_1^2 - b_0^2) = 4m \sqrt{R \Delta h} \Delta h - 2m (h_0 + h_1) \sqrt{R \Delta h} \ln b_1/b_0 \quad (1)$$

$$\text{mit } m = \frac{1.6 \mu \sqrt{R \Delta h} - 1.2 \Delta h}{h_0 + h_1} \quad (2)$$

$$\text{und } \mu = K (1.05 - 0.0005 T) \quad (3)$$

k = 1 für Stahlwalzen

k = 0.8 für Gußwalzen

Zur Lösung der Gleichung (1) wird das Newtonsche Näherungsverfahren benutzt. Nach Umformung ergibt sich für  $f(b_1)$  die Gleichung (4):

$$f(b_1) = b_1^2 - b_0^2 - 8m \sqrt{R \Delta h} \Delta h + 4m (h_0 + h_1) \sqrt{R \Delta h} \ln b_1/b_0 \quad (4)$$

Wird nun  $f(b_1)$  nach  $b_1$  differenziert, so erhält man

$$f'(b_1) = 2b_1 + 4m(h_0 + h_1) \sqrt{R \Delta h}^{-1} / b_1 \quad (5)$$

$b_1$  berechnet sich nun iterativ mit Hilfe der Beziehung

$$\begin{aligned} b_1 &= b_1 - \frac{f(b_1)}{f'(b_1)} \\ &= b_1 - \frac{b_1^2 - b_0^2 - 8m \sqrt{R \Delta h} \Delta h + 4m(h_0 + h_1) \sqrt{R \Delta h} \ln b_1 / b_0}{2b_1 + 4m(h_0 + h_1) \sqrt{R \Delta h}^{-1} / b_1} \quad (6) \end{aligned}$$

Der Wert für  $b_1$  ist berechnet, wenn der Betrag der Differenz  $|b_{i+1} - b_i|$  kleiner einer bestimmten Fehlergröße ist. In diesem Programm wurde als Fehlergröße  $10^{-6}$  gewählt.

### 3. Programmablauf

Das Programm ist flexibel angelegt, d.h. im Programm wird eine Abfrage eingeschoben, die feststellt, ob ein Drucker (PC 100) angeschlossen ist. Ist ein Drucker angeschlossen, werden alle Eingaben mit Kennung ausgedruckt. Die Ergebnisse  $b_1$  und  $\Delta b$  (die Breitenzunahme) werden seriell mit Kennung ausgedruckt. Wird der Rechner ohne Drucker benutzt, stoppt der Rechner nach Berechnung des Wertes für  $b_1$  und zeigt ihn an. Der Wert für  $\Delta b$  kann anschließend mit R/S abgerufen werden. Bei der Berechnung von  $b_1$  und  $\Delta b$  muß wie folgt verfahren werden. Zur Programmvorbereitung wird A gedrückt. Es folgt eine Untersuchung, ob der Drucker angeschlossen ist und bei angeschlossenem Drucker wird eine Programmüberschrift ausgedruckt.

Werden beim Walzen Stahlwalzen benutzt, so wird die Temperatur über B eingegeben; bei Gußwalzen wird die Temperatur über C eingegeben. Anschließend werden in folgender Reihenfolge, jeweils mit R/S, die Werte für Walzenradius R (in mm), Höhe nach dem Stich  $h_1$  (in mm), Höhe vor dem Stich  $h_0$  (in mm) und Breite vor dem Stich  $b_0$  (in mm) eingegeben. Es erfolgt dann die Berechnung und der Ausdruck bzw die Anzeige von  $b_1$  und  $\Delta b$ .

4. Programmeingabe

Nach Umschalten in den LRN Status werden die Programmschritte (siehe Programm- Listing) eingegeben. Ist die Programmeingabe erfolgt, kann nach Umschalten in den RUN Status die Aufzeichnung auf Magnetkarte erfolgen. Da das Programm 474 Schritte umfaßt, wird nur eine Magnetkarte benötigt.

5. Programmerläuterung

Zur Erläuterung des Programmes diene als Beispiel der Ausdruck in Bild 1.

1. Programmvorbereitung mit A
2. Da mit Stahlwalzen gewalzt, Eingabe der Temperatur (in °C)
 

	1115	B
--	------	---
3. Eingabe des Walzenradius R (mm)
 

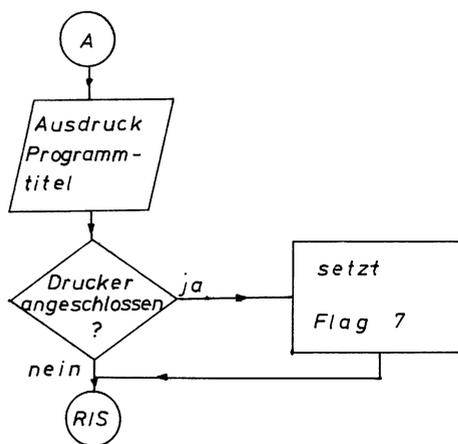
	228.5	R/S
--	-------	-----
4. Eingabe der Höhe nach dem Stich  $h_1$  (mm)
 

	12.75	R/S
--	-------	-----
5. Eingabe der Höhe vor dem Stich  $h_0$  (mm)
 

	19.45	R/S
--	-------	-----
6. Eingabe der Breite vor dem Stich  $b_0$  (mm)
 

	35.56	R/S
--	-------	-----
7. Anzeige bzw Ausdruck von  $b_1$  und  $\Delta b$

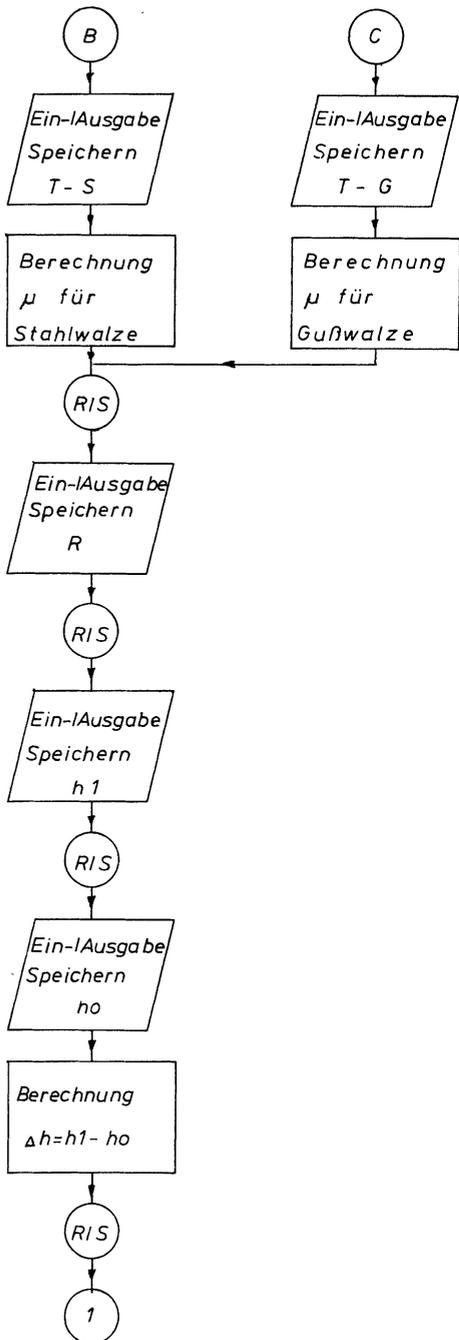
5. Flußdiagramm

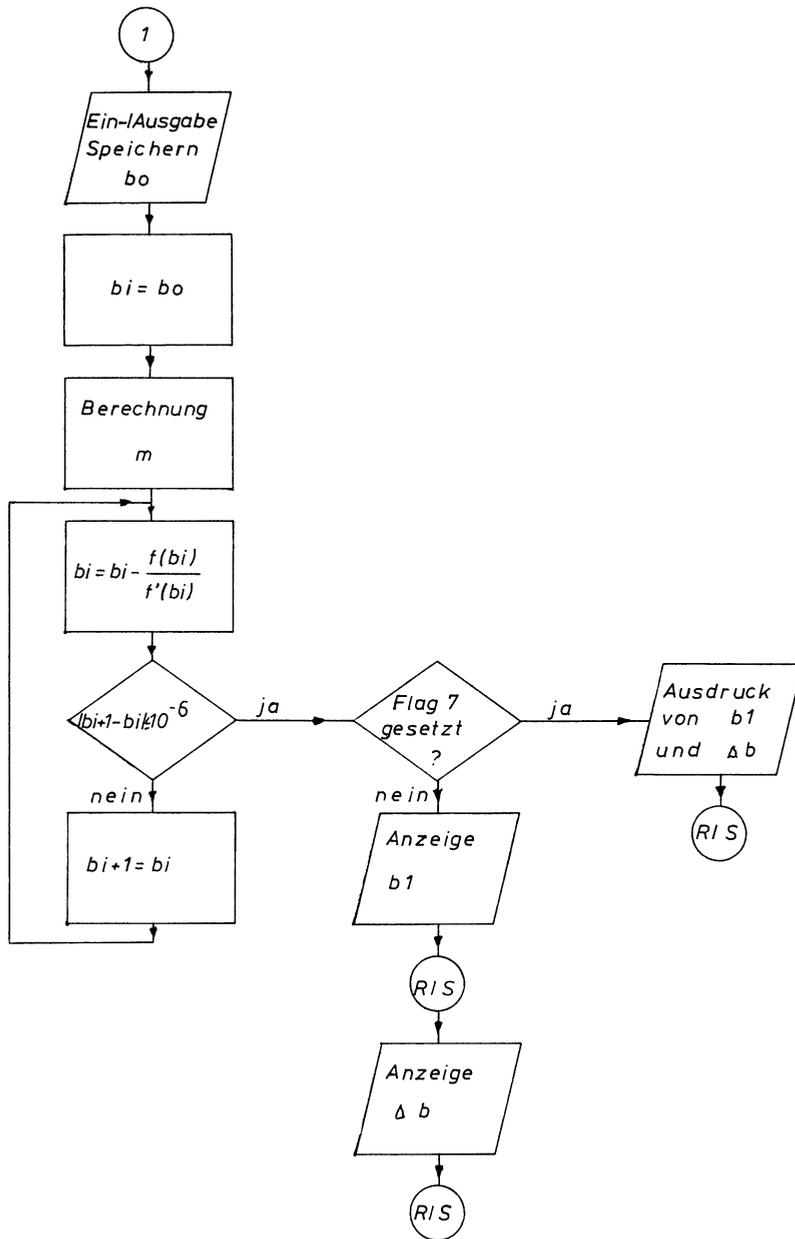


BERECHNUNG DER BREITUNG

EINGABEN		
1115.		TS
228.5		R
12.75		H1
19.45		H0
35.56		B0
ERGEBNISSE		
44.31522355		B1
8.755223549		ΔB

Bild 1: Beispiel





000	76	LBL	056	02	2	112	91	R/S	168	75	-
001	11	R	057	04	4	113	76	LBL	169	93	.
002	69	DP	058	69	DP	114	12	B	170	00	0
003	00	00	059	02	02	115	42	STD	171	00	0
004	01	1	060	03	3	116	00	00	172	00	0
005	04	4	061	07	7	117	03	3	173	05	5
006	01	1	062	04	4	118	07	7	174	65	x
007	07	7	063	01	1	119	03	3	175	43	RCL
008	69	DP	064	03	3	120	06	6	176	00	00
009	01	01	065	01	1	121	69	DP	177	54	)
010	03	3	066	02	2	122	04	04	178	95	=
011	05	5	067	02	2	123	43	RCL	179	42	STD
012	01	1	068	00	0	124	00	00	180	00	00
013	07	7	069	00	0	125	69	DP	181	91	R/S
014	01	1	070	69	DP	126	06	06	182	42	STD
015	05	5	071	03	03	127	01	1	183	01	01
016	02	2	072	69	DP	128	93	.	184	03	3
017	03	3	073	05	05	129	00	0	185	05	5
018	03	3	074	98	ADV	130	05	5	186	69	DP
019	01	1	075	69	DP	131	75	-	187	04	04
020	69	DP	076	00	00	132	93	.	188	43	RCL
021	02	02	077	01	1	133	00	0	189	01	01
022	04	4	078	07	7	134	00	0	190	69	DP
023	01	1	079	02	2	135	00	0	191	06	06
024	03	3	080	04	4	136	05	5	192	91	R/S
025	01	1	081	03	3	137	65	x	193	42	STD
026	02	2	082	01	1	138	43	RCL	194	03	03
027	02	2	083	02	2	139	00	00	195	02	2
028	00	0	084	02	2	140	95	=	196	03	3
029	00	0	085	01	1	141	42	STD	197	00	0
030	01	1	086	03	3	142	00	00	198	02	2
031	06	6	087	69	DP	143	61	GTD	199	69	DP
032	69	DP	088	01	01	144	01	01	200	04	04
033	03	03	089	01	1	145	81	81	201	43	RCL
034	01	1	090	04	4	146	76	LBL	202	03	03
035	07	7	091	01	1	147	13	C	203	69	DP
036	03	3	092	07	7	148	42	STD	204	06	06
037	05	5	093	03	3	149	00	00	205	91	R/S
038	00	0	094	01	1	150	03	3	206	42	STD
039	00	0	095	00	0	151	01	1	207	04	04
040	00	0	096	00	0	152	02	2	208	02	2
041	00	0	097	00	0	153	02	2	209	03	3
042	00	0	098	00	0	154	69	DP	210	00	0
043	00	0	099	69	DP	155	04	04	211	01	1
044	69	DP	100	02	02	156	43	RCL	212	69	DP
045	04	04	101	69	DP	157	00	00	213	04	04
046	69	DP	102	05	05	158	69	DP	214	43	RCL
047	05	05	103	69	DP	159	06	06	215	04	04
048	69	DP	104	00	00	160	93	.	216	69	DP
049	00	00	105	02	2	161	08	8	217	06	06
050	01	1	106	00	0	162	65	x	218	43	RCL
051	04	4	107	69	DP	163	53	(	219	04	04
052	03	3	108	07	07	164	01	1	220	75	-
053	05	5	109	69	DP	165	93	.	221	43	RCL
054	01	1	110	19	19	166	00	0	222	03	03
055	07	7	111	25	CLR	167	05	5	223	95	=

## Fortsetzung

224	42	STD	278	43	RCL	332	06	06	386	32	X!T
225	02	02	279	06	06	333	55	+	387	43	RCL
226	91	R/S	280	75	-	334	43	RCL	388	09	09
227	42	STD	281	53	(	335	05	05	389	22	INV
228	05	05	282	53	(	336	54	)	390	77	GE
229	42	STD	283	43	RCL	337	23	LNX	391	04	04
230	06	06	284	06	06	338	54	)	392	00	00
231	01	1	285	33	X <sup>2</sup>	339	55	+	393	43	RCL
232	04	4	286	75	-	340	53	(	394	08	08
233	00	0	287	43	RCL	341	02	2	395	42	STD
234	01	1	288	05	05	342	65	x	396	06	06
235	69	DP	289	33	X <sup>2</sup>	343	43	RCL	397	61	GTD
236	04	04	290	75	-	344	06	06	398	02	02
237	43	RCL	291	08	8	345	85	+	399	78	78
238	05	05	292	65	x	346	04	4	400	22	INV
239	69	DP	293	43	RCL	347	65	x	401	52	EE
240	06	06	294	07	07	348	43	RCL	402	43	RCL
241	53	(	295	65	x	349	07	07	403	08	08
242	53	(	296	53	(	350	65	x	404	75	-
243	01	1	297	43	RCL	351	53	(	405	43	RCL
244	93	.	298	01	01	352	43	RCL	406	05	05
245	06	6	299	65	x	353	03	03	407	95	=
246	65	x	300	43	RCL	354	85	+	408	42	STD
247	43	RCL	301	02	02	355	43	RCL	409	10	10
248	00	00	302	54	)	356	04	04	410	87	IFF
249	65	x	303	34	FX	357	54	)	411	07	07
250	53	(	304	65	x	358	65	x	412	04	04
251	43	RCL	305	43	RCL	359	53	(	413	20	20
252	01	01	306	02	02	360	43	RCL	414	43	RCL
253	65	x	307	85	+	361	01	01	415	08	08
254	43	RCL	308	04	4	362	65	x	416	91	R/S
255	02	02	309	65	x	363	43	RCL	417	43	RCL
256	54	)	310	43	RCL	364	02	02	418	10	10
257	34	FX	311	07	07	365	54	)	419	91	R/S
258	75	-	312	65	x	366	34	FX	420	98	ADV
259	01	1	313	53	(	367	55	+	421	69	DP
260	93	.	314	43	RCL	368	43	RCL	422	00	00
261	02	2	315	04	04	369	06	06	423	01	1
262	65	x	316	85	+	370	54	)	424	07	7
263	43	RCL	317	43	RCL	371	54	)	425	03	3
264	02	02	318	03	03	372	95	=	426	05	5
265	54	)	319	54	)	373	42	STD	427	02	2
266	55	+	320	65	x	374	08	08	428	02	2
267	53	(	321	53	(	375	75	-	429	01	1
268	43	RCL	322	43	RCL	376	43	RCL	430	07	7
269	03	03	323	01	01	377	06	06	431	01	1
270	85	+	324	65	x	378	95	=	432	04	4
271	43	RCL	325	43	RCL	379	50	I×I	433	69	DP
272	04	04	326	02	02	380	42	STD	434	01	01
273	54	)	327	54	)	381	09	09	435	03	3
274	54	)	328	34	FX	382	01	1	436	01	1
275	95	=	329	65	x	383	52	EE	437	02	2
276	42	STD	330	53	(	384	06	6	438	04	4
277	07	07	331	43	RCL	385	94	+/-	439	03	3

## Fortsetzung

440	06	6	449	69	DP	458	08	08	467	43	RCL
441	03	3	450	00	00	459	69	DP	468	10	10
442	06	6	451	01	1	460	06	06	469	69	DP
443	01	1	452	04	4	461	07	7	470	06	06
444	07	7	453	00	0	462	05	5	471	98	ADV
445	69	DP	454	02	2	463	01	1	472	98	ADV
446	02	02	455	69	DP	464	04	4	473	98	ADV
447	69	DP	456	04	04	465	69	DP	474	91	R/S
448	05	05	457	43	RCL	466	04	04			

# Zahnradberechnung, HP-41 C

von Hans Krissler

## 1. ALLGEMEINES

Bei der Auslegung von Stirnradgetrieben treten Probleme bzw. Rechenaufgaben auf, für die sich der wirtschaftliche Einsatz eines programmierbaren Taschenrechners anbietet, da eine konventionelle Berechnung trotz Hilfsmittel wie Tabellen und Diagramme recht langwierig ist.

## 2. HARDWARE

HP 41 CV bzw. HP 41 C und QRAM, Thermodrucker, (Kartenleser oder Kassettenlaufwerk)

## 3. SOFTWARE

Programm Definition

ZAGEO Bestimmungsgrößen für Stirnräder mit Evolventenverzahnung nach DIN 3960

ZAHERTZ Ermittlung der Nennflankenpressung nach Entwurf DIN 3990 Teil 2

ZAFUSS Ermittlung der örtlichen Zahnfußspannung aus Biege-nennspannung und Spannungskorrekturfaktor für Kraftangriff im äußeren Einzeleingriffspunkt nach Entwurf DIN 3990 Teil 3 Methode B

ZAMESS Meßgrößen nach DIN 3960, DIN 3967, DIN 3970, DIN 3977

ZWIRAD Ermittlung der Koordinaten für ein Zwischenrad (Anwendung speziell bei der Bohrkopfauslegung)

ZAEZA 1 Zähnezahlen für die Auslegung eines fest vorgegebenen Übersetzungsverhältnis, einstufig [1] [2]

ZAEZA 2 Zähnezahlen für die Auslegung eines fest vorgegebenen Übersetzungsverhältnis, mehrstufig [1] [2]

## 4. ERLÄUTERUNG

Die ersten vier Programme erbringen aus den Nennmaßen einige Bestimmungsgrößen einer Zahnradpaarung.

Registereinteilung SIZE 027

Reihenfolge bei Programmlauf ZAGEO ZAHERTZ ZAFUSS ZAMESS  
(Speicher werden mehrfach überschrieben)

Wird ein Programmlauf unterbrochen, und soll neu gestartet werden, so sind die Flags 00 bis 13 auf ihren Ausgangszustand zu bringen.

## 4.1 ZAGEO

Speicherbelegung

Bezeichnung	Register	Beispiel	Dim.
Normalmodul	00	2	mm
Zähnezahl Rad 1	01	33	
Zähnezahl Rad 2	02	34	
Achsabstand	03	74	mm
Schrägungswinkel	04	24	°
Radbreite 1	05	17,5	mm
Radbreite 2	06	16,5	mm
Werkzeugkopfrundungsfaktor	07	0,25	
Werkzeugkopfhöhenfaktor	08	1,25	

Aufteilung des Profilverschiebungsfaktors

Flag Programmatik

- 00 für vergütete und ungehärtete Räder [3]  
wenn  $i$  größer 2 Aufteilungskriterium etwa gleiche Wälzpressung für Ritzel und Rad  
wenn  $i$  kleiner 2 Aufteilungskriterium etwa gleiche max. Gleitgeschwindigkeit an den Zahnköpfen von Ritzel und Rad
- 01 für gehärtete Räder [3]  
Aufteilungskriterium etwa gleiche Zahnfußspannung
- 02 man. Eingabe Zustand 00 bzw. 01
- man. Eingabe



## Fortsetzung

```

TAN / °ND STO 12
SF 13 "EX" ARCL 16
ARCL X FC? 00 FS?C 01
GTO 10

175*LBL 15
ARCL 13 "X1 ?" PRA
PROMPT GTO 00

181*LBL 10
PRA RCL 15 1 + /
FC?C 00 GTO 12 RCL 15
2 X<=Y? GTO 13 RDN
ENTER↑ ENTER↑ 1 ST- Z
ST+ Y RDN RCL 02
STO L RDN .4 ST* L
X< L + / + GTO 00

210*LBL 13
RDN RDN RCL 01 12 +
RCL 01 2 + / * 0
ENTER↑ RCL 01 2 + /
GTO 00

228*LBL 12
RCL 15 ENTER↑ ENTER↑
1 ST- Z ST+ Y RDN /
.5 * +

240*LBL 00
RND STO 11 ST- 12
RCL 12 + CHS RCL 01
RCL 02 + 2 / RCL 04
COS / - RCL 00 *
RCL 03 + STO 10
ARCL 14 CF 13
"↑PROFILVE"
"↑RSCHIEBFAKT." PRA
SF 13 "X" ARCL 13
ARCL 11 RCL 12 XEQ A
FC?C 02 GTO 02 RCL 11
ST+ 12 SF 13 GTO 15

270*LBL 02
"↑PROFILVE"
"↑RSCHIEBG." XEQ G
"XMM" RCL 11 RCL 00
* ARCL X RCL 12
RCL 00 * XEQ A ADV
"↑RADBREITE" ARCL 14
ARCL 14 XEQ G "b"
ARCL 13 ARCL 05 RCL 06
XEQ A "↑TEIL" XEQ F
"↑" XEQ G SF 01 1
XEQ D "d" ARCL 13
ARCL X 2 XEQ D XEQ A

CF 01 SF 02 "↑GRUND"
XEQ F XEQ G 1 XEQ D
ST+ 20 X+2 STO 22
LASTX "db " ARCL X 2
XEQ D ST+ 21 X+2
STO 23 LASTX XEQ A -1
ST+ 22 ST+ 23 "↑WAEEL"
XEQ F XEQ G CF 02
SF 03 1 XEQ D "dW "
ARCL X 2 XEQ D XEQ A
"↑KOPF" XEQ F "↑"
XEQ G CF 03 SF 04 11
ENTER↑ 1 XEQ D X+2
ST+ 22 LASTX STO 15
"da " ARCL X 12
ENTER↑ 2 XEQ D X+2
ST+ 23 LASTX STO 16
XEQ A "↑FUSS" XEQ F
"↑" XEQ G CF 04
SF 05 11 ENTER↑ 1
XEQ D "dF " ARCL X
12 ENTER↑ 2 XEQ D
XEQ A CF 05 ADV ADV
ADV "↑NORMALTE"
"↑ILUNG " ARCL 13
XEQ G SF 01 XEQ C
"PN " XEQ B
"↑NORMALEI"
"↑NGRIFFST." XEQ G
SF 02 XEQ C "PEN "
XEQ B "↑STIRNTEILUNG "
ARCL 14 XEQ G SF 03
XEQ C "PT " XEQ B
"↑STIRNEIN"
"↑GRIFFST." XEQ G
RCL 18 COS * STO 24
"PET " XEQ B
"↑AXIALTEILUNG "
ARCL 14 XEQ G RCL 00
PI * RCL 04 ABS SIN
/ "PX " XEQ B ADV
"↑KOPFEING"
"↑RIFFSSTR." XEQ G
RCL 22 SORT STO 25
RCL 20 - 2 / STO 20
STO 22 "GA " ARCL X
RCL 23 SORT STO 26
RCL 02 SIGN * RCL 21
- 2 / STO 23 ST+ 20
XEQ A "↑EINGRIFFS"
"↑STRECKE " XEQ G
RCL 20 CLA "GA "
XEQ B "↑PROFIL" XEQ J
RCL 24 / STO 20
XEQ "K" 4 ACCHR SF 09
2 SKPCHR RCL 20 XEQ B

"↑SPRUNG" XEQ J RCL 05
RCL 06 X>Y? X<>Y
RCL 04 ABS SIN *
RCL 00 / PI / STO 21
XEQ "K" 5 ACCHR SF 09
2 SKPCHR RCL 21 XEQ B
"↑GESAMT" XEQ J
XEQ "K" 0 ACCOL 1
ACCOL 57 ACCOL 70
ACCOL 62 ACCOL 1
ACCOL 0 ACCOL SF 09
2 SKPCHR RCL 20
RCL 21 + XEQ B ADV
"↑STIRNMODUL" ARCL 14
ARCL 13 XEQ G "MT "
RCL 00 RCL 04 COS /
XEQ B "↑STIRNEINGRIWT"
XEQ H 4 ACCHR 116
ACCHR SF 09 2 SKPCHR
RCL 18 XEQ B XEQ I
HMS ARCL 14 XEQ B
"↑BETEING" "↑WINKEL"
XEQ H 4 ACCHR 119
ACCHR 116 ACCHR 1
SKPCHR SF 09 RCL 19
XEQ B XEQ I HMS
ARCL 14 XEQ B ADV
"↑ZAHNHOEHE" ARCL 14
ARCL 14 XEQ G "H"
ARCL 13 RCL 00 1 +
RCL 00 * RCL 10 +
XEQ B "↑KOPFSPIEL"
ARCL 14 ARCL 14 XEQ G
RCL 00 2 * - "C"
ARCL 13 XEQ B
"↑KOPFHOEHEN"
"↑AEND." XEQ G
RCL 10 "KMM " XEQ B
ADV "↑GLEITFAKTOR" PRA
CLA SF 09 75 ACCHR
103 ACCHR 2 SKPCHR
RCL 01 RCL 02 /
ENTER↑ 1/X + 2 +
RCL 03 / ENTER↑
ENTER↑ RCL 22 *
ARCL X RDN RCL 23 *
XEQ A "↑SPEZIFISCHES"
"↑GLEITEN" PRA CLA
XEQ 00 97 ACCHR 2
SKPCHR ST/ 25 RCL 02
SIGN * ST/ 26 RCL 19
SIN RCL 03 * STO 22
SF 01 25 ENTER↑ 22
XEQ E ARCL X SF 09
SF 02 26 ENTER↑ 22
XEQ E XEQ A CLA

```

Fortsetzung

```

XEQ 00 SF 09 102
ACCHR 2 SKPCHR CF 01
26 ENTER↑ 22 XEQ E
ARCL X CF 02 25
ENTER↑ 22 XEQ E XEQ A
STOP

691*LBL 00
0 ACCOL 24 ACCOL 37
ACCOL 34 ACCOL 99
ACCOL ACCOL 0 ACCOL
RTN

706*LBL B
ARCL 14 GTO 00

709*LBL A
ARCL 13 ARCL 14 ASTO T
ASHF ASTO Z CLA
ARCL T ARCL Z FC? 09
ARCL 14

720*LBL 00
ARCL X FC?C 09 GTO 01
ACA PRBUF GTO 02

727*LBL 01
PRA

729*LBL 02
CF 13 CLA ARCL 14 RTN

734*LBL D
RCL IND X RCL 00 *
RCL 04 COS / FS? 01
RTN FS? 04 GTO 04
FS? 05 GTO 05 RCL 18
COS * FS? 02 RTN
RCL 19 COS / FS? 03
RTN

757*LBL 04
RCL IND Z 1 + RCL 00
* RCL 10 + 2 * +
RTN

769*LBL 05
RCL IND Z RCL 00 -
RCL 00 * 2 * + RTN

779*LBL C
RCL 00 PI * FS?C 01
RTN FS?C 03 GTO 03 20
COS * FS?C 02 RTN

792*LBL 03
RCL 04 COS / RTN

797*LBL E
RCL IND Y RCL IND Y
RCL IND Y - / RCL 02
RCL 01 / FS? 02 1/X
* FS? 01 1/X CHS 1
+ RTN

815*LBL F
"KREISDURCHM." RTN

818*LBL G
"r MM" PRA SF 13 RTN

823*LBL H
ARCL 14 "r GRD" PRA
CLA RTN

829*LBL I
CF 13 18 SKPCHR X<>Y
"G.MSS" ACA PRBUF
CLA RTN

839*LBL "K"
0 ACCOL 54 ACCOL 73
ACCOL ACCOL 65 ACCOL
34 ACCOL 0 ACCOL RTN

854*LBL J
"r UEBERDECKUNG" PRA
CLA .END.
    
```

4.2 ZAHERTZ

Das Programm wird nach ZAGEO gestartet.  
Eingabe vornehmen bei "DREHMOMENT RITZEL NM" und  
Programmfortsetzung

4.3 ZAFUSS

Das Programm kann nach ZAGEO bzw. ZAHERTZ gestartet  
werden. Die Berechnung wird ohne Protuberanz ausgeführt.  
Mit Protuberanz sind die Programmzeilen 23 bis 26 zu  
löschen und die Protuberanzmaße auf Speicherplätze zu  
setzen:

Bezeichnung	Register
Knickhöhe am Protuberanzprofil	09
Protuberanzwinkel	10

Eingabe vornehmen bei "DREHMOMENT RITZEL NM" und  
Programmfortsetzung

## 4.4 ZAMESS

## Speicherbelegung

Bezeichnung	Register	Beispiel	Dim.
Aste1	15	-0,034	mm
Asti1	16	-0,051	mm
Aste2	25	-0,034	mm
Asti2	26	-0,051	mm

Speicherbelegung nach "WAHL DM AUS DIN 3977" treffen und  
Programmfortsetzung

DM1	23	3,5	mm
DM2	24	3,5	mm

Speicherbelegung nach "LEHRZAHNRAD DIN 3970" vornehmen  
und Programmfortsetzung

zL	23	36	
xL	24	0	

ZAHERTZ - und ZAFUSS - Ausdruck für Beispiel

## PRGM ZAHERTZ

```

BEZ RAD 1      RAD 2
  ZONENFAKTOR
ZH  2.2477
  ELASTIZITÄTSFAKTOR
ZE  189.8684
  UEBERDECKUNGSFAKTOR
ZC  0.8399
  SCHRAEGENFAKTOR
ZB  0.9558
  DREHMOMENT RITZEL NM
T  150.0000  145.5882
  UMFANGSKRAFT      N
Ft  4.152.4794
  NENNFLAPRESS N/MM²
σH0  897.6391

```

## PRGM ZAFUSS

```

ERSATZ-GERADVERZÄHMUNG:
  BEZ RAD 1      RAD 2
  ZÄHNEZAHL
zn  42.3027  43.5846
  TEILKREISDURCHM. MM
dn  84.6054  87.1692
  GRNDKREISDURCHM. MM
dbn 79.5030  81.9122
  KOPFKREISDURCHM. MM
dan 89.2257  91.8311
  DRM. EINZEINGPKT. MM
den 85.9687  88.5810
  PROFILWINKEL      GRD
aen 22.3632  22.3746
  KRAFTANGPIFFSWI. GRD
αFen20.4292  20.4999

```

```

BIEGEBELARM      MM
hF  1.9536  1.9528
  ZAHNFUSSEHNE    MM
sFn 4.4044  4.4211
  FUSSAUSRUNDSRAD. MM
eF  0.7758  0.7659
  FORMFAKTOR
YF  1.2052  1.1950
  SPNGSKORREKTURFAKTOR
Ys  2.3836  2.4057
  SCHRAEGENFAKTOR
YB  0.7864
  DREHMOMENT RITZEL NM
T  150.0000  145.5882
  UMFANGSKRAFT      N
Ft  4.152.4794
  OERTL ZAFUSPG N/MM²
σF0 340.8325  361.7593

```

## ZAHERTZ - Programmliste

```

01*LBL "ZAHERTZ"
SF 12 "PRGM ZAHERTZ"
AVIEW CF 12 ADV
"BEZ RAD 1" ARCL 13
ARCL 14 "FRAD 2" PRA
CLA ADV ARCL 14
"HZONEN" XEQ F "ZH "
RCL 19 COS LASTX SIN
/ RCL 17 COS *
RCL 18 COS X^2 / 2
* SQRT STO 09 XEQ B
"HELASTIZITAETS" XEQ F
"ZE " 109.0684 ST* 09
XEQ B "HUEBERDECKUNGS"
XEQ F SF 09 "Z" ACA
0 ACCOL 54 ACCOL 73
ACCOL ACCOL 65 ACCOL
34 ACCOL 0 ACCOL 2
SKPCHR CLA RCL 04
X=0? SF 04 RCL 21 1
X>Y? GTO 01 RCL 20
1/X GTO 02

72*LBL 01
4 ENTER+ RCL 20 - 3
/ FS?C 04 GTO 02 1
ENTER+ RCL 21 - *
RCL 21 RCL 20 / +

90*LBL 02
SQRT ST* 09 XEQ B
"FSCHRAEGEN" XEQ F
SF 09 "Z" ACA 5
ACCHR 2 SKPCHR CLA
RCL 04 COS SQRT
ST* 09 XEQ B
"FDREHMOMENT "
"FRITZEL NM" PRA
PROMPT "T" ARCL 13
ARCL X STO 03 RCL 01
ST/ 03 * RCL 02 /
XEQ A "HUMFANGSKRAFT"
ARCL 13 ARCL 14 "FN"
PRA SF 09 "F" ACA
SF 13 "T " ACA CLA
RCL 04 COS 2000 *
RCL 00 / ST* 03
RCL 03 XEQ B
"FNENNFLAPRESS N"
"FNMM^2" PRA CLA
SF 09 9 ACCHR "H0 "
ACA CLA RCL 05 RCL 06
X>Y? X<Y? RCL 00 *
RCL 01 * RCL 04 COS
/ RCL 02 RCL 01 / *

LASTX 1 + / ST/ 03
RCL 03 SQRT ST* 09
RCL 09 XEQ B STOP

100*LBL B
ARCL 14 GTO 00

103*LBL A
ARCL 13 ARCL 14 ASTO T
ASHF ASTO Z CLA
ARCL T ARCL Z FC? 09
ARCL 14

194*LBL 00
ARCL X FC?C 09 GTO 01
ACA PRBUF GTO 02

201*LBL 01
PRA

203*LBL 02
CF 13 CLA ARCL 14 RTH

208*LBL F
"FAKTOR" PRA .END.

```

## ZAFUSS - Programmliste

```

01*LBL "ZAFUSS"
SF 12 "PRGM ZAFUSS"
AVIEW CF 12 ADV
"ERSATZ-GERAD"
"FYERZAHNUNG:" PRA ADV
"BEZ RAD 1" ARCL 13
ARCL 14 "FRAD 2" PRA
CLA ADV ARCL 14
"HZAEHNEZAHL" PRA
SF 13 "ZN " 0 STO 09
20 STO 10 RCL 01
STO 03 RCL 02 STO 19
RCL 17 COS X^2 ST/ 20
RCL 04 COS * 1/X
ST* 03 ST* 19 RCL 10
TAN 20 TAN - RCL 00
/ RCL 09 * PI 4 /
+ RCL 08 20 TAN * +
RCL 10 SIN 1 ST- 20
- RCL 07 * RCL 10
COS / - 2 * STO 09
STO 10 RCL 03 ARCL 03

ST/ 09 RCL 19 XEQ A
ST/ 10 PI 3 / ST- 09
ST- 10 "FTEIL" XEQ C
"DN " RCL 07 RCL 08
- STO 23 STO 24
RCL 11 ST+ 23 RCL 12
ST+ 24 RCL 23 STO 25
RCL 24 STO 26 2
ST* 25 ST* 26 RCL 03
ST/ 25 RCL 19 ST/ 26
RCL 09 STO 22 XEQ 01
RCL T STO 09 RCL 10
STO 22 RCL 26 STO 25
XEQ 01 RCL T STO 10
DEG FIX 4 GTO 02

123*LBL 01
FIX 7 RAD .5

127*LBL 16
ENTER+ ENTER+ TAN
RCL 25 * - RCL 22 +

RCL 25 RCL T COS X^2
/ 1 - / ST+ T RND
X=0? RTN RCL T GTO 16

150*LBL 02
RCL 03 RCL 00 *
ARCL X ST+ 15 20 COS
* STO 25 RCL 19
RCL 00 * XEQ A ST+ 16
20 COS * STO 26 1
ENTER+ 15 XEQ 03 2
ENTER+ 16 XEQ 03
GTO 04 STOP

179*LBL 03
RCL IND Y RCL 00 *
RCL 04 COS /
ST- IND Y RTN

188*LBL 04
"IGRND" XEQ C "DBN "
ARCL 25 RCL 26 XEQ A

```

## Fortsetzung

```

"-KOPF" XEQ C "DAN "
ARCL 15 RCL 16 XEQ A
"-FORM. EINZ"
"+EINGPKT." XEQ D
"-DEN " 15 ENTER↑ 25
ENTER↑ 1 XEQ 01 16
ENTER↑ 26 ENTER↑ 2
XEQ 01 ARCL 15 RCL 16
XEQ A GTO 02

```

```

221*LBL 01
RCL IND Z X↑2
RCL IND Z X↑2 - SQRT
20 COS RCL IND Z SIGN
* PI * RCL 00 * 2
* RCL 20 * - X↑2 24
ST+ T RDN RCL IND Z
X↑2 + SQRT RCL IND Y
SIGN * ST/ IND Z 10
ST- T RDN STO IND Z
RTN

```

```

259*LBL 02
SF 09 "+PROFILWINKEL"
ARCL 14 XEQ E 4 ACCHR
SF 13 "HEN " ACA CLA
RCL 25 ACOS ARCL X
TAN STO 25 RCL 26
ACOS XEQ A TAN STO 26
"-KRAFTANGRIFFSW" "H."
XEQ E SF 09 4 ACCHR
"F" ACA SF 13 "EN"
ACA CLA 20 TAN LASTX
D-R - ST- 25 ST- 26
11 ENTER↑ 3 XEQ 01
STO 20 ST- 25 12
ENTER↑ 19 XEQ 01
STO 22 ST- 26 RCL 25
R-D ARCL X RCL 26 R-D
XEQ A GTO 02

```

```

318*LBL 01
RCL IND Y 20 TAN * 4
* PI + RCL IND Y /
2 / RTN

```

```

332*LBL 02
SF 09 "+BIEGEBELARM"
ARCL 14 XEQ D "H" ACA
CF 13 "F " ACA CLA
RAD 25 ENTER↑ 20
ENTER↑ 15 XEQ 01 23
ENTER↑ 9 ENTER↑ 3
XEQ 02 ST- 15 26
ENTER↑ 22 ENTER↑ 16
XEQ 01 24 ENTER↑ 10

```

```

ENTER↑ 19 XEQ 02
ST- 16 2 ST/ 15
ST/ 16 RCL 15 RCL 16
RCL 00 ST* Y ST* Z
ARCL Z RCL Y XEQ A
GTO 03

```

```

382*LBL 01
RCL IND Z TAN
RCL IND Z SIN * CHS
RCL IND Z COS +
RCL IND Y * RCL 00 /
STO IND Y RTN

```

```

398*LBL 02
RCL IND Z RCL IND Z
COS / RCL IND Z CHS
PI STO L RDN 3 ST/ L
X<> L + COS RCL IND T
* + RCL 07 - RTN

```

```

419*LBL 03
SF 09 "+ZAHNFUSSEHNE "
ARCL 14 XEQ D "S" ACA
CF 13 "F" ACA SF 13
"N " ACA CLA 9
ENTER↑ 3 XEQ 01
STO 20 23 ENTER↑ 9
XEQ 02 ST+ 20 10
ENTER↑ 19 XEQ 01
STO 22 24 ENTER↑ 10
XEQ 02 ST+ 22 RCL 22
RCL 20 RCL 00 ST* Y
ST* Z ARCL Y RCL Z
XEQ A GTO 03

```

```

462*LBL 01
PI 3 / RCL IND T -
SIN RCL IND Y * RTN

```

```

472*LBL 02
RCL IND Y RCL IND Y
COS / RCL 07 - 3
SQRT * RTN

```

```

483*LBL 03
SF 09 "+FUSSAUS"
"+RUNDGRAD." XEQ D
CF 13 0 ACCOL 62
ACCOL 81 ACCOL ACCOL
ACCOL 78 ACCOL 0
ACCOL "F " ACA CLA
3 ENTER↑ 9 ENTER↑ 23
XEQ 01 19 ENTER↑ 10
ENTER↑ 24 XEQ 01
RCL 24 RCL 23 RCL 00

```

```

ST* Y ST* Z ARCL Y
RCL Z XEQ A GTO 03

```

```

525*LBL 01
RCL IND Z RCL IND Z
COS X↑2 * RCL IND Y
STO L RDN 2 ST* L
X<> L - RCL IND T COS
* RCL IND Y X↑2 / 2
/ 1/X RCL 07 +
STO IND Y RTN

```

```

551*LBL 03
ADV "+FORM" XEQ F
"YF " 15 ENTER↑ 20
ENTER↑ 25 XEQ 01
ARCL X 16 ENTER↑ 22
ENTER↑ 26 XEQ 01
XEQ A GTO 02

```

```

571*LBL 01
RCL IND Z RCL IND Z
X↑2 / 6 * RCL IND Y
COS * 20 D-R COS /
STO IND Y RTN

```

```

587*LBL 02
"-SPNGSKORREKTUR" XEQ F
"YS " 20 ENTER↑ 23
ENTER↑ 15 XEQ 01
ARCL X ST* 25 22
ENTER↑ 24 ENTER↑ 16
XEQ 01 ST* 26 XEQ A
GTO 02

```

```

608*LBL 01
RCL IND Z ST/ IND Y
ST/ IND Z RDN 2
ST* IND Z RDN
RCL IND Y RCL IND Y
ENTER↑ 2.3 * 1.21 +
1/X RCL Y 1/X X<>Y
Y↑X RCL IND T 1/X .13
* 1.2 + * RTN

```

```

636*LBL 02
"-SCHRAEGEN" SF 09
XEQ F "Y" ACA 5
ACCHR " " ACA CLA
RCL 21 -4 / 1 +
RCL 21 -120 / RCL 04
* 1 + X<=Y? X<>Y
.75 X<=Y? X<>Y XEQ 0
ST* 23 ST* 24
"+DREHMOMENT "
"+RITZEL MM" PRA

```

Fortsetzung

```
PROMPT DEG "T"
ARCL 13 ARCL X STO 03
RCL 01 ST/ 03 *
RCL 02 / XEQ A
"HUMFANGSKRAFT" ARCL 13
ARCL 14 "H" PRA
SF 09 "F" ACA SF 13
" T " ACA CLA RCL 04
COS 2000 * RCL 00 /
ST* 03 RCL 03 XEQ B
"HOERTL ZAFUSPG "
"H/MH12" PRA SF 09 9
ACCHR "F0 " ACA CLA
RCL 03 RCL 00 /
ST* 25 ST* 26 RCL 05
ST/ 25 RCL 06 ST/ 26
ARCL 25 RCL 26 XEQ A
STOP
```

```
725*LBL B
ARCL 14 GTO 00

728*LBL A
ARCL 13 ARCL 14 ASTO T
ASHF ASTO Z CLA
ARCL T ARCL Z FC? 09
ARCL 14

739*LBL 00
ARCL X FC?C 09 GTO 01
ACA PRBUF GTO 02

746*LBL 01
PRA

748*LBL 02
CF 13 CLA ARCL 14 RTN
```

```
753*LBL C
"KREISDURCHM. "

755*LBL D
"t MM" PRA SF 13 RTN

760*LBL E
"t GRD" PRA CLA RTN

765*LBL F
"FAKTOR" PRA .END.
```

ZAMESS - Ausdruck für Beispiel

```
PRGM ZAMESS
BEZ RAD 1 RAD 2
ZAHNDICKE MM
sn 3.3806 3.3958
ABMASS MM
Aste-0.0340 -0.0340
Asti-0.0510 -0.0510
V-KREIS-DURCHM. MM
dv 72.7860 75.0169
ZAHNDICKENSEHNE MM
Svn 3.1167 3.1177
ABMASSFAKTOR
ASv*0.9754 0.9761
TOLERANZ MM
+/- 0.0083 0.0083
```

```
MESSZAEHNEZAHL
k 5 6
ZAHNWEITE MM
Wk 27.9494 33.9041
ABMASSFAKTOR
AW* 0.9397 0.9397
TOLERANZ MM
+/- 0.0080 0.0080
MESSKREISDURCHM. MM
dm 71.9133 75.9155
MINDESTZAHNBREITE MM
b)>= 10.6825 12.9584
MESSSTUECKDURCHM. MM
DM 3.4366 3.4377
WAHL DM AUS DIN 3977
DM 3.5000 3.5000
```

```
MASS UEBER KUGELN MM
Mdk 77.6452 79.9584
ABMASSFAKTOR
AMd*2.3778 2.3833
TOLERANZ MM
+/- 0.0202 0.0203
MASS UEBER ROLLEN MM
Mdr 77.7293 79.9584
ABMASSFAKTOR
AMd*2.3804 2.3833
TOLERANZ MM
+/- 0.0202 0.0203
LEHRZAHNRAD DIN 3970
zL 36
WAELZABSTAND MM
a" 75.7970 76.9120
ABMASSFAKTOR
Aa*1.3443 1.3425
TOLERANZ MM
+/- 0.0114 0.0114
```

## ZAMESS - Programmliste

```

01*LBL "ZAMESS"
SF 12 "PRGM ZAMESS"
AVIEW CF 12 ADV
"BEZ RAD 1" ARCL 13
ARCL 14 "RAD 2" PRA
CLA ADV ARCL 14 SF 00
XEQ 03 ARCL 14 ARCL 14
XEQ C "SN " 11
XEQ 01 ARCL X 12
XEQ 01 GTO 02

27*LBL 01
RCL IND X 2 * 20 TAN
* PI 2 / + RCL 00
* RTN

41*LBL 02
XEQ D ARCL 14 ARCL 14
ARCL 13 XEQ C XEQ 01
"E" ACA CLA ARCL 15
RCL 25 XEQ A XEQ 01
"I" ACA CLA ARCL 16
RCL 26 XEQ A GTO 02

62*LBL 01
CF 13 "A" ACA SF 13
"ST" ACA SF 09 RTN

71*LBL 02
CF 00 15 ENTER↑ 16
XEQ 01 ST+ 11 25
ENTER↑ 26 XEQ 01
ST+ 12 GTO 02

84*LBL 01
RCL IND Y RCL IND Y +
RCL 00 / 4 / 20 TAN
/ RTN

96*LBL 02
"V-KREIS-"
"DUCHM. " XEQ C
SF 13 "DV " 1 ENTER↑
11 XEQ 01 STO 09
ARCL X 2 ENTER↑ 12
XEQ 01 STO 10 XEQ A
GTO 03

115*LBL 01
RCL IND Y RCL 04 COS
/ RCL IND Y 2 * +
RCL 00 * RTN

127*LBL 03
"ZAHNDICKE" FS? 00
RTN SF 09 "NSEHNE "
XEQ C XEQ 00 "VN "
ACA CLA 1 ENTER↑ 11
XEQ 01 STO 21 XEQ 02
STO 23 XEQ 03 ST+ 21
2 ENTER↑ 12 XEQ 01
STO 22 XEQ 02 STO 24
XEQ 03 ST+ 22 RCL 21
R-D RCL 23 COS 3 Y+X
* SIN RCL 09 *
RCL 23 COS X+2 /
ARCL X RCL 22 R-D
RCL 23 COS 3 Y+X *
SIN RCL 10 * RCL 24
COS X+2 / XEQ D
SF 09 "A" ACA XEQ 00
"V*" ACA CLA 1
ENTER↑ 11 SF 00
XEQ 01 21 X<>Y XEQ 04
RCL 23 COS * RCL 09
* RCL 01 / STO 09
ARCL X 2 ENTER↑ 12
XEQ 01 22 X<>Y XEQ 04
RCL 24 COS * RCL 10
* RCL 02 / STO 10
XEQ E XEQ 22 GTO 05

228*LBL 00
0 ACCOL 73 ACCOL 85
ACCOL ACCOL ACCOL 37
ACCOL 0 ACCOL SF 13
RTN

243*LBL 01
RCL IND X 2 * RCL 04
COS * RCL IND Z +
1/X RCL IND Z *
RCL 18 COS * ACOS
FS? 00 RTN D-R LASTX
TAN - RTN

266*LBL 02
RDM RCL IND X 2 *
RCL 04 COS *
RCL IND Z + LASTX /
RCL 04 TAN * R-D RTN

283*LBL 03
RDM RCL IND X 4 * 20
TAN * PI + 2 /
RCL IND Z / RCL 18
TAN LASTX D-R - +
RTN

384*LBL 04
RCL IND Y R-D - TAN
RCL IND Y R-D SIN *
CHS RCL IND Y R-D COS
+ RCL 00 / RTN

321*LBL 22
RCL 15 RCL 16 - 2 /
RCL 09 * ARCL X
RCL 25 RCL 26 - 2 /
RCL 10 * XEQ A RTN

339*LBL 05
CF 04 ADV RCL 04 X#0?
SF 04 COS 3.3 Y+X
1/X STO 09
"MESSZAEHNEZAHL" PRA
CF 29 FIX 0 SF 13 "K"
ARCL 13 11 ENTER↑ 1
XEQ 01 2 X<>Y X<>Y
STO 23 ARCL X 12
ENTER↑ 2 XEQ 01 2
X<>Y X<>Y STO 24
XEQ A SF 29 FIX 4
GTO 02

378*LBL 01
RCL IND Y 2 * RCL 04
COS * RCL IND Y +
LASTX / 1/X RCL 18
COS * ACOS TAN
RCL 17 COS X+2 /
RCL IND Z RCL IND Z /
2 * 20 TAN * -
RCL 18 D-R LASTX TAN
- + RCL IND T * PI
/ RCL IND T ENTER↑
ABS / 2 / + RND
RTN

427*LBL 02
"ZAHNWEITE" ARCL 14
ARCL 14 XEQ C CF 13
"W" ACA SF 13 "K "
ACA CLA SF 09 23
ENTER↑ 1 ENTER↑ 11
XEQ 01 STO 23 ARCL X
24 ENTER↑ 2 ENTER↑
12 XEQ 01 STO 24
GTO 02

456*LBL 01
RCL IND Y ABS ST/ L
RDM 2 ST/ L RDM
RCL IND Z LASTX - PI
* RCL 18 RAD D-R -TAN

```

## Fortsetzung

```
ST- L RDN DEG LASTX
CHS RCL IND T * + 20
COS * RCL IND Y `20
SIN * 2 * + RCL 00
* RTN
```

```
494*LBL 02
CF 00 XEQ D SF 00
"AW* " 20 COS ARCL X
XEQ E RCL 15 RCL 16 -
2 / X<>Y * ARCL X
LASTX RCL 25 RCL 26 -
2 / * XEQ A
"MESSKREIS"
"FDURCHM." XEQ C
CF 13 "dM " 1 ENTER↑
23 XEQ 01 ARCL X 2
ENTER↑ 24 XEQ 01
XEQ A GTO 02
```

```
535*LBL 01
RCL IND Y RCL 00 *
RCL 18 COS * RCL 04
COS / X↑2 RCL IND Y
RCL 17 COS * X↑2 +
SORT RTN
```

```
554*LBL 02
"MINDESTZAHN"
"BREITE" XEQ C "b)= "
RCL 17 SIN ST* 23
ST* 24 ARCL 23 RCL 24
XEQ A ADV
"MESSSTUECK"
"FDURCHM." XEQ C CF 13
"DM " 1 ENTER↑ 11
XEQ 01 STO 23 2
ENTER↑ 12 XEQ 01
STO 24 SF 01 11
ENTER↑ 1 XEQ 02 SF 02
12 ENTER↑ 2 XEQ 02
RCL 00 RCL 09 * 20
COS * ST* 23 ST* 24
RCL 01 ST* 23 RCL 02
ST* 24 ARCL 23 RCL 24
XEQ A GTO 03
```

```
600*LBL 01
20 COS RCL 09 *
RCL IND Z * LASTX
RCL 09 * RCL IND Z 2
* + / ACOS TAN CHS
RTN
```

```
627*LBL 02
```

```
PI RCL IND Z 4 * 20
TAN * - 2 / RCL 09
/ RCL IND T / 20 D-R
LASTX TAN - + FS? 01
RCL 23 FS? 02 RCL 24
- R-D TAN FS?C 01
ST+ 23 FS?C 02 ST+ 24
RTN
```

```
660*LBL 03
"WAHL DM AUS"
"DI 3977" PRA
PROMPT "DM " ARCL 23
RCL 24 XEQ F "KUGELN"
XEQ C CF 13 "Mdk " 23
ENTER↑ 11 ENTER↑ 1
XEQ 01 STO 21 24
ENTER↑ 12 ENTER↑ 2
XEQ 01 STO 22 RCL 01
ST* 21 XEQ H 21
ENTER↑ 1 ENTER↑ 23
XEQ I ARCL X RCL 02
ST* 22 XEQ H 22
ENTER↑ 2 ENTER↑ 24
XEQ I XEQ D "AMd*"
RCL 01 XEQ H 1 ENTER↑
9 XEQ J ARCL X RCL 02
XEQ H 2 ENTER↑ 10
XEQ J XEQ E RCL 01
XEQ H 1 ENTER↑ 9
XEQ J RCL 15 RCL 16 -
2 / * ARCL X RCL 02
XEQ H 2 ENTER↑ 10
XEQ J RCL 25 RCL 26 -
2 / * XEQ F GTO 03
```

```
749*LBL 01
FIX 7 RCL IND Z
RCL IND Y / RCL 00 /
20 COS / RCL IND Z 4
* 20 TAN * PI - 2
/ RCL IND Z / +
RCL 18 TAN LASTX D-R
- + STO 03 .4
```

```
780*LBL G
ENTER↑ R-D TAN RCL Y
- RCL 03 - RCL Y R-D
COS X↑2 1/X 1 - /
RND X=0? GTO 02 -
GTO G
```

```
801*LBL 02
RDN R-D FS?C 00
STO 09 STO 10 COS 1/X
```

```
RCL 18 COS * RCL 00
* RCL 04 COS / FIX 4
RTN
```

```
819*LBL 03
"ROLLEN" XEQ C CF 13
"MDR " RCL 01 XEQ H
FS? 04 SF 00 21
ENTER↑ 1 ENTER↑ 23
XEQ I ARCL X RCL 02
XEQ H FS? 04 SF 00 22
ENTER↑ 2 ENTER↑ 24
XEQ I XEQ D "AMd*"
XEQ 01 ARCL X XEQ 02
XEQ E XEQ 01 RCL 15
RCL 16 - 2 / *
ARCL X XEQ 02 RCL 25
RCL 26 - 2 / *
XEQ A GTO 03
```

```
860*LBL 01
RCL 01 XEQ H FS? 04
SF 00 1 ENTER↑ 9
XEQ J RTN
```

```
870*LBL 02
RCL 02 XEQ H FS? 04
SF 00 2 ENTER↑ 10
XEQ J RTN
```

```
880*LBL 03
ADV "LEHRZAHNRAD "
"DI 3970" PRA PROMPT
SF 13 "Z" ACA CF 13
CF 29 FIX 0 RCL 23
XEQ B SF 29 FIX 4
"WAELZABSTAND "
RCL 14 XEQ C SF 09
"a" ACA 34 ACCHR
" " ACA CLA SF 00
11 ENTER↑ 1 XEQ 01 1
ENTER↑ 9 XEQ 02
ARCL X 12 ENTER↑ 2
XEQ 01 2 ENTER↑ 10
XEQ 02 XEQ D GTO 03
```

```
939*LBL 01
FIX 7 RCL IND Y RCL 24
+ RCL IND Y RCL 23 +
/ 2 * 20 TAN *
RCL 18 TAN LASTX D-R
- + STO 03 .4 XEQ G
RTN
```

## Fortsetzung

```

963*LBL 02
RCL IND Y RCL 23 + 2
/ RCL 04 COS /
RCL 00 * RCL 18 COS
* RCL IND Y COS /
RTN

981*LBL 03
"Ra" ACA 34 ACCHR
"*" ACA CLA SF 09 9
XEQ 01 ARCL X STO 09
10 XEQ 01 STO 10
XEQ E XEQ 22 CF 04
STOP

1001*LBL 01
RCL 18 COS RCL IND Y
SIN / RCL 04 COS /
2 / RTN

1013*LBL B
ARCL 13 ARCL 13 GTO 00

1017*LBL A
ARCL 13 ARCL 14 ASTO T
ASHF ASTO Z CLA
ARCL T ARCL Z FC? 09
ARCL 14

1028*LBL 00
ARCL X FC?C 09 GTO 01
ACA PRBUF GTO 02

1035*LBL 01
PRA

1037*LBL 02
CF 13 CLA ARCL 14 RTN

1042*LBL C
"+ MN" PRA CLA SF 13
RTN

1048*LBL D
XEQ A "+ABMASS" FS? 00
RTN "+FAKTOR" PRA RTN

1056*LBL E
XEQ A "+TOLERANZ "
ARCL 14 ARCL 14 XEQ C
"+/- " RTN

1064*LBL F
XEQ A ADV
"+MASS UEBER " RTN

1069*LBL H
CF 00 2 MOD X=0?
SF 00 RTN

1076*LBL I
RCL IND Z FS?C 00
GTO 00 PI RCL IND T /
2 / R-D COS *

1088*LBL 00
RCL IND Y + RTN

1092*LBL J
RCL 18 COS RCL 04 COS
/ RCL IND Y SIN /
FS? 00 RTN PI
RCL IND T / 2 / R-D
COS * .END.

```

## 4.5 ZWIRAD

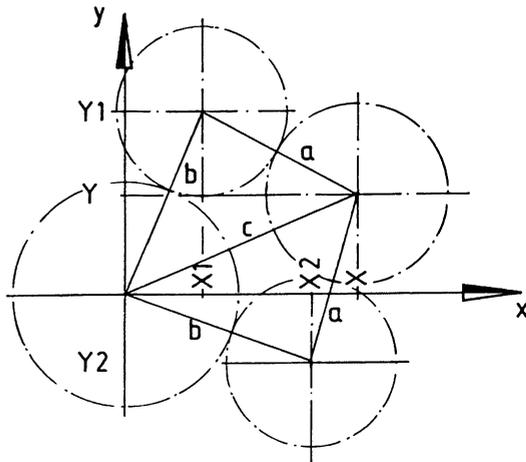
Das Programm läßt sich einsetzen, um Koordinaten von Zwischenwellen zu ermitteln. Zwischenwellen werden z.B. im Werkzeugmaschinenbau bei der Bohrkopfauslegung eingebaut, um nicht zu große Räder zu erhalten, wenn bei einem Bohrbild relativ große Abstände sind, oder wenn es nötig ist, über zwei "Etagen" anzutreiben.

Es sei  $b$  = Teilkreisradius von Antriebsrad und Zwischenrad

$a$  = Teilkreisradius von Pinolenrad und Zwischenrad

X bzw. Y Koordinaten der Pinole

Skizze



Beispiel

```

XEQ "ZWIRAD"
b:      35.0000 RUN
a:      30.0000 RUN
Y:      17.0000 RUN
X:      41.0000 RUN
X1=14.8458      RUN
Y1=31.6955      RUN
X2=32.9182      RUN
Y2=11.8909
    
```

ZWIRAD - Programmliste

01♦LBL "ZWIRAD"	21 ST/ T	41 ST-Z
02 "b:"	22 RDN	42 RDN
03 PROMPT	23 RDN	43 P-R
04 ENTER↑	24 2	44 "X2="
05 X↑2	25 ST/ Z	45 XEQ 00
06 "a:"	26 RDN	46 "Y2="
07 PROMPT	27 RDN	47 XEQ 01
08 X↑2	28 ACOS	48 GTO 02
09 -	29 ST+ T	49♦LBL 00
10 "Y:"	30 X ( ) T	50 ARCL X
11 PROMPT	31 X ( ) Y	51 AVIEW
12 "X:"	32 P-R	52 STOP
13 PROMPT	33 "X1="	53 RTN
14 R-P	34 XEQ 00	54♦LBL 01
15 X↑2	35 "Y1="	55 ARCL Y
16 ST+ Z	36 XEQ 01	56 AVIEW
17 RDN	37 R-P	57 STOP
18 LASTX	38 RCL T	58 RTN
19 ST/ Z	39 2	59♦LBL 02
20 RCL T	40 *	60 .END.

## 4.6 ZAEZA 1

## ZAEZA 2

Vom HP 25 umgeschrieben auf den HP 41 können die beiden Programme wie folgt aussehen:

dabei bedeutet

I SOLL: Eingabe Übersetzungsverhältnis  
 F...%: Eingabe Toleranz in Prozent  
 P: Eingabe max. Zähnezahl  
 NO: Eingabe Startwert Ritzelzähnezahl  
 P Ausgabe prozentuale Abweichung  
 Z Ausgabe Summe Radzähnezahl  
 N Ausgabe Summe Ritzelzähnezahl

XEQ "ZAEZA 1"			XEQ "ZAEZA 1"		
PRGM	ZAEZA	1	PRGM	ZAEZA	1
I SOLL:	5.35	RUN	I SOLL:	3.2700	RUN
F...%:	2.5	% RUN	F...%:	2.5000	% RUN
P:-0.31%,Z:N16:3			P:1.94%,Z:N10:3		
P:-1.87%,Z:N21:4			P:-0.61%,Z:N13:4		
P:0.93%,Z:N27:5			P:-2.14%,Z:N16:5		
P:1.47%,Z:N38:7			P:0.48%,Z:N23:7		
P:-1.20%,Z:N37:7			P:-1.46%,Z:N29:9		
P:0.47%,Z:N43:8			P:0.92%,Z:N33:10		
P:1.77%,Z:N49:9			P:0.08%,Z:N36:11		
P:-2.39%,Z:N47:9			P:1.15%,Z:N43:13		
P:-0.93%,Z:N53:10			P:-1.20%,Z:N42:13		
P:1.95%,Z:N60:11			P:-1.70%,Z:N45:14		
P:0.25%,Z:N59:11			P:-0.10%,Z:N49:15		
P:-1.44%,Z:N58:11			P:1.30%,Z:N53:16		
P:1.25%,Z:N65:12			P:0.74%,Z:N56:17		
P:2.08%,Z:N71:13			P:-1.06%,Z:N55:17		
P:0.65%,Z:N70:13			P:0.24%,Z:N59:18		
P:-0.79%,Z:N69:13			P:1.40%,Z:N63:19		
P:-2.23%,Z:N68:13			P:-0.21%,Z:N62:19		
P:0.13%,Z:N75:14			P:-1.82%,Z:N61:19		
P:2.18%,Z:N82:15			P:2.45%,Z:N67:20		
P:-1.56%,Z:N79:15			P:-0.98%,Z:N68:21		
P:1.64%,Z:N87:16			P:-2.43%,Z:N67:21		
P:-0.70%,Z:N85:16			P:1.47%,Z:N73:22		
P:2.25%,Z:N93:17			P:-1.31%,Z:N71:22		
P:1.15%,Z:N92:17			P:2.38%,Z:N77:23		
P:0.05%,Z:N91:17			P:1.05%,Z:N76:23		
P:-1.04%,Z:N90:17			P:-0.20%,Z:N75:23		
P:-2.14%,Z:N89:17			P:-1.61%,Z:N74:23		
P:0.73%,Z:N97:18			P:0.66%,Z:N79:24		
P:-1.35%,Z:N95:18			P:-1.89%,Z:N77:24		
P:2.31%,Z:N104:19			P:1.53%,Z:N83:25		
P:1.33%,Z:N103:19			P:0.31%,Z:N82:25		

## ZAEZA 2 - Ausdruck für Beispiel [1],[2]

```

XEQ "ZAEZA 2"
PRGM ZAEZA 2
I SOLL:
      132.5  RUN
F ...%:
      .02   %
              RUN
P:
      50    RUN
N0:
      1     RUN

```

Z:N=2783:21 P=0.02 % Z=11*11*23 N=3*7	Z:N=5168:39 P=0.01 % Z=2*2*2*2*17*19 N=3*13	Z:N=8613:65 P=0.01 % Z=3*3*3*11*29 N=5*13	Z:N=12586:95 P=-0.01 % Z=2*7*29*31 N=5*19
Z:N=3712:25 P=-0.02 % Z=2*2*2*2*3*3*23 N=5*5	Z:N=5301:40 P=0.02 % Z=3*3*19*31 N=2*2*2*5	Z:N=9009:68 P=-0.01 % Z=3*3*7*11*13 N=2*2*17	Z:N=12987:98 P=0.02 % Z=3*3*3*13*37 N=2*7*7
Z:N=4107:31 P=-0.01 % Z=3*37*37 N=31	Z:N=5698:43 P=0.01 % Z=2*7*11*37 N=43	Z:N=9541:72 P=0.01 % Z=7*29*47 N=2*2*2*3*3	Z:N=13120:99 P=0.02 % Z=2*2*2*2*2*5*41 N=3*3*11
Z:N=4902:37 P=-0.01 % Z=2*3*19*43 N=37	Z:N=5831:44 P=0.02 % Z=7*7*7*17 N=2*2*11	Z:N=11264:85 P=0.01 % Z=2*2*2*2*2*2*2*2*2*2*11 N=5*17	Z:N=13912:105 P=-3.59E-3 % Z=2*2*2*37*47 N=3*5*7
		Z:N=11661:88 P=0.01 % Z=3*13*13*23 N=2*2*2*11	Z:N=15500:117 P=-0.02 % Z=2*2*5*5*5*31 N=3*3*13

## Programmliste ZAEZA 1

01*LBL "ZAEZA 1"	18 ST+ 05	35 RCL 06	52 RCL 05
02 SF 12	19 RCL 05	36 ENTER↑	53 /
03 *PRGM ZAEZA 1*	20 RCL 01	37 RCL 05	54 %CH
04 AVIEW	21 *	38*LBL 05	55 FIX 2
05 CF 12	22 INT	39 MOD	56 "P:"
06 CLRG	23 STO 06	40 X=0?	57 ARCL X
07 "I SOLL: "	24 GTO 03	41 GTO 06	58 "+Z:N"
08 PROMPT	25*LBL 02	42 LASTX	59 FIX 0
09 STO 00	26 1	43 X<Y	60 CF 29
10 STO 01	27 ST- 06	44 GTO 05	61 ARCL 06
11 STO 02	28*LBL 03	45*LBL 06	62 "+ "
12 "F...%:"	29 RCL 06	46 LASTX	63 ARCL 05
13 PROMPT	30 RCL 05	47 1	64 SF 29
14 ST- 00	31 RCL 00	48 X*Y?	65 FIX 4
15 ST+ 01	32 *	49 GTO 02	66 AVIEW
16*LBL 00	33 X>Y?	50 RCL 02	67 GTO 02
17 1	34 GTO 00	51 RCL 06	68 END

## Programmliste ZAEZA 2

01*LBL "ZAEZA 2"	51*LBL 04	101 STO 06
02 SF 12	52 X>Y?	102 RCL 09
03 *PRGM ZAEZA 2"	53 X<Y	103 STO 05
04 AVIEW	54 -	104 GTO 01
05 CF 12	55 LASTX	105*LBL 05
06 CF 01	56*LBL 03	106 1
07 CF 29	57 X*Y?	107 2
08 FIX 0	58 GTO 04	108 RCL 03
09 "I SOLL:"	59 1	109 RCL 04
10 PROMPT	60 X*Y?	110 X<Y?
11 STO 00	61 GTO 01	111 GTO 01
12 STO 01	62 STO 03	112 RDN
13 STO 02	63 XEQ 05	113 X<=Y?
14 "F ...%:"	64 "Z:N="	114 RDN
15 PROMPT	65 ARCL 06	115 RDN
16 ST- 00	66 "+:"	116 ST+ 03
17 ST+ 01	67 ARCL 05	117*LBL 06
18 "P:"	68 AVIEW	118 RCL 07
19 PROMPT	69 "P="	119 RCL 03
20 STO 04	70 RCL 02	120 /
21 "N0:"	71 RCL 06	121 FRC
22 PROMPT	72 RCL 05	122 X#0?
23 1	73 /	123 GTO 05
24 -	74 %CH	124 FC? 01
25 STO 05	75 FIX 2	125 GTO 07
26 CLA	76 ARCL X	126 ARCL 03
27*LBL 00	77 "I %"	127*LBL 07
28 1	78 AVIEW	128 LASTX
29 ST+ 05	79 FIX 0	129 STO 07
30 RCL 05	80 SF 01	130 1
31 RCL 01	81 RCL 06	131 X*Y?
32 *	82 STO 07	132 GTO 08
33 INT	83 STO 08	133 RTN
34 STO 06	84 1	134*LBL 08
35 GTO 02	85 STO 03	135 "I*"
36*LBL 01	86 "Z="	136 GTO 06
37 1	87 XEQ 05	137 .END.
38 ST- 06	88 AVIEW	
39 STO 03	89 RCL 05	
40*LBL 02	90 STO 07	
41 RCL 00	91 STO 09	
42 RCL 05	92 1	
43 *	93 STO 03	
44 RCL 06	94 "N="	
45 X<Y?	95 XEQ 05	
46 GTO 00	96 AVIEW	
47 STO 07	97 CLD	
48 RCL 05	98 ADV	
49 ST* 07	99 CF 01	
50 GTO 03	100 RCL 08	

## Literaturangabe

- [ 1 ] W.Sewering und P.Sarreither:  
Bestimmung von Zähnezahlen bei Getrieben mit vorgegebenem Übersetzungsverhältnis  
ant "antriebstechnik" 16 (1977) Nr. 6 , S.374-375
- [ 2 ] W. Frangen und F. Heimann:  
Bestimmung der Zähnezahlen bei Getrieben mit vorgegebenem Übersetzungsverhältnis. Zwei Taschenrechner-Programme  
ant "antriebstechnik" 17 (1978) Nr. 6, S. 276-279
- [ 3 ] W. Richter:  
Auslegung profilverschobener Außenverzahnungen  
Konstruktion 14 (1962) Heft 5

## Druckfederberechnung, FX-602 P

von Peter Dahms

Das im Folgendem beschriebene Taschenrechnerprogramm soll den Entwurf und die Berechnung von zylindrischen Schraubenfedern aus runden Drähten, beim Vorgehen nach DIN 2089/1 vereinfachen. Die NORM ist die Grundlage dieses Programms, die Formeln sind ihr entnommen und der Rechenablauf hält sich an deren Vorschläge. Es können sowohl Druckfedern mit ruhender, bzw. selten wechselnder Belastung, sowie auch Druckfedern mit schwingender Belastung berechnet werden.

Die zulässigen Spannungen können sowohl der DIN 2089/1 als auch der DIN 17 223 und weiteren entnommen werden. Das Programm wurde mit Daten der DIN 2098/1 und /2 getestet und ergab dabei ausreichende Übereinstimmung der Werte. Für die fertigungstechnische Vervollständigung der Daten und Toleranzen usw. sind die einschlägigen DIN - Normen in der jeweils neuesten Ausgabe zugrunde zu legen.

Für das Programm wurden zwei Versionen erstellt :

- DRF 1 - für die Arbeit mit dem Rechner ohne Drucker,
- DRF 2 - für die Arbeit mit Rechner und Drucker FP - 10.

Die F i g. 1 zeigt den Bedienungsablauf für das Programm DRF 1 ohne Druckerbenutzung. Die Eingabewerte und die Ergebnisse sind die gleichen wie in der F i g. 4 bei der Berechnung mit Drucker protokolliert. Die F i g. 2 und F i g. 3 zeigen die Listings der beiden Programmversionen und die F i g. 4 bis F i g. 7 zeigen den Ausdruck von vier Musterbeispielen. Die F i g. 8 zeigt den Ausschnitt eines Rechenformulars mit der Angabe der benutzten Bezeichnungen und Einheiten.

Bei der Berechnung sind die in DIN 2089/1 gemachten Einschränkungen zu beachten, das Programm sollte deshalb nur neben dem Normblatt verwendet werden und bei Änderungen sollten auch dort die Formeln nachgeschlagen werden.

Programm DRF\_1\_Bedienungsablauf :

<u>Tastenbetätigung</u>	<u>Anzeige</u>	<u>Eingabebeispiel</u>
PO →	" F * 1 (N) : ? "	∅
EXE →	" F * 2 (N) : ? "	32,5
EXE →	"Delta f / f*2 "	1,7 (mm)
EXE →	"D * a ( mm )? "	4,8
EXE →	"G (N/mm2) : ? "	83 ∅∅∅
EXE →	" t, zul : ? "	1 ∅∅∅ (N/mm2)
EXE →		
/ Es folgt ein Iterationsablauf für den Drahtdurchmesser, ergibt sich ein Durchmesser, der nicht ein Wickelverhältnis zwischen 4 und 11 ermöglicht, so verzweigt das Programm zurück und fragt wieder nach einem D + a - Wert und läuft dann ab dort weiter. G und t, zul können neu eingegeben oder durch EXE bestätigt werden. /		
/ sonst : /		
→	" d : ∅,781 EXE "	
EXE →	" d * NORM EXE "	∅,8
EXE →	" i * f : 3,5 "	
EXE →	" f * 2 : 1,7 "	
EXE →	"L * Bl : 4 "	
EXE →	" Spannungen vorh (N/mm2) "	
	" tauκ * 2 = 836 "	
EXE →	" ENDE-- P∅ "	
/ Für einen neuen Rechenablauf muß wieder PO gedrückt werden. /		
/ Bei der Eingabe von zwei Kräften P <sub>1</sub> und P <sub>2</sub> für schwingende Belastung werden am Schluß zusätzlich die Spannungen tauκ <sub>h</sub> und tauκ * 1 nach EXE ausgegeben. /		

Fig. 1 Programm DRF 1, Bedienungsablauf.

```

PROGRAM LIST
M00-19,F-1F 512steps
FILE : DRF1

*** P0
MAC
LBL0
"Druckfeder"
PAUSE
"F*1(N): ?"
HLT Min00
"F*2(N): ?"
HLT Min01
"Delta f/f*2"
HLT Min02
LBL3
MR10
PAUSE
"D*a(mm) ?"
HLT Min03
MR04
"G(N/mm2):?"
HLT Min04
MR05
"t,zul: ?"
HLT Min05
(MR01 ÷ 10 × MR03 ×
500 ÷ MR05 ) xy 3 x
.375 = FIX3 Min07

Min00
LBL1
GSBP2
4 - MR10 = x≥0 GOTO3
MR10 - 11 = x≥0
GOTO3
GSBP3
GSBP4
" ar07 : ar08 "
PAUSE
MR07 - MR08 = x≥0
GOTO2
MR07 FIX3 Min08 + .0
1 × MR08 = FIX3
Min07 GOTO1
LBL2
"d: ar08 EXE"
HLT
"d*NORM EXE"
HLT Min08
GSBP2
GSBP3
MR08 xy 4 × MR04 ×
MR02 ÷ MR09 xy 3 ÷ 8
÷ ( MR01 - MR08 ) =
+ .5 = INT + .5 =
Min12
"j*f: ar12 "
HLT

MR01 × MR02 ÷ ( MR01
- MR08 ) = FIX2
Min14
"f*2: ar14 mm"
HLT
MR11 × 8 ÷ π × MR09
÷ MR08 xy 3 = Min13
( MR12 + 2 ) × MR08
+ .5 = INT Min19
"L*B1: ar19 mm"
...087steps
HLT
MR19 + ( .3 × MR08 ×
MR12 ) + MR14 = FIX1
Min15
"L*o: ar15 mm"
HLT
GSBP1
"ENDE→ P0 "
...335steps

*** P1
"Spannunen"
PAUSE
"vorh(N/mm2)"
PAUSE
MR13 × MR01 = FIX0
Min16
"tauk*2= ar16 "
HLT

MR13 × MR00 = FIX0
Min17 x=0 GOTO9
"tauk*1= ar17 "
HLT
MR16 - MR17 = Min18
"tauk*h= ar18 "
HLT
LBL9
...087steps

*** P2
MR03 - MR08 = Min09
÷ MR08 = Min10
...010steps

*** P3
1 + 1.25 ÷ MR10 + .8
75 ÷ MR10 x2 + 1 ÷
MR10 xy 3 = Min11
...025steps

*** P4
( MR11 × 7.5 × MR01
× MR03 ÷ π ÷ MR05 )
xy 3 = FIX3 Min08
...022steps
    
```

Fig. 2 Programmlisting DRF 1.

```

PROGRAM LIST
M00-19,F-1F 512steps
FILE : DRF2

*** P0
MAC
LBL0
"Druckfeder"
GSBP9
"F*1(N): ?"
GSBP9
HLT
GSBP9
Min00
"F*2(N): ?"
GSBP9
HLT
GSBP9
Min01
"Delta f/f*2"
GSBP9
HLT
GSBP9
Min02
LBL3
MR10
PAUSE
"D*a(mm) ?"
GSBP9
HLT
GSBP9
Min03
MR04
"G(N/mm2):?"
GSBP9
HLT
GSBP9
Min04
MR05
"t,zul: ?"
GSBP9
HLT
GSBP9
Min05
(MR01 ÷ 10 × MR03 ×
500 ÷ MR05 ) xy 3 x
.375 = FIX3 Min07

Min04
MR05
"t,zul: ?"
GSBP9
HLT
GSBP9
Min05
( MR01 ÷ 10 × MR03 ×
500 ÷ MR05 ) xy 3 x
.375 = FIX3 Min07

Min08
LBL1
GSBP2
4 - MR10 = x≥0 GOTO3
MR10 - 11 = x≥0
GOTO3
GSBP3
GSBP4
" ar07 : ar08 "
GSBP9
MR07 - MR08 = x≥0
GOTO2
MR07 FIX3 Min08 + .0
1 × MR08 = FIX3
Min07 GOTO1
LBL2
"d: ar08 EXE"
GSBP9
"d*NORM EXE"
HLT
GSBP9
Min08
MR08 xy 4 × MR04 ×
MR02 ÷ MR09 xy 3 ÷ 8
÷ ( MR01 - MR08 ) =
+ .5 = INT + .5 =
Min12
"j*f: ar12 "
GSBP9
...356steps

*** P1
" "
GSBP9
"Spannunen"
GSBP9
"vorh(N/mm2)"
GSBP9

+ .5 = INT + .5 =
Min12
"j*f: ar12 "
GSBP9
MR01 × MR02 ÷ ( MR01
- MR08 ) = FIX2
Min14
"f*2: ar14 mm"
GSBP9
MR11 × 8 ÷ π × MR09
÷ MR08 xy 3 = Min13
( MR12 + 2 ) × MR08
+ .5 = INT Min19
"L*B1: ar19 mm"
GSBP9
MR19 + ( .3 × MR08 ×
MR12 ) + MR14 = FIX1
Min15
"L*o: ar15 mm"
GSBP9
"ENDE→ P0 "
...335steps

*** P2
" "
GSBP9
MR13 × MR01 = FIX0
Min16
"tauk*2= ar16 "
GSBP9
MR13 × MR00 = FIX0
Min17 x=0 GOTO9
"tauk*1= ar17 "
GSBP9
MR16 - MR17 = Min18
"tauk*h= ar18 "
GSBP9
LBL9
" "
GSBP9
...095steps

*** P2
MR03 - MR08 = Min09
÷ MR08 = Min10
...010steps

*** P3
1 + 1.25 ÷ MR10 + .8
75 ÷ MR10 x2 + 1 ÷
MR10 xy 3 = Min11
...025steps

*** P4
( MR11 × 7.5 × MR01
× MR03 ÷ π ÷ MR05 )
xy 3 = FIX3 Min08
...022steps

*** P9
SAVE invEXE
...003steps
    
```

Fig. 3 Programmlisting DRF 2.

Druckfeder  
 $F \cdot 1(N): ?$   
 $F \cdot 2(N): ?$   
 $\Delta f / f \cdot 2$   
 $D \cdot a(mm) ?$   
 $G(N/mm^2): ?$   
 $t, z_{ul}: ?$   
 $d: 0.781 \text{ EXE}$   
 $d \cdot \text{NORM EXE}$   
 $i \cdot f: 3.5$   
 $f \cdot 2: 1.7mm$   
 $L \cdot B1: 4mm$   
 $L \cdot o: 6.5mm$   
 Spannungen  
 vorh(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau_{auk} \cdot 2 = 836$   
 ENDE  $\rightarrow P_0$

Fig. 4  
 Musterlösung 1  
 ( auch für  
 DRF 1 ).

Druckfeder  
 $F \cdot 1(N): ?$   
 $F \cdot 2(N): ?$   
 $\Delta f / f \cdot 2$   
 $D \cdot a(mm) ?$   
 $G(N/mm^2): ?$   
 $t, z_{ul}: ?$   
 $d: 1.132 \text{ EXE}$   
 $d \cdot \text{NORM EXE}$   
 $i \cdot f: 7.5$   
 $f \cdot 2: 25mm$   
 $L \cdot B1: 10mm$   
 $L \cdot o: 37.5mm$   
 Spannungen  
 vorh(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau_{auk} \cdot 2 = 948$   
 ENDE  $\rightarrow P_0$

Fig. 5  
 Musterlösung 2.

Druckfeder  
 $F \cdot 1(N): ?$   
 $F \cdot 2(N): ?$   
 $\Delta f / f \cdot 2$   
 $D \cdot a(mm) ?$   
 $G(N/mm^2): ?$   
 $t, z_{ul}: ?$   
 $d: 1.167 \text{ EXE}$   
 $d \cdot \text{NORM EXE}$   
 $i \cdot f: 20.5$   
 $f \cdot 2: 46mm$   
 $L \cdot B1: 28mm$   
 $L \cdot o: 81.7mm$   
 Spannungen  
 vorh(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau_{auk} \cdot 2 = 747$   
 $\tau_{auk} \cdot 1 = 650$   
 $\tau_{auk} \cdot h = 97$   
 ENDE  $\rightarrow P_0$

Fig. 6  
 Musterlösung 3.

Druckfeder  
 $F \cdot 1(N): ?$   
 $F \cdot 2(N): ?$   
 $\Delta f / f \cdot 2$   
 $D \cdot a(mm) ?$   
 $G(N/mm^2): ?$   
 $t, z_{ul}: ?$   
 $d: 0.291 \text{ EXE}$   
 $d \cdot \text{NORM EXE}$   
 $i \cdot f: 64.5$   
 $f \cdot 2: 45mm$   
 $L \cdot B1: 28mm$   
 $L \cdot o: 78.8mm$   
 Spannungen  
 vorh(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau_{auk} \cdot 2 = 879$   
 $\tau_{auk} \cdot 1 = 762$   
 $\tau_{auk} \cdot h = 117$   
 ENDE  $\rightarrow P_0$

Fig. 7  
 Musterlösung 4.

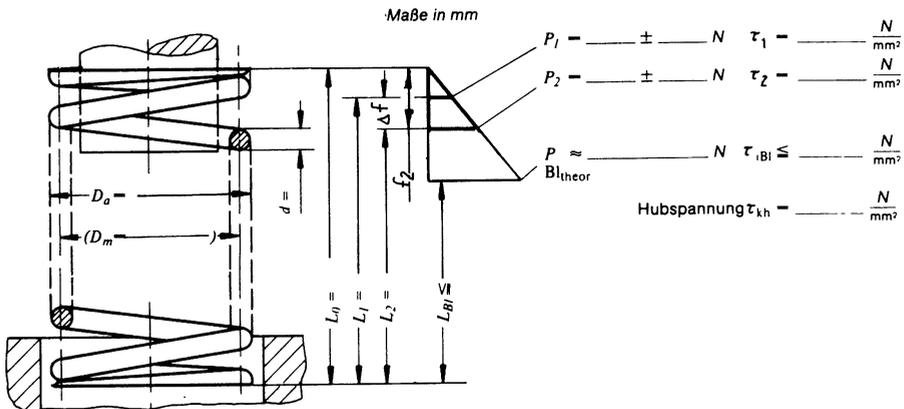


Fig. 8 Rechenformular ( Ausschnitt ) u. Bezeichnungen.

Literatur

- [1] DIN 2089 Bl.1, Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten und Stäben, Berechnung und Konstruktion v. Druckfedern.
- [2] DIN 2095, Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten, Gütevorschriften für kaltgeformte Federn.
- [3] DIN 2098 Bl.1 und Bl.2, Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten, Baugrößen ab .5 mm/ unter .5 mm.
- [4] DIN 2099 Bl.1, Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten und Stäben, Angaben für Druckfedern, Vordruck.
- [5] DIN 17 223 Bl.1 und Bl.2, Runder Federstahldraht, Gütevorschriften.
- [6] Tochtermann/Bodenstein, Konstruktionselemente des Maschinenbaus, Teil 1 , Springer-Verlag Bln. Hdbg. New York 1979 S.180 b. 202.  
( Als Beispiel für viele andere Maschinenelementebücher ).

zu [1] bis [5]: Maßgebend ist jeweils die neueste Ausgabe der Normen, erhältlich beim BEUTH-VERTRIEB GmbH Bln.,Köln,Ffm.

## Räderkurbelgetriebe, FX-602 P

von Peter Dahms

Das Räderkurbelgetriebe besteht aus der Kombination einer Viereckenkurbelschwinge mit drei Zahnrädern. Es wird deshalb auch als Dreiräder-Getriebe bezeichnet. Es ermöglicht die relativ einfache Umwandlung einer gleichförmigen Antriebsbewegung in eine Abtriebsbewegung mit ungleichförmigem Abtriebswinkel, in eine Abtriebsbewegung mit angenäherter Rast oder in eine Abtriebsbewegung mit einer Pilgerschrittbewegung, d.h. mit zeitweisem Rücklauf.

Diese Art von Getrieben wird oftmals in der Verpackungs-, Papier- oder Textilmaschinen-Konstruktion benötigt. Über das Gebiet der Räderkurbelgetriebe gibt es seit Jahrzehnten umfangreiche Untersuchungen und Veröffentlichungen, einen kleinen Ausschnitt zeigen die Literaturhinweise.

Das folgende Programm dient der Optimierung von Getrieben obiger Art für den Abtrieb im Pilgerschritt oder mit angenäherter Rast. Um praktisch verwertbare Getriebe zu erhalten wird das Programm in den folgenden Grenzen verwendet :

- Für die Kurbellänge  $l_2$  soll ein Wert zwischen .15 und .5 gewählt werden,
- die maximale Rückdrehung liegt im Bereich von  $0^\circ$  bis etwa  $120^\circ(\alpha_p)$ ,
- diese Rückdrehung liegt in einem maximalem Antriebswinkelbereich von  $0^\circ$  bis etwa  $135^\circ(\varphi_p)$ ,
- die Schwingenlänge  $l_3 = l_4$  hat Werte zwischen .7072 und .82,
- die Gestellänge  $l_1$  wird 1 gesetzt.

Die Gestellänge als Konstante Größe eins ermöglicht die Umrechnung der Ergebnisse über einen konstanten Faktor, linear auf realistische Größen und damit auch die Anpassung an ganzzahlige Zähnezahlen für die Zahnräder  $r_3 = r_6$  sowie dem Zwischenrad  $r_5$ . Geeignete Anfangswerte können auch aus den Kurven der Literatur [1] [5] entnommen werden.

Als Hardware für dieses Programm sind der Taschenrechner CASIO FX 602 P, der Drucker FP-10 und für die Aufzeichnung und zum Einlesen, der Adapter FA 1 und ein geeigneter Kassetten-Rekorder erforderlich.

Nach dem Einlesen bzw. dem Eintippen des Programms und dem Anschluß des Druckers kann das Programm durch Drücken der Taste PO gestartet werden. Es wird die Eingabe des gewünschten Kurbelradius  $l_2$  und des Antriebswinkels  $\varphi_p$ , über den die Rast oder die Rückdrehung erfolgen soll gefordert. Nach der Eingabe und Drücken von EXE erfolgt der Ausdruck der berechneten Konstruktionswerte und die Größe der Rückdrehung. Eine angenäherte Rast heißt immer, daß ein sehr kleiner Rückdrehwinkel verbleibt.

Der Rechner fragt nun, ob die Ausgangswerte noch einmal neu eingelesen werden sollen, wenn die Rückdrehung z.B. nicht ausreichend ist, in diesem Falle GOTO 0 drücken, sonst EXE drücken.

Der Rechner erwartet nun eine Anpassung d.h. Neueingabe der Schwingen- und der Koppellänge  $l_3 = l_4$  um z.B. ganzzahlige Zähnezahlen zu erhalten. Die Eingabe des Wertes und drücken von EXE veranlaßt den Rechner, die endgültigen Werte zu errechnen und anschließend auszudrucken. Danach erfolgt der Ausdruck einer vereinfachten Übertragungskurve für einen Antriebswinkel von  $90^\circ$  bis  $360^\circ$  um den Vergleich zwischen verschiedenen Getrieben zu ermöglichen.

Als Abschluß listet der Drucker tabellarisch, die Übertragung eines vollen Antriebszyklusses von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ , in Schritten von  $18^\circ$  und den zugehörigen Abtriebswinkel auf.

Da die Kapazität des Rechners mit diesem Programm voll ausgelastet ist, kann bei Behalt der Konstruktionswerte im Datenspeicher, ein weiteres Programm eingelesen werden, um z.B. die Werte für maximale Geschwindigkeit und Beschleunigung zu errechnen und als Daten oder als Kurve auszudrucken. Die erforderlichen Formeln dafür finden sich in der angegebenen Literatur.

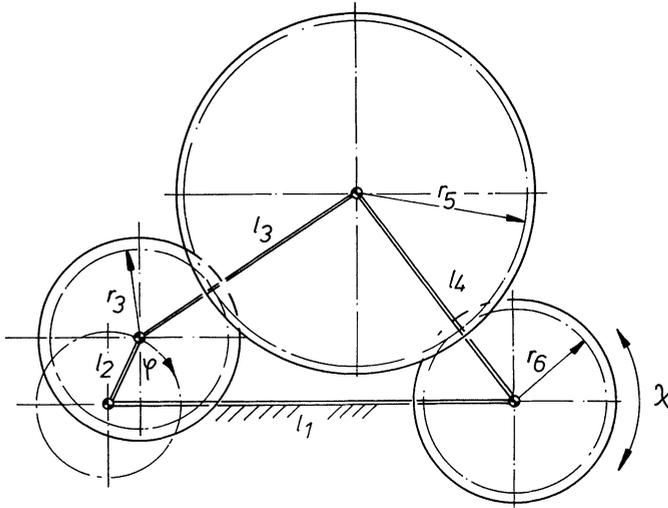


Fig. 1 Räderkurbelgetriebe

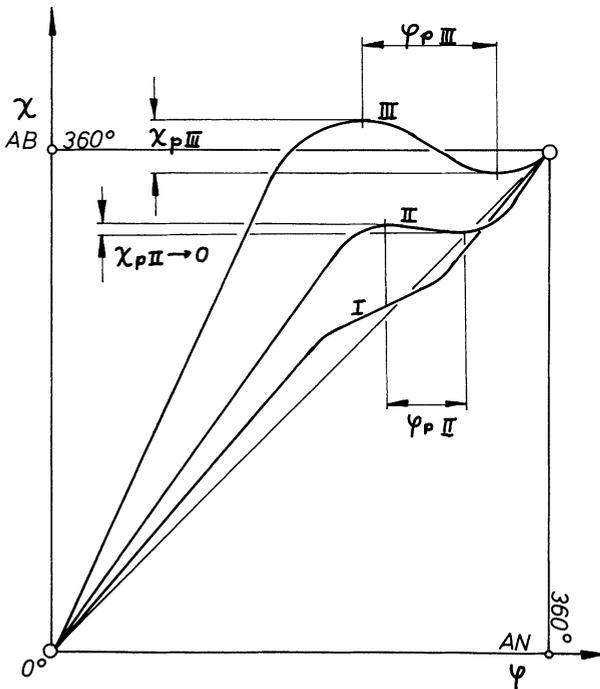


Fig. 2 Übertragungskurven

- I. Ungleichförmiger Abtrieb,
- II. Abtrieb mit Rast,
- III. Abtrieb mit Pilgerschritt.

```

PROGRAM LIST
N00-19,F-1F 512steps

*** P0
"RAD*KUR"
GSBP2
GSBP1
"r*/6=#"
GSBP2
GSBP5
"Phi*p=#"
GSBP2
GSBP4
"Chi*p=#"
GSBP2
" "
GSBP2
GSBP2
90 Min18
LBL2
GSBP6
- 120 = x .063 = INT
MinF
GSBP8
378 - MR18 = x=0
GOTO3
18 M+18 GOTO2
LBL3
0 Min18
LBL4
GSBP6
FIX2
" ar18 /#"
GSBP2
18 M+18
MR18 - 378 = x=0
GOTO5
GOTO4
LBL5
...231steps

( MR02 x^2 x 2 - 1 )
{ = Min01 FIX4
"i*2=#"
GSBP2
GSBP1
"r*/6=#"
GSBP2
GSBP5
"Phi*p=#"
GSBP2
GSBP4
"Chi*p=#"
GSBP2
" "
GSBP2
GSBP2
90 Min18
LBL2
GSBP6
- 120 = x .063 = INT
MinF
GSBP8
378 - MR18 = x=0
GOTO3
18 M+18 GOTO2
LBL3
0 Min18
LBL4
GSBP6
FIX2
" ar18 /#"
GSBP2
18 M+18
MR18 - 378 = x=0
GOTO5
GOTO4
LBL5
...231steps

*** P1
( MR01 x^2 Min14 + 1
) x ( MR04 cos Min15
+ 1 ) ÷ ( 1 + MR14
x^2 + MR14 x 2 x MR15
) = f x MR01 = Min03
FIX4
...037steps

*** P2
SAVE invEXE
...003steps

*** P3
( ( MR01 x^2 + 1 ) ÷
2 ) f = Min02 FIX4
...016steps

*** P4
MR01 x^2 + 1 = Min12
x 2 = f ÷ MR03 x (
MR01 x 2 ÷ MR12 x (
MR04 ÷ 2 ) sin )
sin^-1 - MR04 = Min05
FIX4
...035steps

*** P5
( MR03 x^2 x ( 1 +
MR01 x^2 x^2 ) - MR01
x^2 x ( 1 + MR01 x^2 )
) ÷ ( MR01 x^2 x ( 2
x MR03 x^2 + ( 1 +
MR01 x^2 ) ) ) = cos^-1
Min04 FIX4
...047steps

*** P6
( ( MR01 ÷ MR02 x^2 )
sin^-1 - ( MR01 ÷ MR02
x^2 x MR18 cos ) sin^-1
) x MR02 ÷ MR03 +
MR18 =
...028steps

*** P8
x=0 GOTO0
10 x=F GOTO1
GOTO2
LBL0
"#"
GSBP2
GOTO3
LBL1
" "
GSBP2
GOTO3
LBL2
GSBP9
LBL3
...033steps

*** P9
" "
MRF Min00
10 x=F GOTO0
" "
MRF - 10 = Min00
LBL0
IND GOTO0
LBL9
" "
LBL8
" "
LBL7
" "
LBL6
" "
LBL5
" "
LBL4
" "
LBL3
" "
LBL2
" "
LBL1
"#"
GSBP2
...078steps

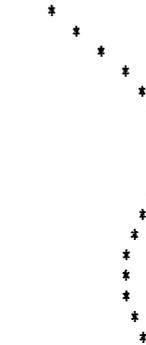
```

Fig. 3 Befehlsliste

RAD\*KUR  
 \*\*\*  
 l\*2=0.2  
 Phi\*p=120  
  
 l\*3/4=0.7211  
 r\*3/6=0.1471  
 Chi\*p=70.7902  
  
 l\*3/4=0.72  
 l\*2=0.1918  
 r\*3/6=0.1406  
 Phi\*p=117.5970  
 Chi\*p=71.3452

RAD\*KUR  
 \*\*\*  
 l\*2=0.25  
 Phi\*p=50  
  
 l\*3/4=0.7289  
 r\*3/6=0.3172  
 Chi\*p=2.7190  
  
 l\*3/4=0.73  
 l\*2=0.2565  
 r\*3/6=0.3253  
 Phi\*p=64.5430  
 Chi\*p=2.3047

RAD\*KUR  
 \*\*\*  
 l\*2=0.3  
 Phi\*p=40  
  
 l\*3/4=0.7382  
 r\*3/6=0.3088  
 Chi\*p=1.2080  
  
 l\*3/4=0.74  
 l\*2=0.3085  
 r\*3/6=0.3993  
 Phi\*p=65.1299  
 Chi\*p=0.3083



0/0.00  
 18/23.70  
 36/58.01  
 54/100.87  
 72/149.57  
 90/201.19  
 108/252.81  
 126/301.51  
 144/344.38  
 162/378.69  
 180/402.38  
 198/414.69  
 216/416.38  
 234/409.51  
 252/396.81  
 270/381.19  
 288/365.57  
 306/352.87  
 324/346.81  
 342/347.70  
 360/360.00



0/0.00  
 18/21.43  
 36/49.14  
 54/81.69  
 72/117.38  
 90/154.58  
 108/191.78  
 126/227.46  
 144/260.81  
 162/287.72  
 180/309.15  
 198/323.72  
 216/332.01  
 234/335.46  
 252/335.78  
 270/334.58  
 288/333.38  
 306/333.69  
 324/337.14  
 342/345.43  
 360/360.00



0/0.00  
 18/21.51  
 36/49.30  
 54/81.71  
 72/116.97  
 90/153.56  
 108/190.14  
 126/225.40  
 144/257.82  
 162/285.61  
 180/307.12  
 198/321.61  
 216/329.82  
 234/333.40  
 252/334.14  
 270/333.56  
 288/332.97  
 306/333.71  
 324/337.30  
 342/345.51  
 360/360.00

Fig. 4 Ausdruck der Kontrollwerte

Literatur

- [1] Berechnung von Räderkurbelgetrieben, TGL 8959, Bl.4 10.61 (DDR)
- [2] Hain, K. ;Relativ-Winkelbeschleunigungen in Gelenkgetrieben und in Räderkurbelgetrieben. Werkst.+Betr. 105(1972)2, S.91/96.
- [3] Autorenkollektiv, Hrsgb.Vollmer, J. ;Getriebetechnik, Lehrbuch; VEB Verlag Technik, Berlin(Ost), 2.Aufl.1972, S. 182 ff.
- [4] Autorenkollektiv, Hrsgb.Vollmer, J. ;Getriebetechn., Koppelgetr.; VEB Verlag Technik, Berlin(Ost), 1.Aufl.1979, S. 335 ff.
- [5] Lohse, P. ;Getriebesynthese; Springer Verlag 1975, S. 160 ff.
- [6] Knechtel, P. ;Die Bewegungsverhältnisse in Dreirädergetrieben, Reuleaux-Mitteilungen Band 4 (1936) 4, S. 217/219.

Es werden folgende Formeln aus [4] verwendet :

$$r_3 = r_6 = l_2 \sqrt{(1+l_2^2) (1+\cos \varphi_p) / (1+l_2^4+2l_2^2 \cos \varphi_p)} \quad (1)$$

$$l_3 = l_4 = \sqrt{(l_2^2 + 1) / 2} \quad (2)$$

$$r_5 = l_3 - r_3 = l_4 - r_6 \quad (3)$$

$$\chi_p = (\sqrt{2(1+l_2^2)} / r_3) \arcsin ((2l_2/(1+l_2^2)(\sin \varphi_p/2))) - \varphi_p \quad (4)$$

$$l_2 = \sqrt{2 l_3^2 - 1} \quad (5)$$

$$\varphi_p = \arccos((r_3^2(1+l_2^4) - l_2^2(1+l_2^2))/(l_2^2(2r_3^2 + (1+l_2^2)))) \quad (6)$$

$$\chi(\varphi) = \varphi + (l_3 / r_3) (\arcsin (l_2 / l_3^2) - \arcsin(l_2 \cos \varphi / l_3^2)) \quad (7)$$



trieben mit Schubgelenken können in vielen Fällen sehr große Gliedlängen ersatzweise in die Berechnung eingegeben werden um damit diese Schubgelenke zu simulieren.

Als Hardwarekonfiguration sind erforderlich : der programmierbare Taschenrechner CASIO FX 602 P, ein Drucker CASIO FP-10, der Adapter FA - 1 oder FA - 2 und ein geeignetes Kassettengerät wie z.B. PHILIPS D 6600 oder ein baugleiches. Steht kein Drucker zu Verfügung, so ist das Unterprogramm P4 anstatt mit "(inv)SAVE inv EXE" nur mit "PAUSE" zu programmieren.

Nach Einlesen oder Eintippen des Programmes kann mit der Taste PO gestartet werden. Der Rechner fordert nun durch die Anzeige die erforderlichen Vorgabewerte und druckt sie nach der EINGABE und EXE auf dem Druckstreifen aus. Nach dem Abschluß der EINGABE berechnet der Rechner, bezogen auf den Antriebswinkel, den Schwingenwinkel und die Koordinaten des Koppelpunktes. Diese Werte werden zusammen mit dem Antriebswinkel, mit der gewählten Schrittweite, von dem gewählten Anfangswinkel an, auf dem Druckstreifen ausgedruckt. Zum Stoppen des Ausdrucks ist "AC" zu drücken.

Die in F i g. 2 dargestellte Speicherbelegung soll nur eine Hilfe bei der Modifikation des Programms sein, nach dem Start werden die Speicher selbständig vom Programm belegt.

S P E I C H E R B E L E G U N G			
M 00	$\varphi_n$ ===	===	M 10 $\Delta\varphi$ ===
M 01	$l_1$ ===	===	M 11 $k$ ===
M 02	$l_2$ ===	===	M 12 $\mathcal{L}$ ===
M 03	$l_3$ ===	===	M 13 .. $\sin z$ ==
M 04	$l_4$ ===	===	M 14 .. $\cos z =$ ==
M 05	... $f$ ===	===	M 15 .. ... ..
M 06	... ..	...	M 16 .. ... ..
M 07	$p_o$ ===	===	M 17 .. ... ..
M 08	$q_o$ ===	===	M 18 .. ... ..
M 09	$\eta$ ===	===	M 19 .. ... ..
M F	... $l_4$ $l_1$ $l_3$ $l_2$ ==	==	M 1F .. $l_1$ $l_4$ $l_2$ $l_3$ ==
für $z = \psi_s \bar{\psi}_s \psi_t \bar{\psi}_t$ ==		für $z = \psi_s \bar{\psi}_s \psi_t \bar{\psi}_t$ ==	

U N T E R P R O G R A M M E		
P0	"START"	Hauptprogramm.
P1	" EIN "	Eingabe im Dialog.
P2	" AUS "	Druckausgabe ( mit P9 ).
P3	" QUA "	Quadrantenbestimmung für $\psi_s$ und $\bar{\psi}_s$ .
P4	"PRINT"	Druckersteuerung ( ohne Drucker nur PAUSE )
P5	" SIN "	Sinusberechnung.
P6	" COS "	Cosinusberechnung.
P7	" F "	Berechnung von $f$ .
P8	" X; Y"	Berechnung von $x_k$ ; $y_k$ .
P9	" AUS "	Ausgabe von $p_k$ ; $q_k$ mit P2.

Fig. 2 Plan der Speicherbelegung und der Unterprogramme

```

PROGRAM LIST
M00-19,F-IF 512steps

*** P0
"KOP*KUR*4 6"
GSBP4
"*****"
GSBP4
MAC
GSBP1
LBL0
GSBP7
MR04 MinF
MR01 MinIF
GSBP5
GSBP6
GSBP3
Min15
MR01 MinF
MR04 MinIF
GSBP5
GSBP6
GSBP3
Min16
MR03 MinF
MR02 MinIF
GSBP6
cos1 Min13
MR02 MinF
MR03 MinIF
GSBP6
cos1 Min14
GSBP8
GSBP2
MR00 + MR10 = Min00
GOTO0
...065steps

*** P1
"l*1="
HLT Min01
" ; # "
GSBP4
"1*2="
HLT Min02
" ; # "
GSBP4
"1*3="
HLT Min03
" ; # "
GSBP4
"1*4="
HLT Min04
" ; # "
GSBP4
" "
GSBP4
"p*o="
HLT Min07
" ; # "
GSBP4
"q*o="
HLT Min08
" ; # "
GSBP4
" "
GSBP4
"eta="
HLT Min09
" ; # "
GSBP4
" "
GSBP4
"k ="
HLT Min11
" ; # "
GSBP4
" "
GSBP4
" "
GSBP4
"phi*a="
HLT Min00
" ; # "
GSBP4
"delta*phi="
HLT Min10
" ; # "
GSBP4
"*****"
GSBP4
...107steps

*** P2
" "
GSBP4
"phi MR00 0....."
" "
GSBP4
180 - MR15 - MR13 =
z>0 GOTO0
+ 360 =
LBL0
FIX2
"psi(phi)= # o"
GSBP4
GSBP9
...060steps

*** P3
MR13 z>0 GOTO4
GOTO5
LBL4
MR14 z>0 GOTO0
GOTO1
LBL5
MR14 z>0 GOTO2
GOTO1
LBL0
MR13 sin1 Min13
GOTO6
LBL1
MR13 sin1 +/- + 180
= Min13 GOTO6
LBL2
MR13 sin1 + 360 =
Min13 GOTO6
LBL6
...042steps

*** P4
SAVE invEXE
...003steps

*** P5
MR1F x MR00 sin ÷
MR05 = Min13
...009steps

*** P6
( MRF x2 + MR05 x2 -
MRF x2 ) ÷ ( 2 x
MRF x MR05 ) = Min14
...021steps

*** P7
( MR01 x2 + MR04 x2
- 2 x MR01 x MR04 x
MR00 cos ) ÷ = Min05
...020steps

*** P8
MR01 x MR00 cos - (
MR11 x ( MR00 + MR16
+ MR14 + MR12 ) cos
) = Min17
MR01 x MR00 sin - (
MR11 x ( MR00 + MR16
+ MR14 + MR12 ) sin
) = Min18
...043steps

*** P9
MR07 + MR17 x MR09
cos - MR18 x MR09
sin = FIX2
" p*k= # "
GSBP4
MR00 + MR17 x MR09
sin + MR18 x MR09
cos = FIX2
" q*k= # "
GSBP4
...053steps

```

Fig. 3 Anweisungsliste

KOP*KUR*4 6 **** l*1= 2 l*2= 5.5 l*3= 3 l*4= 4.5  p*o= 3 q*o= 1.5 eta= 15  k = 3 kappa = 15  phi*a= 0 delta*phi= 30 **** ..Phi 0 0..... Psi(phi)= 0.00 0 p*k= 7.53 q*k= 3.52	..Phi 30 0..... Psi(phi)= 24.67 0 p*k= 6.94 q*k= 4.53  ..Phi 60 0..... Psi(phi)= 48.83 0 p*k= 5.96 q*k= 5.17  ..Phi 90 0..... Psi(phi)= 71.87 0 p*k= 4.82 q*k= 5.32  ..Phi 120 0..... Psi(phi)= 92.81 0 p*k= 3.77 q*k= 4.97  ..Phi 150 0..... Psi(phi)= 110.28 0 p*k= 3.03 q*k= 4.29	..Phi 180 0..... Psi(phi)= 122.58 0 p*k= 2.69 q*k= 3.51  ..Phi 210 0..... Psi(phi)= 128.51 0 p*k= 2.73 q*k= 2.86  ..Phi 240 0..... Psi(phi)= 129.77 0 p*k= 3.09 q*k= 2.51  ..Phi 270 0..... Psi(phi)= 119.79 0 p*k= 3.68 q*k= 2.56	..Phi 300 0..... Psi(phi)= 101.49 0 p*k= 4.51 q*k= 3.08  ..Phi 330 0..... Psi(phi)= 64.39 0 p*k= 5.84 q*k= 3.04  ..Phi 360 0..... Psi(phi)= 0.00 0 p*k= 7.53 q*k= 3.52  ..Phi 390 0..... Psi(phi)= 24.67 0 p*k= 6.94 q*k= 4.53
--	---	--	--

Fig. 4 Ausgedruckte Kontrollwerte

Literatur

[1] Dittrich, Günter :  
Getriebetechnik in Beispielen, Oldenburg-Verlag, München 1978.

Es werden folgende Formeln aus [1] verwendet :

$$f = \sqrt{l_1^2 + l_4^2 - 2 l_1 l_4 \cos \varphi} \tag{1}$$

$$\cos z = ( l_x^2 + f^2 - l_y^2 ) / ( 2 l_x f ) \tag{2}$$

$$\sin z = ( l_y \sin \varphi ) / f \tag{3}$$

$$z = \psi_s; \bar{\psi}_s; \psi_t; \bar{\psi}_t;$$

x = 4	1	3	2
y = 1	4	2	3

$$\tag{4}$$

$$\psi(\varphi) = 180 - \psi_s - \psi_t \tag{5}$$

$$x_k(\varphi) = l_1 \cos \varphi - k \cos(\varphi + \bar{\psi}_s + \bar{\psi}_t + \alpha) \tag{6}$$

$$y_k(\varphi) = l_1 \sin \varphi - k \sin(\varphi + \bar{\psi}_s + \bar{\psi}_t + \alpha) \tag{7}$$

$$p_k(\varphi) = p_o + x_k \cos \eta - y_k \sin \eta \tag{8}$$

$$q_k(\varphi) = q_o + x_k \sin \eta + y_k \cos \eta \tag{9}$$

# Berechnung des Optimalen Platten- und Rippenabstandes bei freier Konvektion in Luft, FX-502 P

von G. Eckerle

## 1. ALLGEMEINES

Bei vielen Maschinen entsteht Wärme, die über Rippen - also über "parallele Platten" - an die Umgebung abgeführt werden muß. Andererseits wird auch Wärme ganz gezielt über parallele Platten an die Umgebung abgegeben, wie z.B. bei der Raumheizung. Aber ganz besonders bei der Wärmepumpe ist darauf zu achten, daß die Wärme bei sehr kleinen Temperaturdifferenzen übertragen wird.

Das hier vorliegende Rechenprogramm soll dem Konstrukteur eine Möglichkeit in die Hand geben, schnell, leicht und überschlägig die nötigen Konstruktionsabmessungen zu ermitteln.

In ruhender Luft läßt sich bei vorgegebener (mittlerer) Übertemperatur (ca. 10 K bis 100 K), vorgegebener Rippendicke und Rippenhöhe der optimale lichte Rippenabstand bzw. Plattenabstand berechnen.

## 2. LÖSUNGSWEG

Die Berechnung geht auf Elenbaas [1] zurück und lautet gemäß Bild 1

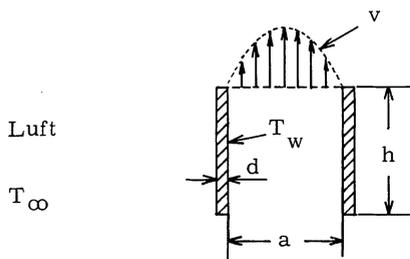


Bild 1

Anordnung und Abmessungen der Platten, die eine Oberflächentemperatur  $T_w$  besitzen, eine Umgebungstemperatur  $T_\infty$  und das Geschwindigkeitsprofil  $v$

Optimaler lichter Plattenabstand a

$$a_{\text{opt}} = 0,3 d + \sqrt[4]{\frac{63 \cdot h \cdot \eta_w^2 \cdot T_\infty}{g \cdot \varrho_w^2 \cdot (T_w - T_\infty)}} \quad \text{in m} \quad (1)$$

mit d	Plattendicke	in	m
h	Plattenhöhe	m	(0,01 ... 1 m)
g	Fallbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	
$\varrho$	Dichte der Luft	kg/m <sup>3</sup>	
$\eta$	dynamische Zähigkeit	kg/(m·s)	
$\nu$	kinematische Zähigkeit	m <sup>2</sup> /s	
T	Temperatur	K	
	(= Temperatur in °C + 273,15 K)		

Indizes: opt = optimal  
w = bezogen auf die Platten (Wand)oberflächentemperatur  
 $\infty$  = bezogen auf die Umgebung, genügend weit weg von den Platten  
o = bezogen auf 273,15K bzw. 0°C

Die Stoffwerte müssen hierbei auf die Temperatur  $T_w$  bezogen werden.

Die Stoffwerte  $\eta_w$  und  $\varrho_w$  lassen sich leicht computergerecht als Funktion von  $T_w$  darstellen, z.B.:

$$\eta_w = \eta_o \left( \frac{T_w}{T_o} \right)^n = 17,1 \cdot 10^{-6} \left( \frac{T_w}{273,15} \right)^{0,76} \quad (2)$$

$$\varrho_w = \frac{348,23}{T_w} \quad (3)$$

$$\nu_w = \frac{\eta_w}{\varrho_w} = \frac{17,1 \cdot 10^{-6} \cdot T_w^{0,76} \cdot T_w}{(273,15)^{0,76} \cdot 348,28} = 6,91 \cdot 10^{-10} \cdot T_w^{1,76} \quad (4)$$

$$\nu_w^2 = 4,77 \cdot 10^{-19} \cdot T_w^{3,52} \quad (5)$$

$$a_{opt} = 0,3 \cdot d + 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt[4]{\frac{h \cdot T_{\infty}^{3,52} \cdot T_w}{T_w - T_{\infty}}} \quad (6)$$

3. RECHENVORGANG: (für Casio FX-502 P)

3.1 Rechenvorbereitung: Eingabe der Werte  $T_{\infty}$  und d

P0	Anzeige:	0
$T_{\infty}$ in K	EXE	0
d in m	EXE	0

3.2 Eigentlicher Rechenvorgang für verschiedene h und  $(T_w - T_{\infty})$

P1		0
h in m	EXE	0
$(T_w - T_{\infty})$ in K	EXE (in ca. 2 s) :	$a_{opt}$ in m

4. BEISPIEL:

1. Umgebungstemperatur =  $20^{\circ}\text{C} + 273,15\text{K} = 293,15\text{K} = T_{\infty}$   
 Plattendicke = 1 mm = 0,001 m = d

2. Plattenhöhe = 200 mm = 0,2 m = h

Übertemperatur 10 K =  $T_w - T_{\infty}$  (10 K ... 100 K)

20 K

50 K

100 K

P0		0
293,15	EXE	0
0,001	EXE	0
P1		0
0,2	EXE	0
10	EXE	$a_{opt} = 0,01$ in m
20	EXE	$8,9 \cdot 10^{-3}$
50	EXE	$7,7 \cdot 10^{-3}$
100	EXE	$7,4 \cdot 10^{-3}$
(usw.)		
MR 6		$7,354894933 \cdot 10^{-3}$

5. PROGRAMMLISTING:

Nr.	Eingabe	Anzeige	Anmerkungen
001	P0	P0. 204	Eingabe der Allgmeindaten
002	0	P0. 00 001	Nullanzeige
003	HLT	P0. FP 002	Eingabe: $T_{\infty}$
004	Min 1	P0. C6-01 003	Speichern: $T_{\infty}$
005	0	P0. 00 004	
006	HLT	P0. FP 005	Eingabe: d
007	Min 2	P0. C6-02 006	Speichern: d
008	0	P0. 00 007	
<hr/>			
009	P1	P1. 204	Berechnen: $a_{opt}$
010	0	P1. 00 001	Nullanzeige
011	HLT	P1. FP 002	Eingabe: h
012	Min 3	P1. C6-03 003	Speichern h
013	0	P1. 00 004	Nullanzeige
014	LBL 0	P1. F0-00 005	
015	HLT	P1. FP 006	Eingabe: $T_w - T_{\infty}$ Anzeige: $a_{opt}^x$
016	Min 4	P1. C6-04 007	Speichern: $T_w - T_{\infty}$
017	+	P1. E3 008	} Berechnen: $T_w$
018	MR 1	P1. C7-01 009	
019	=	P1. E5 010	
020	Min 5	P1. C6-05 011	Speichern: $T_w$
021	INV $x^y$	P1. FF-E1 012	} Berechnen: $T_w^{3,52}$
022	3	P1. 03 013	
023	,	P1. EP 014	
024	5	P1. 05 015	
025	2	P1. 02 016	
026	x	P1. E1 017	
027	MR 1	P1. C7-01 018	
028	x	P1. E1 019	

x Durch: "MR 6" wird  $a_{opt}$  mit 10 Stellen angezeigt.

029	MR 3	P1.	C7-03 020	}	Berechnen des Radikanten
030	:	P1.	E2 021		
031	MR 4	P1.	C7-04 022		
032	=	P1.	E5 023	}	Berechnen: 4. Wurzel
033	INV $x^{1/y}$	P1.	FF-E2 024		
034	4	P1.	04 025		
035	=	P1.	E5 026	}	Berechnen: Wurzelvor- zahl und Multiplikation mit der Wurzel
036	x	P1.	E1 027		
037	4	P1.	04 028		
038	,	P1.	EP 029	}	Berechnen: 0, 3 · d und Addition
039	2	P1.	02 030		
040	EXP	P1.	EE 031		
041	5	P1.	05 032	}	Speichern: $a_{opt}$ (10 St.)
042	+/-	P1.	CC 033		
043	+	P1.	E3 034		
044	,	P1.	EP 035	}	Runden auf 2 Stellen
045	3	P1.	03 036		
046	x	P1.	E1 037		
047	MR 2	P1.	C7-02 038	}	GOTO 0
048	=	P1.	E 5 039		
049	Min 6	P1.	C6-06 040		
050	INV RND 2	P1.	FF-00-02 041		
051	=	P1.	E5 042		
052	GOTO 0	P1.	F1-00 043		

6. ANMERKUNG:

Die Eingaben und Ausgaben der Längenmaße sind bewußt nur in "m" programmiert, damit alle Längeneinheiten im gleichen Maßstab angegeben sind. Eingaben von  $d$  und  $h$  sowie Ausgaben von  $a_{\text{opt}}$  lassen sich selbstverständlich auch in "mm" eingeben bzw. ausgeben, wenn das Programm entsprechend programmiert wird. Ebenso läßt sich das Programm auch leicht so umstellen, daß die Temperatur  $T_{\infty}$  auch in  $^{\circ}\text{C}$  eingegeben werden kann.

7. LITERATUR

[1] W. Elenbaas, Physica 9 (1942), S. 1 ... 28

# Berechnung des mittleren Wärmeübergangskoeffizienten bei freier Konvektion in Luft, FX-502 P

von G. Eckerle

## 1. LÖSUNGSWEG

Der mittlere Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_m$  auf die Oberflächentemperatur  $T_w$  erwärmter paralleler senkrechter Platten der Höhe  $h$  in ruhender Luft der Temperatur  $T_\infty$  beträgt bei freier Konvektion und 1 bar Luftdruck nach Elenbaas [1] gemäß Bild 1

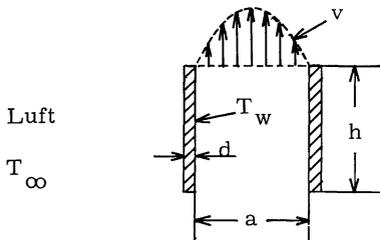


Bild 1

Anordnung und Abmessungen der Platten, die eine Oberflächentemperatur  $T_w$  besitzen, eine Umgebungstemperatur  $T_\infty$  und das Geschwindigkeitsprofil  $v$

$$\alpha_m = \frac{\lambda_w}{24} \cdot \frac{Gr \cdot Pr}{h} \cdot \left( 1 - \exp - \frac{35 \cdot h}{a \cdot Gr \cdot Pr} \right)^{3/4} \quad \text{in } \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (1)$$

$$\text{mit } Gr = \text{Grashofzahl} = \frac{a^3 \cdot g \cdot (T_w - T_\infty)}{\nu_w^2 \cdot T_\infty}$$

$$Pr = \text{Prandtlzahl} = c_p \cdot \eta_w / \lambda_w$$

$h$  Plattenhöhe in m (0,01 ... 1 m)

$a$  lichter Plattenabstand in m

$g$  Fallbeschleunigung in  $m/s^2$

$\varrho$  Dichte der Luft in  $kg/m^3$

$\eta$  dynamische Zähigkeit in  $kg/(m \cdot s)$

$\nu$	kinematische Zähigkeit in $\text{m}^2/\text{s}$
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeitskoeffizient in $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
$c_p$	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck in $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
$T$	Temperatur in K

Indizes: w = bezogen auf die Platten(Wand) oberflächentemperatur  
 $\infty$  = bezogen auf die Umgebung, genügend weit weg von den Platten  
p = bei konstantem Druck

Die Stoffwerte müssen hierbei auf die Temperatur  $T_w$  bezogen werden.

Die Stoffwerte  $\eta_w$ ,  $\varrho_w$ ,  $\nu_w$ ,  $\lambda_w$  und Pr lassen sich leicht computergerecht als Funktion von  $T_w$  darstellen, wie z. B. :

$$\eta_w = 2,406 \cdot 10^{-7} \cdot T_w^{0,76} \quad (2)$$

$$\varrho_w = 348,23/T_w \quad (3)$$

$$\nu_w = 6,91 \cdot 10^{-10} \cdot T_w^{1,76} \quad (4)$$

$$\lambda_w = 0,0020156 \cdot \frac{1 + 0,000194 \cdot T_w}{1 + 117/T_w} \cdot \sqrt{T_w} \quad (5)$$

$$\text{Pr} = 0,69 \quad (6)$$

$$\text{Gr} \cdot \text{Pr} = 1,4177 \cdot 10^{19} \cdot a^3 \cdot \frac{T_w/T_\infty - 1}{T_w^{3,52}} \quad (7)$$

und  $\alpha_m$  wird:

$$\alpha_m = 1,25 \cdot 10^{15} \frac{a^3 \cdot (1 + 0,000194 \cdot T_w) \cdot (T_w/T_\infty - 1) \cdot \sqrt{T_w}}{h \cdot (1 + 117/T_w) \cdot T_w^{3,52}} \times$$

$$\times \left[ 1 - \exp - \frac{2,4688 \cdot 10^{-18} \cdot h \cdot T_w^{3,52}}{a^4 \cdot (T_w/T_\infty - 1)} \right]^{3/4} \text{ in } \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (8)$$

2. RECHENVORGANG: (für Casio FX-502 P)

2.1 Rechenvorbereitung: Eingabe der Werte  $T_{\infty}$  und a

P 0		Anzeige:	0
$T_{\infty}$ in K	EXE		0
a in m	EXE		0

2.2 Eigentlicher Rechengang für verschiedene h und

$(T_w - T_{\infty})$			
P1			0
h in m	EXE		0
$(T_w - T_{\infty})$ in K	EXE (in ca. 4, 5 s):	$\alpha_m$ in	$\frac{W}{m^2 K}$

3. BEISPIEL:

1. Umgebungstemperatur =  $20^{\circ}C + 273,15 K = 293,15 K = T_{\infty}$

lichter Plattenabstand = 10 mm = 0,01 m = a

2. Plattenhöhe = 200 mm = 0,2 m = h

Übertemperatur 10 K =  $T_w - T_{\infty}$  (10 K ... 100 K)

20 K

50 K

100 K

P0			0
293,15	EXE		0
0,01	EXE		0
P1			0
0,2	EXE		0
10	EXE	$\alpha_m =$	$3,307 \text{ in } \frac{W}{m^2 K}$
20	EXE		4,412
50	EXE		5,919
100	EXE		7,089
(usw.)			
MR 6			7,08940655

4. PROGRAMMLISTING

Nr.	Eingabe	Anzeige		
001	P0	P0.	136	Eingabe der Allg. -Daten
002	0	P0.	00 001	Nullanzeige
003	HLT	P0.	FP 002	Eingabe: $T_{\infty}$
004	Min 1	P0.	C6-01 003	Speichern: $T_{\infty}$
005	0	P0.	00 004	
006	HLT	P0.	FP 005	Eingabe: a
007	Min 2	P0.	C6-02 006	Speichern: a
008	0	P0.	00 007	
009	P1	P1.	136	Berechnen: $\alpha_m$
010	0	P1.	00 001	Nullanzeige
011	HLT	P1.	FP 002	Eingabe: h
012	Min 3	P1.	C6-03 003	Speichern: h
013	0	P1.	. 00 004	
014	LBL 0	P1.	F0 -00 005	
015	HLT	P1.	FP 006	Eingabe: $T_w - T_{\infty}$
				Anzeige: $\alpha_m^x$
016	Min 4	P1.	C6-04 007	Speichern: $T_w - T_{\infty}$
017	+	P1.	E3 008	} Berechnen: $T_w$
018	MR 1	P1.	C7-01 009	
019	=	P1.	E5 010	
020	Min 5	P1.	C6-05 011	Speichern: $T_w$
021	:	P1.	E2 012	} Berechnen: $\frac{T_w}{T_{\infty}} - 1$
022	MR 1	P1.	C7-01 013	
023	-	P1.	E4 014	
024	1	P1.	01 015	
025	=	P1.	E5 016	
026	Min 10	P1.	C6-10 017	Speichern: $T_w/T_{\infty} - 1$
027	x	P1.	E1 018	}
028	MR 2	P1.	C7-02 019	
029	INV $x^y$	P1.	FF-E1 020	
030	4	P1.	04 021	
031	=	P1.	E5 022	

032	INV 1/x	P1.	FF-C8 023		
033	x	P1.	E1 024		
034	MR 3	P1.	C7-03 025		
035	x	P1.	E1 026		
036	(	P1.	C0 027	} Berechnen: $T_w^{3,52}$	
037	MR 5	P1.	C7-05 028		
038	INV $x^y$	P1.	FF-E1 029		
039	3	P1.	03 030		
040	,	P1.	EP 031		
041	5	P1.	05 032		
042	2	P1.	02 033		
043	)	P1.	C1 034		
044	Min 11	P1.	C6-11 035		} Speichern: $T_w^{3,52}$
045	=	P1.	E5 036		
046	x	P1.	E1 037		
047	2	P1.	02 038		
048	,	P1.	EP 039		
049	4	P1.	04 040	} Berechnen der Hochzahl von e	
050	6	P1.	06 041		
051	8	P1.	08 042		
052	8	P1.	08 043		
053	EXP	P1.	EE 044		
054	1	P1.	01 045		
055	8	P1.	08 046		
056	+/-	P1.	CC 047		
057	=	P1.	E5 048		
048	+/-	P1.	CC 049		
059	INV $e^x$	P1.	FF-F9 050	} Berechnen: $e^x$	
060	+/-	P1.	CC 051		
061	+	P1.	E3 052	} Berechnen: $(1 - e^x)$	
062	1	P1.	01 053		
063	=	P1.	E5 054		

064	INV $x^y$	P1.	FF-E1 055	} Berechnen: $(1 - e^x)^{3/4}$
065	(	P1.	C0 056	
066	3	P1.	03 057	
067	:	P1.	E2 058	
068	4	P1.	04 059	
069	)	P1.	C1 060	
070	=	P1.	E5 061	
071	x	P1.	E1 062	
072	1	P1.	01 063	
073	,	P1.	EP 064	
074	2	P1.	02 065	
075	5	P1.	05 066	
076	EXP	P1.	EE 067	
077	1	P1.	01 068	
078	5	P1.	05 069	
079	x	P1.	E1 070	
080	MR 2	P1.	C7-02 071	} Berechnen: $a^3$
081	INV $x^y$	P1.	FF-E1 072	
082	3	P1.	03 073	
083	x	P1.	E1 074	
084	(	P1.	C0 075	} Berechnen: $1 + 0,000194 \cdot T_w$
085	1	P1.	01 076	
086	+	P1.	E3 077	
087	,	P1.	EP 078	
088	0	P1.	00 079	
089	0	P1.	00 080	
090	0	P1.	00 081	
091	1	P1.	01 082	
092	9	P1.	09 083	
093	4	P1.	04 084	
094	x	P1.	E1 085	
095	MR 5	P1.	C7-05 086	
096	)	P1.	C1 087	
097	x	P1.	E1 088	

098	MR 10	P1.	C7-10 089	$T_w/T_\infty - 1$
099	x	P1.	E1 090	
100	MR 5	P1.	C7-05 091	} $\sqrt{T_w}$
101	INV $\sqrt{\quad}$	P1.	FF-C6 092	
102	:	P1.	E2 093	
103	MR 3	P1.	C7-03 094	
104	:	P1.	E2 095	
105	(	P1.	C0 096	} $(1 + 117/T_w)$
106	1	P1.	01 097	
107	+	P1.	E3 098	
108	1	P1.	01 099	
109	1	P1.	01 100	
110	7	P1.	07 101	
111	:	P1.	E2 102	
112	MR 5	P1.	C7 -05 103	
113	)	P1.	C1 104	
114	:	P1.	E2 105	
115	MR 11	P1.	C7-11 106	$T_w^{3,52}$
116	=	P1.	E5 107	
117	Min 6	P1.	C6-06 108	Speichern: $\alpha_m$ (10 Stellen)
118	INV RND 4	P1.	FF-00-04 109	Runden auf 4 Stellen
119	=	P1.	E5 110	
120	GOTO 0	P1.	F1-00 111	

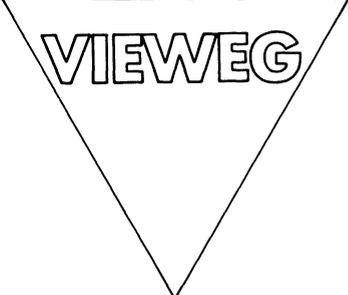
x Durch: "MR 6" wird  $\alpha_m$  mit 10 Stellen angezeigt.

5. ANMERKUNG:

Die  $\alpha_m$ -Werte nach (8) liegen teilweise etwas unter den Meßwerten nach [1]. Nach anderen Messungen liegen die errechneten Werte nach (8) aber auch höher.

6. LITERATUR

[1] W. Elenbaas, Physica 9 (1942), S. 1 ... 28



VIEWEG

Harald Nahrstedt

## **Maschinenelemente für AOS-Rechner**

### **Teil I: Grundlagen, Verbindungselemente, Rotationselemente**

1981. VI, 171 S. mit 17 vollst. Progr., 90 Abb. und 42 Tab. 16,2 X 22,9 cm. (Anwendung programmierbarer Taschenrechner, Bd. 9.) Br.

Inhalt: Maschinenelemente: Grundlagen der Programmierung nach MINIKON – Programmaufbereitung für Schweißverbindungen – Reibschlußverbindungen – Formschlußverbindungen – Schraubverbindungen und elastische Federn sowie Programme zur Berechnung der Durchbiegung von Achsen und Wellen und zur Bestimmung von Wälzlagern.

### **Teil II: Antriebsselemente und Elemente zur Stoffübertragung**

1983. VI, 150 S. mit 78 Abb., 49 aufgel. Komment. und 18. ausgew. Beisp. 16,2 X 22,9 cm. (Anwendung programmierbarer Taschenrechner, Bd. 20.) Br.

Dieser Band dient als Ergänzung zu Teil I. Die Beispiele sind als Anregung zum Erstellen eigener Programme gedacht und zeigen Methodik und Möglichkeiten des Einsatzes von Algorithmen in diesem Fachgebiet. Die Grundlagen des Berechnungsablaufes werden kurz und übersichtlich einführend erläutert. Die Aufbereitung der Programme wird mit den Methoden der Informatik klar wiedergegeben.



