

Schraubenberechnung mit dem TI 59

von Harald Nahrstedt

Das nachfolgend beschriebene Programm ist im Hinblick auf die Anwendung eines programmierbaren Taschenrechners konzipiert. Die Programmrealisierung erfolgt auf dem TI 59 von Texas Instruments. Die Grundlagen sind aus [1] entnommen.



Der Verfasser ist Dozent an der VHS Hamm in den Fachgebieten

- Anwendung programmierbarer Taschenrechner
- Programmiersprache BASIC
- Mikrocomputer

Veröffentlichungen

Bild der Wissenschaft: Mathematisches Kabinett – „Das 8-Dame-Problem“ (10/78), „Wie ein Taschenrechner funktioniert“ (6/79 und 7/79). Im Verlag Vieweg: Taschenrechner + Mikrocomputer Jahrbuch 1980 „Programmierbare Taschenrechner und Mikrocomputer in der Erwachsenenbildung“. Anwendung programmierbarer Taschenrechner, Band 4 „– Statik, Kinematik, Kinetik – für AOS-Rechner“.

1 Überschlägige Bestimmung des Schraubennendurchmessers

Aus der Gleichung für den notwendigen Spannungsquerschnitt

$$A_s = \frac{F_{s \max}}{\sigma_s} \quad (1)$$

mit $F_{s \max}$ als maximale Schraubenkraft und der Streckgrenze des Schraubenwerkstoffes σ_s wir durch Einsetzen

$$A_s = \frac{d_s^2 \pi}{4} = \frac{F_A (1 + \varphi) \nu}{\sigma_s} \quad (2)$$

und durch beiderseitiges Ergänzen mit d^2 (d = Nenndurchmesser) sowie Umstellung

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left(\frac{d}{d_s}\right)^2 \frac{F_A (1 + \varphi) \nu}{\sigma_s}} \quad (3)$$

Darin ist $(d/d_s) \approx 1,16$ nach DIN 13, F_A die Betriebskraft, ν die Sicherheit gegen Erreichen der Streckgrenze (hier $\nu = 1,1$ gewählt), φ der Verspannungsfaktor mit

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{F_K}{F_A} = \frac{F_V + F_{SA} - F_A}{F_A} = \frac{F_V}{F_A} + \frac{F_{SA}}{F_A} - 1 \quad (4)$$

Mit den Mittelwerten $F_V/F_A = 3$ und $F_{SA}/F_A = 0,35$ folgt die kurze Vorwahlformel für den Nenndurchmesser

$$d' = 0,8 \sqrt{\frac{F_A}{\sigma_s}} \quad (5)$$

2 Durch die Festlegung gewonnene Größen

Durch die Schraubenvorwahl ergeben sich nun folgende Größen.

Spannungsquerschnitt

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 \quad (6)$$

d_1 Kerndurchmesser

d_2 Flankendurchmesser

Torsionswiderstandsmoment

$$W_t = \frac{\pi}{16} d_1^3 \quad (7)$$

mittlerer Steigungswinkel γ_m

$$\tan \gamma_m = \frac{h}{\pi d_2} \quad (8)$$

h Steigung

Reibungswinkel ρ_G

$$\mu' = \tan \rho_G = 1,155 \mu \quad (9)$$

μ Gewindereibungskoeffizient

Der in Schraubenkopf- und Mutterauflagefläche vorhandene Reibungskoeffizient μ_A wirkt am Reibradius

$$r_A = \frac{D_1 + D_2}{4} \quad (10)$$

D_1 Außendurchmesser } der Kreisringauflagefläche
 D_2 Innendurchmesser }

Die Federkonstante der Schraube ergibt sich unter Beachtung verschiedener Schraubentypen nach Bild 1 aus

$$\frac{1}{f_s} = \frac{1}{E_s} \sum_{i=1}^n \frac{4l_i}{\pi d_i^2} \quad (11)$$

E_s E-Modul des Schraubenwerkstoffes

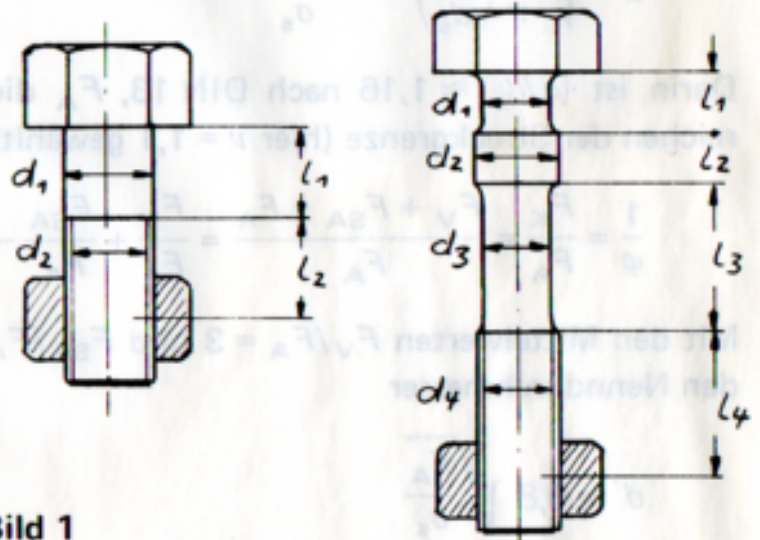


Bild 1

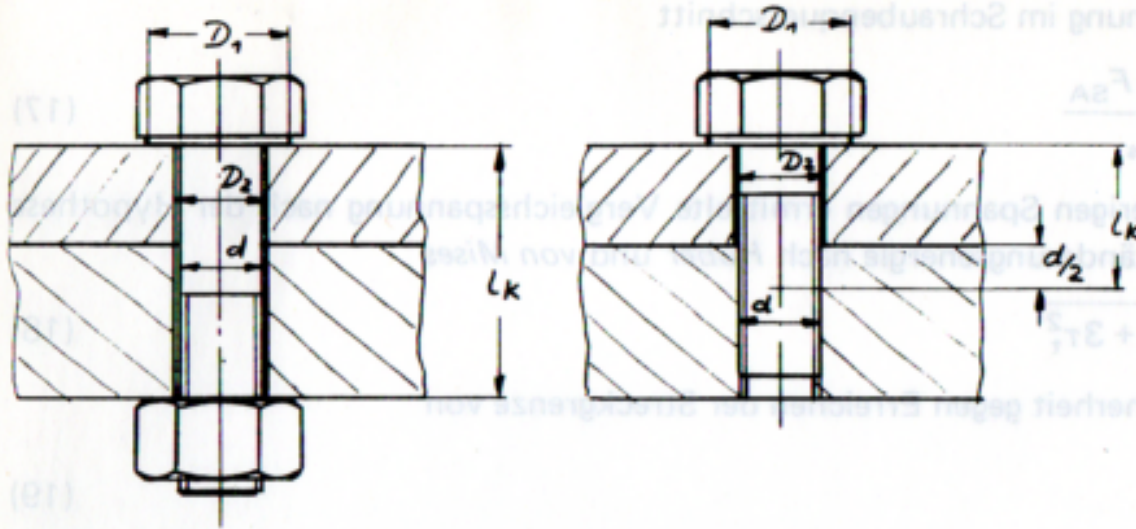


Bild 2

Die Federkonstante der verspannten Teile ergibt sich unter Beachtung konstruktiver Gegebenheiten nach Bild 2 aus

$$f_t = \frac{E_t \pi}{l_k} \cdot \left(\left(D_1 + \frac{l_k}{a} \right)^2 - D_2^2 \right) \quad (12)$$

a 10 für Stahl, 8 für Grauguß, 6 für Aluminiumlegierung

E_t E-Modul des Bauteilewerkstoffes

Vorspannkraft

$$F_V = \alpha F_A \quad (13)$$

α 2,5 ... 3,5 als Erfahrungswert

Restvorspannung

$$F_{SA} = \frac{F_A}{1 + \frac{f_t}{f_s}} \quad (14)$$

3 Festigkeitsnachweise

Mit den so ermittelten Daten lassen sich nun vorhandene Spannungen und Sicherheiten bestimmen.

Anzieh-(Reib-)Moment

$$M_A = F_V \left(\frac{d_2}{2} \tan(\gamma_m + \rho_G) + r_A \mu_A \right) \quad (15)$$

Torsionsspannung durch das Anziehen

$$\tau_t = \frac{M_A}{W_t} \quad (16)$$

Maximale Zugspannung im Schraubenquerschnitt

$$\sigma_{\max} = \frac{F_V + F_{SA}}{A_s} \quad (17)$$

Eine aus den vorherigen Spannungen ermittelte Vergleichsspannung nach der Hypothese der größten Gestaltänderungsenergie nach *Huber* und *von Mises*

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3\tau_t^2} \quad (18)$$

ergibt sich eine Sicherheit gegen Erreichen der Streckgrenze von

$$\nu_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_V} \quad (19)$$

Die Untersuchung eines Dauerbruches bei schwelender Betriebslast setzt eine Ausschlagspannung

$$\sigma_a = \frac{F_{SA}}{2A_s} \quad (20)$$

zur Ausschlagfestigkeit ins Verhältnis, zur Sicherheit

$$\nu_a = \frac{\sigma_A}{\sigma_a} \quad (21)$$

σ_A Ausschlagfestigkeit des Schraubenwerkstoffes

Bleibt die Überprüfung der Flächenpressung unter Kopf- und Muternauflage durch die vorhandene Flächenpressung

$$p = \frac{F_{\max}}{A_a} \quad (22)$$

mit der Auflagefläche

$$A_a = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \quad (23)$$

Ergibt sich die Sicherheit

$$\nu_p = \frac{p_{\text{zul}}}{p}$$

Ist nur eine der Sicherheiten $\nu < 1$, muß entsprechend größer dimensioniert werden.

4 Flußdiagramm

Einen ersten Begriff vom Programmablauf liefert in graphischer Form das nachfolgende Flußdiagramm (Bild 3).

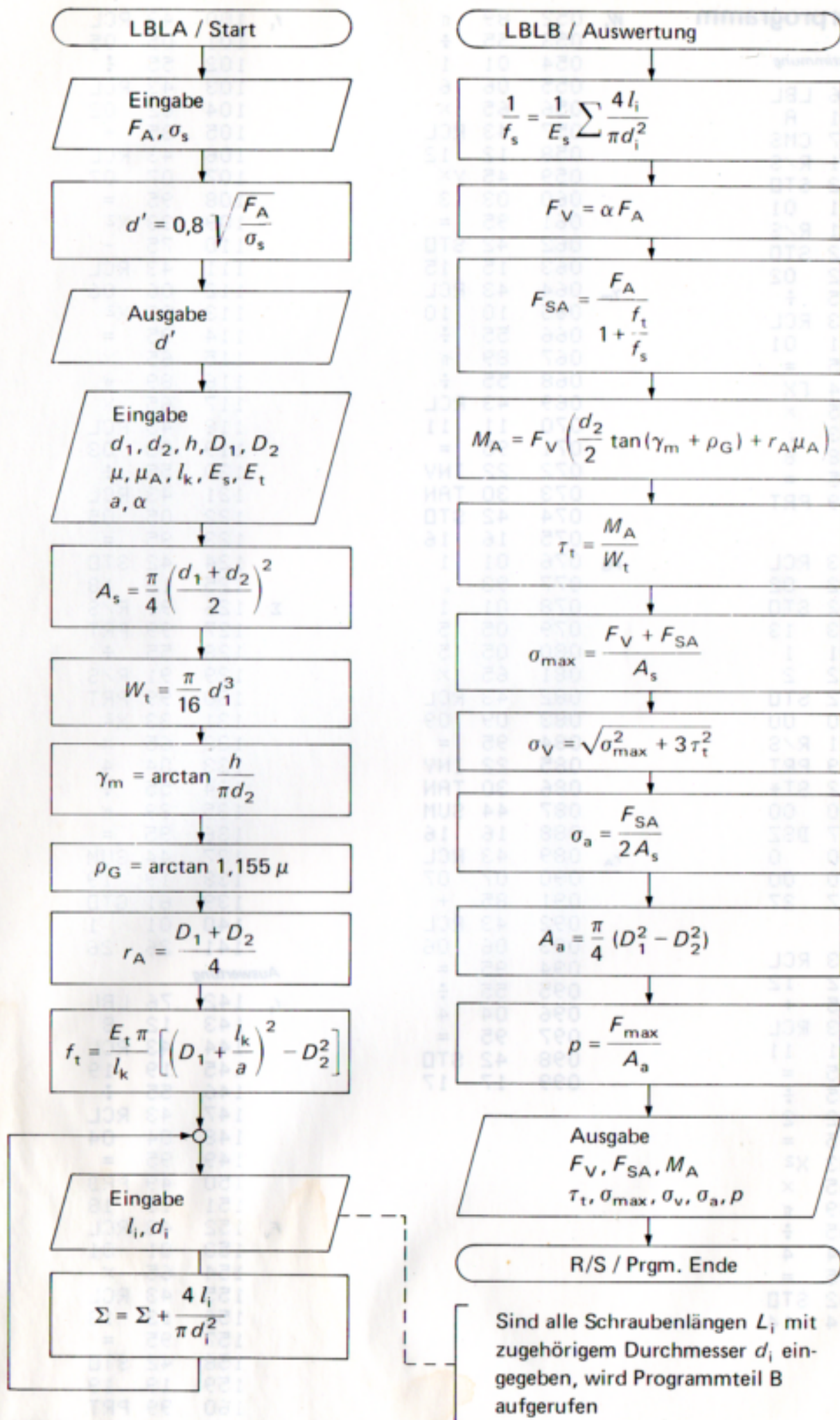


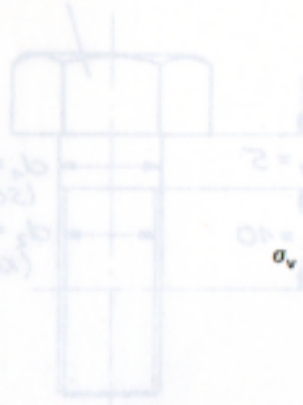
Bild 3

5 Rechnerprogramm

			w_1	052	89	π
Start- und Vorbestimmung						
				053	55	\div
				054	01	1
				055	06	6
000	76	LBL		056	65	\times
001	11	R		057	43	RCL
002	47	CMS		058	12	12
003	91	R/S		059	45	Y^x
004	42	STD		060	03	3
005	01	01		061	95	=
006	91	R/S		062	42	STD
007	42	STD		063	15	15
008	02	02		064	43	RCL
009	55	\div	γ_m	065	10	10
010	43	RCL		066	55	\div
011	01	01		067	89	π
012	95	=		068	55	\div
013	34	ΓX		069	43	RCL
014	65	\times		070	11	11
015	93	$\frac{1}{x}$		071	95	=
016	08	8		072	22	INV
017	95	=		073	30	TAN
018	99	PRT		074	42	STD
				075	16	16
Eingabe						
019	43	RCL	ρ_a	076	01	1
020	02	02		077	93	.
021	42	STD		078	01	1
022	13	13		079	05	5
023	01	1		080	05	5
024	02	2		081	65	\times
025	42	STD		082	43	RCL
026	00	00		083	09	09
027	91	R/S		084	95	=
028	99	PRT		085	22	INV
029	72	ST*		086	30	TAN
030	00	00		087	44	SUM
031	97	DSZ		088	16	16
032	00	0	r_A	089	43	RCL
033	00	00		090	07	07
034	27	27		091	85	+
				092	43	RCL
				093	06	06
				094	95	=
				095	55	\div
				096	04	4
				097	95	=
				098	42	STD
				099	17	17
Berechnung						
A_1	035	43	RCL			
	036	12	12			
	037	85	+			
	038	43	RCL			
	039	11	11			
	040	95	=			
	041	55	\div			
	042	02	2			
	043	95	=			
	044	33	X^2			
	045	65	\times			
	046	89	π			
	047	55	\div			
	048	04	4			
	049	95	=			
	050	42	STD			
	051	14	14			

			f_1	100	43	RCL
				101	05	05
				102	55	\div
				103	43	RCL
				104	02	02
				105	85	+
				106	43	RCL
				107	07	07
				108	95	=
				109	33	X^2
				110	75	-
				111	43	RCL
				112	06	06
				113	33	X^2
				114	95	=
				115	65	\times
				116	89	π
				117	65	\times
				118	43	RCL
				119	03	03
				120	55	\div
				121	43	RCL
				122	05	05
				123	95	=
				124	42	STD
			Σ	125	18	18
				126	91	R/S
				127	99	PRT
				128	55	\div
				129	91	R/S
				130	99	PRT
				131	33	X^2
				132	65	\times
				133	04	4
				134	55	\div
				135	89	π
				136	95	=
				137	44	SUM
				138	19	19
				139	61	GTO
				140	01	1
				141	26	26
Auswertung						
f_2	142	76	LBL			
	143	12	B			
	144	43	RCL			
	145	19	19			
	146	55	\div			
	147	43	RCL			
	148	04	04			
	149	95	=			
	150	49	PRD			
	151	18	18			
F_v	152	43	RCL			
	153	01	01			
	154	65	\times			
	155	43	RCL			
	156	13	13			
	157	95	=			
	158	42	STD			
	159	19	19			
	160	99	PRT			

F_{SA}	161	43	RCL
	162	13	13
	163	55	÷
	164	53	<
	165	01	1
	166	85	+
	167	43	RCL
	168	18	18
	169	95	=
	170	42	STD
	171	00	00
	172	99	PRT
M_A	173	43	RCL
	174	16	16
	175	30	TAN
	176	65	x
	177	43	RCL
	178	11	11
	179	55	÷
	180	02	2
	181	85	+
	182	43	RCL
	183	17	17
	184	65	x
	185	43	RCL
	186	08	08
	187	95	=
	188	65	x
	189	43	RCL
	190	19	19
	191	95	=
	192	99	PRT
τ_t	193	55	÷
	194	43	RCL
	195	15	15
	196	95	=
	197	42	STD
	198	02	02
	199	99	PRT



σ_{max}	200	43	RCL
	201	19	19
	202	85	+
	203	43	RCL
	204	00	00
	205	95	=
	206	55	÷
	207	43	RCL
	208	14	14
	209	95	=
	210	99	PRT
σ_v	211	33	X ²
	212	85	+
	213	43	RCL
	214	02	02
	215	33	X ²
	216	65	x
	217	03	3
	218	95	=
	219	34	ΓX
	220	99	PRT
σ_s	221	43	RCL
	222	00	00
	223	55	÷
	224	02	2
	225	55	÷
	226	43	RCL
	227	14	14
	228	95	=
	229	99	PRT

A_s	230	43	RCL
	231	07	07
	232	33	X ²
	233	75	-
	234	43	RCL
	235	06	06
	236	33	X ²
	237	95	=
	238	65	x
	239	89	π
	240	55	÷
	241	04	4
	242	95	=
p	243	35	1/X
	244	65	x
	245	53	<
	246	43	RCL
	247	19	19
	248	85	+
	249	43	RCL
	250	00	00
	251	95	=
	252	99	PRT
	253	91	R/S

Datenspeicherbelegung

00 F_{SA}	05 l_k	10 h	15 W_t
01 σ_s/α	06 D_2	11 d_2	16 $\gamma_m + \rho_G$
02 $F_A/a/\tau_t$	07 D_1	12 d_1	17 r_A
03 E_t	08 μ_A	13 F_A	18 f_t/f_s
04 E_s	09 μ	14 A_s	19 Σ/F_V

Alfred Böge (Hrsg.)

Arbeitshilfen und Formeln für das technische Studium

Diese Bände helfen Schülern und Studenten an Fachhochschulen und Fachschulen, Berufsaufbauschulen, Fachoberschulen und Fachgymnasien im Unterricht und beim Selbststudium. Inhalt und Anlage machen diese Bände zu mehr als Formelsammlungen. Sie enthalten Größen-gleichungen mit Erläuterungen/Technisch wichtige Zahlenwertgleichungen/Lehrsätze, Regeln und Verfahren/Übungsbeispiele und Lösungshinweise/Tabellen und Diagramme/Zahlreiche Bilder und Konstruktionsbeispiele/Ein umfangreiches Sachwörterverzeichnis

Band 1: Grundlagen. Unter Mitarbeit von Alfred Böge, Klemens Hermann, Walter Schlemmer und Wolfgang Weißbach. Mit 446 Abb. 2., durchges. Aufl. 1976. VIII, 264 S. DIN C 5. Kart. 26,80 DM

Band 2: Konstruktion. Unter Mitarbeit von Alfred Böge, Walter Schlemmer und Heinz Umbach. Mit zahlr. Abb. VIII, 152 S. DIN C 5. Kart. 24,80 DM

Band 3: Fertigung. Erarbeitet von Wolfgang Böge und Heinz Wittig. Mit 198 Abb. 1979. VII, 156 S. DIN C 5. Kart. 24,80 DM

Band 4: Elektronik. In Vorbereitung

6 Berechnungsbeispiel

Aufruf A

Eingabe 640. σ_s in N/mm^2
90 000. F_A in N

Ausgabe 9.486832981 d_{\min} in mm
gewählt $d = 10$ mm

Eingabe 8.16 d_1 in mm

9.026 d_2 in mm

1.5 h in mm

0.16 μ

0.12 μ_A

17. D_1 in mm

11. D_2 in mm

15. l_k in mm

210000. E_s in N/mm^2

210000. E_t in N/mm^2

10. a

2.5 α

5. L_1 in mm

10. d_1 in mm

10. L_2 in mm

8.16 d_2 in mm

Zahlenwerte
aus Bild 4
entnehmen!

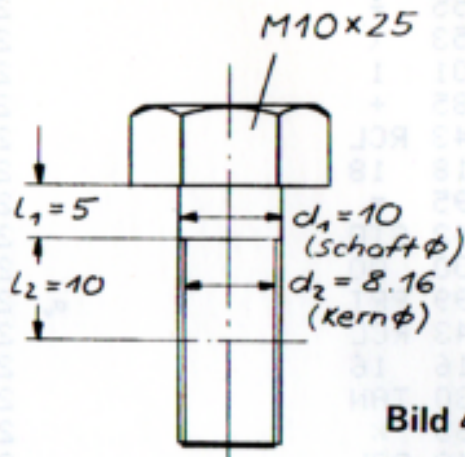


Bild 4

Datenspeicherbelegung

7025.336257	00
2.5	01
4056.344636	02
210000.	03
210000.	04
15.	05
11.	06
17.	07
0.12	08
0.16	09
1.5	10
9.026	11
8.16	12
90000.	13
57.99352471	14
106.6842642	15
13.49819509	16
7.	17
11.8107747	18
225000.	19

Aufruf B

Ausgabe 225000. F_V in N

7025.336257 F_{SA} in N

432748.1429 M_A in Nmm

4056.344636 τ_t in N/mm^2

4000.883502 σ_{\max} in N/mm^2

8085.101373 σ_v in N/mm^2

60.57000581 σ_s in N/mm^2

1758.475199 ρ in N/mm^2

Legt man die zulässigen Spannungen eines üblichen Schraubenwerkstoffes mit

$$\sigma_{s \text{ zul}} = 640 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{A \text{ zul}} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{zul}} = 298 \text{ N/mm}^2$$

zugrunde, so ergibt sich, daß die Schraube erheblich größer dimensioniert werden muß.

Literatur

- [1] Neue Wege einer systematischen Schraubenberechnung. Ingenieur Dienst, Bauer & Schauerte, Neuß-Rhein
- [2] H. Roloff/W. Matek, Maschinenelemente, Vieweg Verlag, Braunschweig 1976