

Peter Fischer

Biegung symmetrischer Querschnitte

Die Programmbeschreibung und die Anwendungsbeispiele in diesem Beitrag sind für den TI-59 mit PC-100C ausgeführt. Eine ausführliche Beschreibung aller Instruktionen und Abläufe kann beim Herausgeber angefordert werden.

Ebenfalls verfügbar sind Beschreibungen für den TI-58, die ebenfalls beim Herausgeber abrufbar sind.

1 Aufgabenstellung

In der Technik, vor allem im Maschinen- und Stahlbau, kommen Biegeträger vor, die wenigstens eine Symmetrieachse haben und die durch die Schnittkräfte Normalkraft F_N , Biegemoment M_x um die x-Achse und Biegemoment M_y um die y-Achse beansprucht werden. Mit den üblichen Methoden der Statik kann man diese Schnittkräfte für alle Stellen eines Tragwerkes bestimmen. Zum Nachweis der ausreichenden Bemessung sind u. a. die Normalspannungen in verschiedenen Punkten eines Querschnitts zu ermitteln. Hierbei treten routinemäßig Berechnungen auf, die mit programmierbaren Taschen- oder Tischrechnern einfacher, genauer und in kürzerer Zeit auszuführen sind als bei manueller Rechnung. Nachfolgend wird ein Programm zur Berechnung der Normalspannungen symmetrischer Querschnitte angegeben, welches für die Kombination des PC-100 C mit dem TI-59 ein mit Kommentaren versehenes Protokoll der Eingabewerte und der Ergebnisse liefert.

2 Grundlagen für die Berechnung

2.1 Normalspannungen

Definiert man, wie das allgemein üblich ist, eine Zugkraft F_N als positiv und legt die positiven Biegemomente und Koordinaten eines beliebigen Punktes $P(x; y)$ des Querschnitts nach Fig. 1 fest, so gilt unter den Voraussetzungen der technischen Biegelehre für die Normalspannung σ in diesem Punkt P

$$\sigma = \frac{F_N}{A} + \frac{M_x}{I_x} y - \frac{M_y}{I_y} x \quad (1)$$

Alle drei Schnittkräfte, die Koordinaten x und y und die äquatorialen (axialen) Trägheitsmomente I_x und I_y sind dabei auf die Schwerachsen des Querschnitts bezogen.

Symmetrieachse kann die x-Achse sein, wie z. B. in Fig. 2, oder auch die y-Achse, wie in Fig. 3.

Für Gl. (1) sind zwei Teilprobleme zu lösen:

- Berechnung der Querschnittswerte; bezogen auf die Schwerachsen
- Berechnung der Spannungen im Punkt $P(x; y)$ bzw. $P(\bar{x}; \bar{y})$.

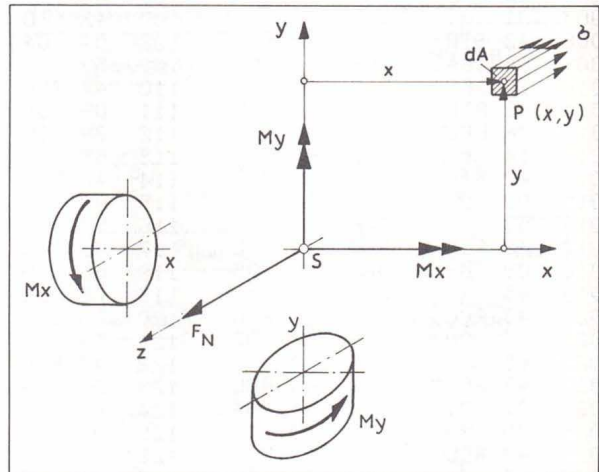


Fig. 1 Definition der positiven Schnittkräfte F_N , M_x , M_y

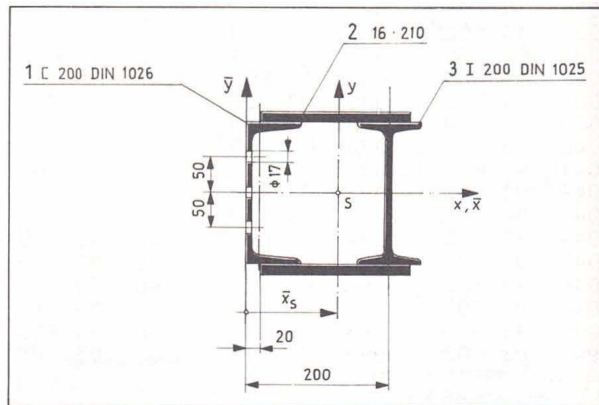


Fig. 2 Querschnitt, symmetrisch zur x-Achse

2.2 Querschnittswerte

Ist der Querschnitt aus einzelnen geometrisch einfachen Teilflächen oder aus Walzprofilen zusammengesetzt, so findet man für jede Teilfläche die auf den Schwerpunkt der Teilfläche bezogenen Querschnittswerte in einschlägigen Handbüchern [1], z. B. für Rechteck, Dreieck oder Kreis, oder entnimmt sie den jeweils zutreffenden DIN-Normen [2].

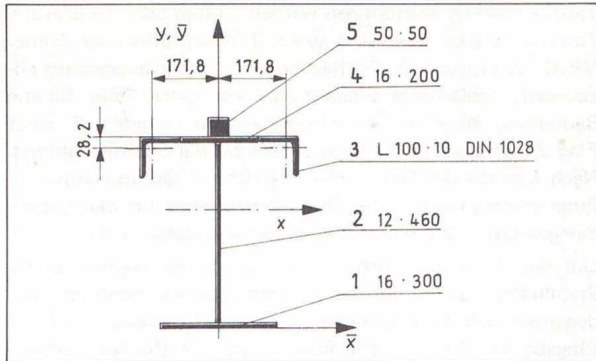


Fig. 3 Querschnitt, symmetrisch zur y-Achse

Bei manueller Rechnung wird zunächst die fehlende Koordinate des Schwerpunktes bestimmt, anschließend ermittelt man die Querschnittswerte bezüglich des Schwerpunktes des zusammengesetzten Querschnitts. Für die Programmierung ist dieses Vorgehen nicht zweckmäßig.

Alle Gleichungen für einen zur x-Achse symmetrischen Querschnitt nach Fig. 2 gehen durch Vertauschen von x und y in die für einen zur y-Achse symmetrischen Querschnitt nach Fig. 3 über.

Unabhängig von der Lage der Symmetrieachse gilt

$$A = \sum A_i \tag{2}$$

Hier und in den folgenden Gleichungen ist stets von $i = 1$ bis $i = n$ zu summieren, wenn n die Anzahl der Teilflächen ist. Das Statische Moment S wird auf eine beliebige Achse \bar{y} bzw. \bar{x} bezogen, die senkrecht zur Symmetrieachse x bzw. y liegt:

$$S_{\bar{y}} = \sum A_i \bar{x}_i \quad \text{bzw.} \quad S_{\bar{x}} = \sum A_i \bar{y}_i \tag{3}$$

Für die Trägheitsmomente gilt nach dem Satz von STEINER:

$$I_x = \sum I_{xi} + A_i \bar{y}_i^2 \quad \text{bzw.} \quad I_{\bar{x}} = \sum I_{xi} + A_i \bar{y}_i^2 \tag{4}$$

und

$$I_{\bar{y}} = \sum I_{yi} + A_i \bar{x}_i^2 \quad \text{bzw.} \quad I_y = \sum I_{yi} + A_i \bar{x}_i^2 \tag{5}$$

Gl. (4) und Gl. (5) geben die Trägheitsmomente bezüglich der Symmetrieachsen x und y bzw. der Bezugsachsen \bar{x} und \bar{y} an. Die Abstände der Schwerachsen von der \bar{y} - bzw. \bar{x} -Achse sind

$$\bar{x}_S = \frac{S_{\bar{y}}}{A} \quad \text{bzw.} \quad \bar{y}_S = \frac{S_{\bar{x}}}{A} \tag{6}$$

Jetzt kann der STEINERsche Satz auf den zusammengesetzten Querschnitt angewendet werden. Aus

$$I_{\bar{y}} = I_y + A \bar{x}_S^2 \quad \text{bzw.} \quad I_{\bar{x}} = I_x + A \bar{y}_S^2$$

erhält man die gesuchten Trägheitsmomente der zusammengesetzten Fläche

$$I_y = I_{\bar{y}} - A \bar{x}_S^2 \quad \text{bzw.} \quad I_x = I_{\bar{x}} - A \bar{y}_S^2 \tag{7}$$

Für die Normalspannungen werden außer dem Flächeninhalt A nach Gl. (2) die Trägheitsmomente I_x nach Gl. (4) und I_y nach Gl. (7) benötigt, wenn die x -Achse Symmetrieachse ist. Ist der Querschnitt symmetrisch zur y -Achse, dann müssen I_x nach Gl. (7) und I_y nach Gl. (5) ermittelt werden.

3 Programmbeschreibung

Das Programm ist so aufgebaut, daß mit möglichst wenig Eingabewerten gearbeitet wird. Daten von Teilflächen, die wegen der Symmetrie doppelt auftreten, sind nur einmal einzugeben.

Bei Rechtecken, die häufig vorkommen, werden nur die Breite b , die Höhe h und die Abstände zu den Bezugsachsen benötigt.

Die Fläche $A_i = b_i h_i$ und die Trägheitsmomente

$$I_{xi} = \frac{b h^3}{12} \quad \text{bzw.} \quad I_{yi} = \frac{h b^3}{12} \tag{8}$$

sowie die zugehörigen STEINER-Anteile werden im Programmsegment A berechnet.

Die Programmablaufpläne Fig. 4 und Fig. 5 geben die wesentlichen Verknüpfungen der einzelnen Operationen an. Welche Achse Symmetrieachse ist, wird durch die Kennzahl 0 oder 1 und das Setzen des zugehörigen Flags festgelegt. Daten von Rechtecken, die entweder auf der Symmetrieachse liegen oder paarweise gleich sind und außerhalb der Symmetrieachse liegen, werden über die Routinen A und A' eingegeben. Über B und B' erfolgen die Eingaben für Querschnitte, deren Werte

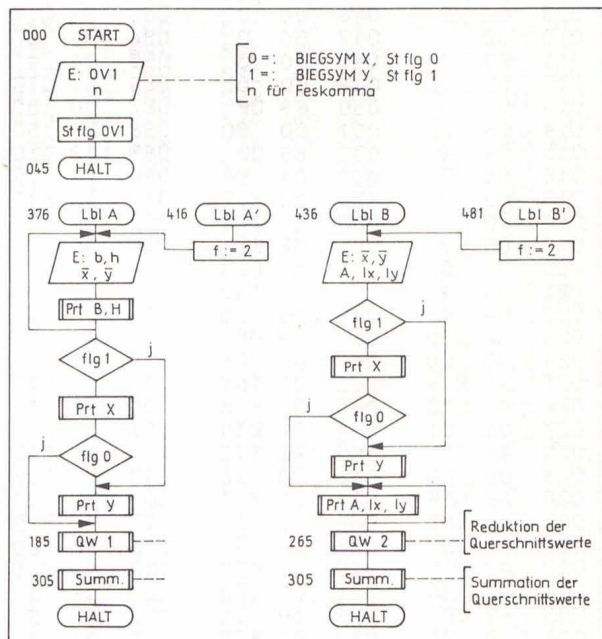


Fig. 4 Programmablaufplan; Dateneingabe und Summation der Querschnittswerte

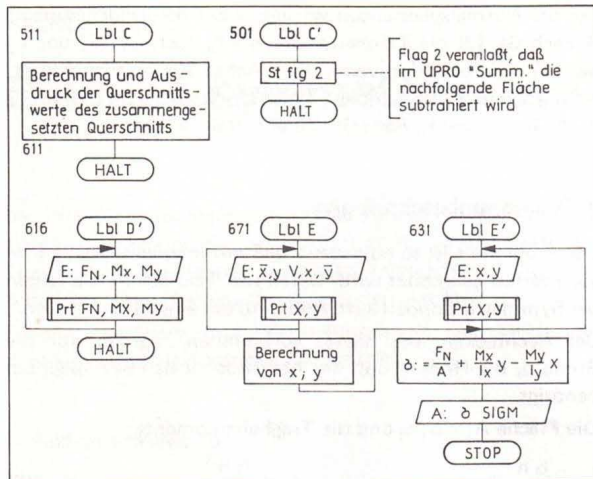


Fig. 5 Programmablaufplan; Berechnung der Querschnittswerte und der Normalspannungen

Tabellenwerken entnommen werden müssen oder die über die Tastatur zu berechnen sind, wie z. B. Walzprofile oder Kreise. Mit C' ist es möglich, Teilflächen vom Gesamtquerschnitt abzuziehen, fehlerhafte Eingaben zu korrigieren oder für die Bemessung einzelne Querschnittsteile zu variieren. C' setzt Flag 2 und bewirkt die Subtraktion bei der Summenbildung. Nach Eingabe der Daten aller Querschnittflächen werden im Programmsegment C die Querschnittswerte für den zusammengesetzten Querschnitt berechnet und ausgedruckt.

Um das Programm auch nutzen zu können, wenn man für Stabilitätsprobleme nur die Querschnittswerte benötigt, werden zusätzlich die Trägheitsradien i_x und i_y ausgegeben. Nach Eingabe der Schnittkräfte über D' können die Normalspannungen für beliebig viele Punkte berechnet werden. Dazu werden die Koordinaten x und y des Punktes P, die von der Schwerachse aus zu messen sind, über E' eingegeben. Weil aus technischen Zeichnungen die Abstände zu den ursprünglichen Bezugsachsen oft unmittelbar abgelesen werden können, ist es bequemer, die Abstände \bar{x} und \bar{y} einzugeben. Über Label E erhält man dann die Normalspannung.

000	47	CMS	037	69	DP	074	14	14	111	04	4	148	61	GTD	185	43	RCL
001	69	DP	038	05	OS	075	32	X:T	112	61	GTD	149	00	00	186	13	13
002	00	00	039	91	R/S	076	02	2	113	00	00	150	50	50	187	65	x
003	01	1	040	42	STD	077	03	3	114	50	50	151	42	STD	188	43	RCL
004	04	4	041	10	10	078	61	GTD	115	42	STD	152	23	23	189	14	14
005	02	2	042	01	1	079	00	00	116	21	21	153	32	X:T	190	95	=
006	04	4	043	42	STD	080	50	50	117	32	X:T	154	03	3	191	42	STD
007	01	1	044	09	09	081	42	STD	118	02	2	155	00	0	192	17	17
008	07	7	045	91	R/S	082	15	15	119	05	5	156	04	4	193	55	÷
009	02	2	046	00	0	083	32	X:T	120	04	4	157	04	4	194	01	1
010	02	2	047	00	0	084	04	4	121	05	5	158	61	GTD	195	02	2
011	69	DP	048	00	0	085	04	4	122	61	GTD	159	00	00	196	65	x
012	02	02	049	00	0	086	61	GTD	123	00	00	160	50	50	197	32	X:T
013	03	3	050	69	DP	087	00	00	124	50	50	161	42	STD	198	43	RCL
014	06	6	051	00	00	088	50	50	125	32	X:T	162	24	24	199	14	14
015	04	4	052	69	DP	089	42	STD	126	02	2	163	32	X:T	200	33	X²
016	05	5	053	04	04	090	16	16	127	04	4	164	03	3	201	95	=
017	03	3	054	32	X:T	091	32	X:T	128	04	4	165	00	0	202	42	STD
018	00	0	055	22	INV	092	04	4	129	04	4	166	04	4	203	20	20
019	00	0	056	52	EE	093	05	5	130	61	GTD	167	05	5	204	43	RCL
020	00	0	057	58	FIX	094	61	GTD	131	00	00	168	61	GTD	205	13	13
021	04	4	058	40	IND	095	00	00	132	50	50	169	00	00	206	33	X²
022	04	4	059	10	10	096	50	50	133	32	X:T	170	50	50	207	65	x
023	42	STD	060	69	DP	097	42	STD	134	02	2	171	32	X:T	208	32	X:T
024	00	00	061	06	06	098	17	17	135	04	4	172	03	3	209	95	=
025	91	R/S	062	22	INV	099	32	X:T	136	04	4	173	06	6	210	42	STD
026	42	STD	063	58	FIX	100	01	1	137	05	5	174	02	2	211	21	21
027	01	01	064	92	RTN	101	03	3	138	61	GTD	175	04	4	212	87	IFF
028	44	SUM	065	42	STD	102	61	GTD	139	00	00	176	02	2	213	01	01
029	00	00	066	13	13	103	00	00	140	50	50	177	02	2	214	02	02
030	86	STF	067	32	X:T	104	50	50	141	42	STD	178	03	3	215	41	41
031	40	IND	068	01	1	105	42	STD	142	22	22	179	00	0	216	53	(
032	01	01	069	04	4	106	20	20	143	32	X:T	180	61	GTD	217	43	RCL
033	43	RCL	070	61	GTD	107	32	X:T	144	02	2	181	00	00	218	15	15
034	00	00	071	00	00	108	02	2	145	01	1	182	50	50	219	85	+
035	69	DP	072	50	50	109	05	5	146	03	3	183	68	NDF	220	43	RCL
036	03	03	073	42	STD	110	04	4	147	01	1	184	68	NDF	221	13	13

Fig. 6 Listing für BIEGSYM X/Y

222	55	+	287	43	RCL	352	44	SUM	417	02	2	482	02	2	547	05	05
223	02	2	288	16	16	353	28	28	418	42	STD	483	42	STD	548	43	RCL
224	54	)	289	65	*	354	43	RCL	419	08	08	484	08	08	549	29	29
225	65	*	290	32	X↯T	355	08	08	420	22	INV	485	22	INV	550	75	-
226	32	X↯T	291	43	RCL	356	65	*	421	86	STF	486	86	STF	551	43	RCL
227	43	RCL	292	17	17	357	43	RCL	422	40	IND	487	40	IND	552	25	25
228	17	17	293	95	=	358	21	21	423	01	01	488	01	01	553	65	*
229	95	=	294	42	STD	359	95	=	424	68	NOP	489	71	SBR	554	43	RCL
230	42	STD	295	18	18	360	44	SUM	425	71	SBR	490	04	04	555	27	27
231	19	19	296	65	*	361	29	29	426	03	03	491	40	40	556	33	X²
232	65	*	297	32	X↯T	362	22	INV	427	80	80	492	86	STF	557	95	=
233	32	X↯T	298	95	=	363	86	STF	428	86	STF	493	40	IND	558	71	SBR
234	95	=	299	44	SUM	364	02	02	429	40	IND	494	01	01	559	01	01
235	44	SUM	300	20	20	365	69	DP	430	01	01	495	92	RTN	560	15	15
236	21	21	301	92	RTN	366	29	29	431	92	RTN	496	68	NOP	561	87	IFF
237	87	IFF	302	68	NOP	367	43	RCL	432	68	NOP	497	68	NOP	562	00	00
238	00	00	303	68	NOP	368	09	09	433	68	NOP	498	68	NOP	563	05	05
239	02	02	304	68	NOP	369	92	RTN	434	68	NOP	499	68	NOP	564	90	90
240	62	62	305	22	INV	370	68	NOP	435	76	LBL	500	76	LBL	565	22	INV
241	53	(	306	87	IFF	371	68	NOP	436	12	B	501	18	C'	566	49	PRD
242	43	RCL	307	02	02	372	68	NOP	437	01	1	502	68	NOP	567	26	26
243	16	16	308	03	03	373	68	NOP	438	42	STD	503	86	STF	568	43	RCL
244	85	+	309	14	14	374	68	NOP	439	08	08	504	02	02	569	26	26
245	43	RCL	310	01	1	375	76	LBL	440	43	RCL	505	91	R/S	570	71	SBR
246	14	14	311	94	+/-	376	11	A	441	09	09	506	68	NOP	571	00	00
247	55	÷	312	49	PRD	377	01	1	442	99	PRT	507	68	NOP	572	89	89
248	02	2	313	08	08	378	42	STD	443	91	R/S	508	68	NOP	573	33	X²
249	54	)	314	43	RCL	379	08	08	444	87	IFF	509	68	NOP	574	94	+/-
250	65	*	315	08	08	380	43	RCL	445	01	01	510	76	LBL	575	65	*
251	32	X↯T	316	65	*	381	09	09	446	04	04	511	13	C	576	43	RCL
252	43	RCL	317	43	RCL	382	99	PRT	447	56	56	512	69	DP	577	25	25
253	17	17	318	17	17	383	91	R/S	448	71	SBR	513	00	00	578	85	+
254	95	=	319	95	=	384	71	SBR	449	00	00	514	02	2	579	43	RCL
255	42	STD	320	44	SUM	385	00	00	450	81	81	515	02	2	580	28	28
256	18	18	321	25	25	386	65	65	451	91	R/S	516	01	1	581	95	=
257	65	*	322	87	IFF	387	91	R/S	452	87	IFF	517	07	7	582	71	SBR
258	32	X↯T	323	01	01	388	71	SBR	453	00	00	518	03	3	583	01	01
259	95	=	324	03	03	389	00	00	454	04	04	519	06	6	584	05	05
260	44	SUM	325	38	38	390	73	73	455	60	60	520	04	4	585	43	RCL
261	20	20	326	43	RCL	391	91	R/S	456	71	SBR	521	00	0	586	29	29
262	92	RTN	327	08	08	392	87	IFF	457	00	00	522	69	DP	587	71	SBR
263	68	NOP	328	65	*	393	01	01	458	89	89	523	04	04	588	01	01
264	68	NOP	329	43	RCL	394	04	04	459	91	R/S	524	69	DP	589	15	15
265	87	IFF	330	19	19	395	04	04	460	71	SBR	525	05	05	590	43	RCL
266	01	01	331	95	=	396	71	SBR	461	00	00	526	43	RCL	591	20	20
267	02	02	332	44	SUM	397	00	00	462	97	97	527	25	25	592	55	+
268	87	87	333	27	27	398	81	81	463	91	R/S	528	71	SBR	593	43	RCL
269	43	RCL	334	87	IFF	399	87	IFF	464	71	SBR	529	00	00	594	17	17
270	15	15	335	00	00	400	00	00	465	01	01	530	97	97	595	95	=
271	65	*	336	03	03	401	04	04	466	05	05	531	87	IFF	596	34	IX
272	32	X↯T	337	46	46	402	07	07	467	91	R/S	532	01	01	597	71	SBR
273	43	RCL	338	43	RCL	403	91	R/S	468	71	SBR	533	05	05	598	01	01
274	17	17	339	08	08	404	71	SBR	469	01	01	534	65	65	599	25	25
275	95	=	340	65	*	405	00	00	470	15	15	535	22	INV	600	43	RCL
276	42	STD	341	43	RCL	406	89	89	471	71	SBR	536	49	PRD	601	21	21
277	19	19	342	18	18	407	71	SBR	472	02	02	537	27	27	602	55	+
278	65	*	343	95	=	408	01	01	473	65	65	538	43	RCL	603	43	RCL
279	32	X↯T	344	44	SUM	409	85	85	474	71	SBR	539	27	27	604	17	17
280	95	=	345	26	26	410	71	SBR	475	03	03	540	71	SBR	605	95	=
281	44	SUM	346	43	RCL	411	03	03	476	05	05	541	00	00	606	34	IX
282	21	21	347	08	08	412	05	05	477	92	RTN	542	81	81	607	71	SBR
283	87	IFF	348	65	*	413	92	RTN	478	68	NOP	543	43	RCL	608	01	01
284	00	00	349	43	RCL	414	68	NOP	479	68	NOP	544	28	28	609	33	33
285	03	03	350	20	20	415	76	LBL	480	76	LBL	545	71	SBR	610	98	ADV
286	01	01	351	95	=	416	16	A'	481	17	B'	546	01	01	611	91	R/S

Fig. 6 (Fortsetzung)

612	68	NOP	630	76	LBL	648	43	RCL	666	98	ADV	684	15	15	702	89	89
613	68	NOP	631	10	E*	649	16	16	667	91	R/S	685	91	R/S	703	75	-
614	68	NOP	632	71	SBR	650	55	+	668	68	NOP	686	71	SBR	704	43	RCL
615	76	LBL	633	00	00	651	43	RCL	669	68	NOP	687	00	00	705	26	26
616	19	D*	634	81	81	652	20	20	670	76	LBL	688	89	89	706	95	=
617	71	SBR	635	91	R/S	653	75	-	671	15	E	689	42	STD	707	42	STD
618	01	01	636	71	SBR	654	43	RCL	672	87	IFF	690	16	16	708	16	16
619	41	41	637	00	00	655	24	24	673	01	01	691	61	GTD	709	61	GTD
620	91	R/S	638	89	89	656	65	x	674	06	06	692	06	06	710	06	06
621	71	SBR	639	43	RCL	657	43	RCL	675	94	94	693	39	39	711	39	39
622	01	01	640	22	22	658	15	15	676	71	SBR	694	71	SBR	712	68	NOP
623	51	51	641	55	+	659	55	+	677	00	00	695	00	00	713	68	NOP
624	91	R/S	642	43	RCL	660	43	RCL	678	81	81	696	81	81	714	68	NOP
625	71	SBR	643	17	17	661	21	21	679	75	-	697	42	STD	715	68	NOP
626	01	01	644	85	+	662	95	=	680	43	RCL	698	15	15	716	68	NOP
627	61	61	645	43	RCL	663	71	SBR	681	27	27	699	91	R/S	717	00	0
628	98	ADV	646	23	23	664	01	01	682	95	=	700	71	SBR	718	00	0
629	91	R/S	647	65	x	665	71	71	683	42	STD	701	00	00	719	00	0

Fig. 6 (Fortsetzung)

Tabelle 1 Belegung der Datenregister

Reg.	Inhalt	Reg.	Inhalt	Reg.	Inhalt
00	nicht belegt	10	n für Komma	20	I_x
01	Flag 0 V 1	11	nicht belegt	21	I_y
02	nicht belegt	12	nicht belegt	22	F_N
03	nicht belegt	13	b	23	M_x
04	nicht belegt	14	h	24	M_y
05	nicht belegt	15	x, x_S	25	A
06	nicht belegt	16	y, y_S	26	$S_{\bar{x}}$
07	nicht belegt	17	A_i	27	$S_{\bar{y}}$
08	Faktor f	18	$S_{\bar{x}i}$	28	$I_{\bar{x}}$
09	Numerateur k	19	$S_{\bar{y}i}$	29	$I_{\bar{y}}$

Flags 0, 1, 2

Fig. 6 gibt das Listing des Programms wieder. Mit 711 Programmschritten bei 30 Datenspeichern (3 2nd Op 17) sind drei Spuren zur Aufzeichnung auf Magnetkarten erforderlich. Die Belegung der Datenregister geht aus Tabelle 1 hervor.

4 Anwendungsbeispiele

Die Beispiele zeigen einige der möglichen Anwendungen des Programms. Sie sind auch geeignet, um zu testen, ob das Listing vom Nutzer fehlerfrei übernommen wurde. Dem Leser wird empfohlen, diese Beispiele an Hand der Programm-Instruktionen abzuarbeiten und die den Beispielen beigelegten Tafeln mit den Befehlsfolgen nur zum Vergleich heranzuziehen.

1. Beispiel

Für den Querschnitt nach Fig. 2 sind die Querschnittswerte zu ermitteln.

BIEGSYM X	
1.	
2.010	X
32.200	A
1910.000	JX
148.000	JY
2.	
21.000	B
1.600	H
2.000	X
10.000	Y
3.	
20.000	X
33.500	A
2140.000	JX
117.000	JY
4.	
0.850	B
1.700	H
0.000	X
4.150	Y
	GES.
130.010	A
12.103	X
11829.598	JX
7720.209	JY
9.539	IX
7.706	IY

Fig. 7 Druckprotokoll zum 1. Beispiel

Lösung:

Die Bezugsachse wird an die linke Kante des Querschnitts gelegt. Tabelle 2 gibt die Befehlsfolge an, in Fig. 7 ist das Druckprotokoll wiedergegeben.

Gibt man die Werte in Potenzen von cm ein, so erhält man die Ergebnisse ebenfalls in Potenzen von cm.

2. Beispiel

Für den nach Fig. 8 belasteten Träger sind die Normalspannungen in den Eckpunkten des Querschnitts zu berechnen. Die Kraft F betrage 1 600 N.

Tabelle 2 Befehlsfolge für das 1. Beispiel

Schritt	Eingabe	Taste	Anzeige	Bemerkungen
0.		RST	0.	
		R/S	3645300044.	
0.1	0	R/S	3645300044.	
	3	R/S	1.	Festkomma 3
1.3	2,01	B	1.	Daten für Pos. 1
	2,01	R/S	2.01	[200 DIN 1026
	32,2	R/S	32.2	
	1910	R/S	1910.	
	148	R/S	2.	
1.2	21	A'	2.	Daten für Pos. 2
	1,6	R/S	21.	BI 16 · 210
	2	R/S	1.6	
	10	R/S	2.	
		R/S	3.	
1.3	20	B	3.	Daten für Pos. 3
	33,5	R/S	20.	I 200 DIN 1025
	2140	R/S	33.5	
	117	R/S	2140.	
		R/S	4.	
3.		C'	4.	Lochabzug
1.2		A'	4.	Bohrung Ø 17
	0,85	R/S	0.85	
	1,7	R/S	1.7	
	0	R/S	0.	
	4,15	R/S	5.	
4.		C	7.705949588	Berechnung und Ausdruck der Querschnittswerte des zusammengesetzten Querschnitts siehe Fig. 7

```

BIEGSYM X
  1.
  50.00      B
  60.00      H
 -25.00      X
  2.
  30.00      B
  25.00      H
 -15.00      X
   5.00      Y
      GES.
 1500.00     A
   0.00      X
362500.00   JX
512500.00   JY
  15.55     IX
  18.48     IY

  0.00      FN
375877.05   MX
-136808.06  MY

  25.00      X
  30.00      Y
  37.78     SIGM

 -25.00      X
  30.00      Y
  24.43     SIGM

 -25.00      X
 -30.00      Y
 -37.78     SIGM

  25.00      X
 -30.00      Y
 -24.43     SIGM
    
```

Fig. 9 Druckprotokoll zum 2. Beispiel

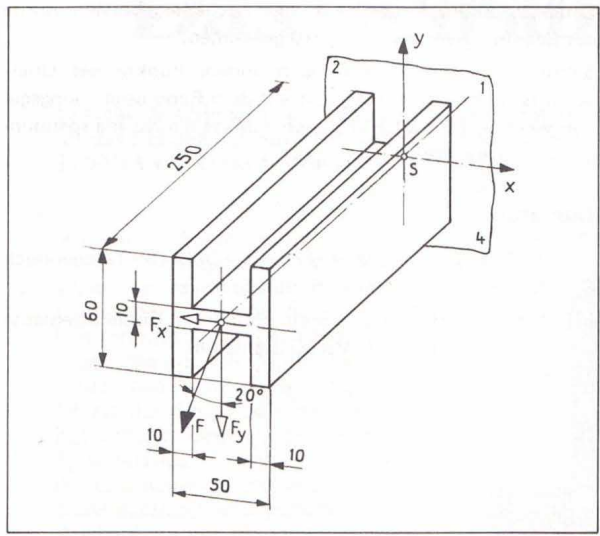


Fig. 8 Träger mit Belastung

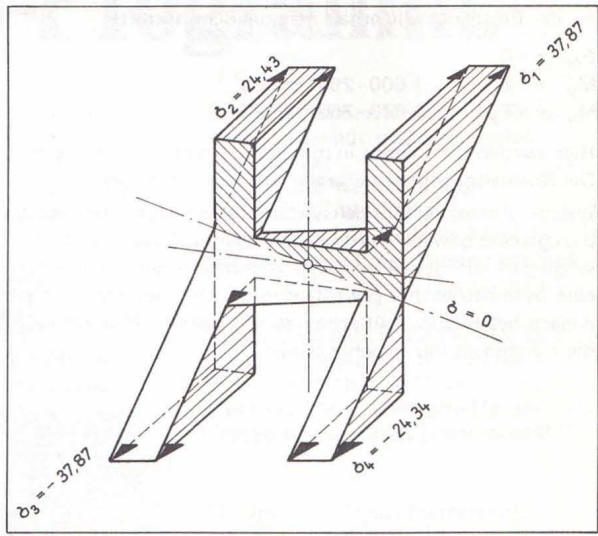


Fig. 10 Spannungsverteilung, Normalspannungen in N/mm²

Tabelle 3 Befehlsfolge für das 2. Beispiel

Schritt	Eingabe	Taste	Anzeige	Bemerkungen
0.		RST	0.	
0.1	0	R/S	36 45300044.	$x = \bar{x}$ Festkomma 2
0.3	2	R/S	36 45300044.	
		R/S	1.	
1.1		A	1.	
	50	R/S	50.	
	60	R/S	60.	
	— 25	R/S	2.	
3.		C'	2.	
1.2		A'	2.	
	30	R/S	30.	
	25	R/S	25.	
	— 15	R/S	— 15.	
	5	R/S	3.	
4.		C	18.48422751	
5.	0	D'	0.	$M_x = 1600 \cdot 250 \cdot \cos 20^\circ$ $M_y = -1600 \cdot 250 \cdot \sin 20^\circ$
	375877,0483	R/S	375877,0483	
	— 136808,0573	R/S	— 136808,0573	
6.1	25	E	25.	$= \sigma_1$
	30	R/S	37.78062984	
6.1	— 25	E	— 25.	$= \sigma_2$
	30	R/S	24.4335023	
6.1	— 25	E	— 25.	$= \sigma_3$
	— 30	R/S	— 37.78062984	
6.1	25	E	25.	$= \sigma_4$
	— 30	R/S	— 24.4335023	

Lösung:

An der Einspannstelle erhält man die Schnittkräfte

$$F_N = 0$$

$$M_x = F_y l = 1600 \cdot 250 \cdot \cos 20^\circ$$

$$M_y = -F_x l = -1600 \cdot 250 \cdot \sin 20^\circ$$

Hier werden die Längen in mm und die Kraft in N eingesetzt. Die Normalspannungen ergeben sich dann in N/mm^2 .

Welche Achse bei doppelsymmetrischen Querschnitten als Bezugsachse gewählt wird, ist gleichgültig. Wegen der Voraussetzungen, die dem Programm zugrunde liegen, muß jedoch eine Symmetrieachse gewählt werden. Der Querschnitt kann danach beliebig in Teilflächen zerlegt werden. Hier wird z. B. die x-Achse als Bezugsachse gewählt.

Aus Tabelle 3 ist die Befehlsfolge ersichtlich, Fig. 9 gibt das Druckprotokoll wieder. Aus den Rechenergebnissen wurde der Spannungsverlauf in Fig. 10 gewonnen.

Selbstverständlich können auch andere Punkte des Querschnitts, z. B. solche, die nicht auf dem Rand liegen, eingegeben werden. Man erhält für diese Punkte die Normalspannungen in gleicher Weise.

Literatur

- [1] F. Sass, Ch. Bouché, A. Leitner: Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin: Springer.
- [2] Stahl im Hochbau, Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.). Düsseldorf: Verlag Stahleisen.