Eine programmgesteuerte Berechnung des vorgespannten Durchlaufträgers

Autor(en): **Cogliatti, Aldo**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **80 (1962)**

Heft 26

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-66179

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Eine programmgesteuerte Berechnung des vorgespannten Durchlaufträgers

DK 681.14:624.072.23

Von **Aldo Cogliatti,** in Firma Altorfer, Cogliatti und Schellenberg, Diplomingenieure S. I. A., und Dr. **Jakob Haller,** ber. Mathematiker, Zürich

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit den statischen Berechnungen des Altstetter-Viaduktes in Zürich sahen sich die Projektverfasser gezwungen, zeitsparende Methoden zu suchen für die gleichzeitige Bearbeitung einer grösseren Anzahl verschiedener, vorgespannter Durchlaufträger.

Bei der Brückenkonstruktion handelt es sich um eine Quartierverbindung zwischen Zürich-Altstetten und Zürich-Höngg, für welche die Bauarbeiten im Frühjahr 1961 begonnen wurden. Zusammen mit verschiedenen Auffahrtsrampen beträgt die Gesamtlänge der Brückenträger rd. 2000 m. Die bereits im Projekt-Wettbewerb und später bei der Auftragserteilung verlangten Termine, wie auch die bekannte Fehlerempfindlichkeit vorgespannter Tragwerke, legten den Versuch nahe, die Rechenarbeit für die Spannungsnachweise mit elektronischen Computern durchzuführen.

Im folgenden werden die von den Artikelverfassern entwickelten Rechenprogramme näher beschrieben, und einige Gedankengänge sollen die dabei aufgetretenen Probleme beleuchten.

Das einzige Ziel der Arbeit war von Anfang an der Nachweis der Längsrandspannungen, wie er im Brückenbau üblicherweise von den Behörden verlangt wird. Wie weit sich der ganze Berechnungsweg automatisieren liess, entschieden die Termine. Laufend wurde der zurückgelegte und der verbleibende Weg verglichen, und über die nötigen Abkürzungen oder möglichen Erweiterungen wurde neu entschieden.

Es ist natürlich, dass ein so entstandenes Programm keinen Anspruch auf organisatorische Vollkommenheit, dafür aber auf gute und breite Verwendbarkeit — im berechnungspraktischen Sinne — erheben kann, besonders in bezug auf die Anpassungsfähigkeit an verschiedenartige Konstruktionen.

Bei der Wahl des Computers entschieden wir uns für die elektronische Datenverarbeitungsanlage IBM 650. Sie war uns bei Beginn der Arbeiten (Herbst 1959) am leichtesten zugänglich.

2. Beschreibung der Programme

In der heute zur Verfügung stehenden Form leistet das mehrstufige Programm den Nachweis der Randbiegespannungen am vorgespannten Durchlaufträger (Bild 1) für die Hauptlasten g, p, P, V entsprechend den üblichen Berechnungsweisen.

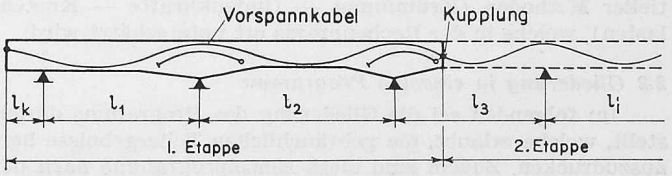


Bild 1. Schema eines möglichen Tragsystems für den programmierten Spannungsnachweis

2.1. Statische Voraussetzungen und Methoden

Der Berechnungsgang beruht auf folgenden statischen Voraussetzungen:

1. Frei drehbare, unnachgiebige Lagerung.
2. Vernachlässigbare Krümmung der Balkenaxe im Grundriss.
3. Horizontale Hauptaxe der Querschnitte.
4. Beschränkte Neigung der Vorspann-Kabelaxen gegen Schweraxe und Horizontale.

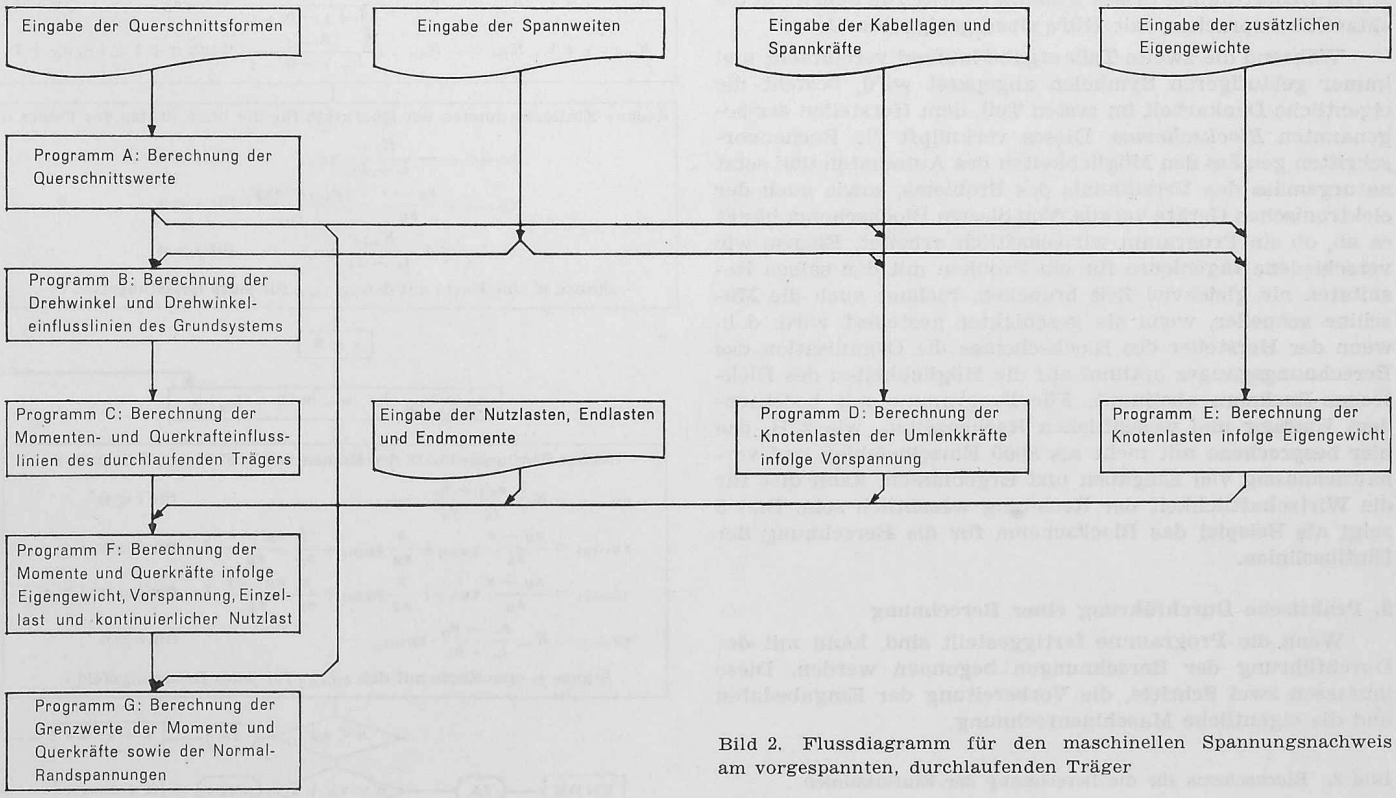


Bild 2. Flussdiagramm für den maschinellen Spannungsnachweis am vorgespannten, durchlaufenden Träger

Unter allfälliger Berücksichtigung von 3. und 4. können also beliebig variiert werden:

a) Spannweiten, Felderzahl und Kragarme.
b) Querschnittsform und Verlauf der Trägheitsmomente.
c) Grösse und Lage der Vorspannkräfte.
d) Anzahl der Spannglieder.
e) Lage von Abspannstellen oder Kupplungen der Spannglieder.
f) Stärke und Lage der schlaffen Armierung.

Alle Eingaben und Resultate benützen eine Einteilung der Spannweiten in 12 Abschnitte. Die vorgängige Abstimmung konstruktiv bedingter Unstetigkeiten auf diese Teilung erhöht die Rechengenauigkeit und erspart manuelle Anpassungen der Eingaben.

Mit Rücksicht auf die im Brückenbau von den Behörden verlangten kontrollierbaren statischen Nachweise mit Zwischenergebnissen (z. B. Drehwinkel, Einflusslinien, Grenzwerte) wird der Spannungsnachweis durch Auswertung der Momenteneinflusslinien geführt. Für alle Hauptlasten (*g, p, P, V*) erfolgt dies nach entsprechender Knotenlastbildung in einheitlicher Art.

Allerdings waren für die Bestimmung der *Mv* spezielle Verfeinerungen notwendig, um die Rechenungenauigkeit sicher auf wenige Prozente beschränken zu können. Der Grund dafür liegt in der bekannten Empfindlichkeit differentieller Methoden (Krümmung — Umlenkkräfte — Knotenlasten), welche in der Rechenpraxis oft unterschätzt wird.

2.2 Gliederung in einzelne Programme

Im folgenden sei die Gliederung des Programms dargestellt, welche erlaubt, die gebräuchlichen Teilergebnisse herauszudrucken. Zudem sind diese Einzelprogramme nach der Forderung aufgebaut, verschiedene Korrekturen von Eingabedaten mit möglichst wenig zusätzlicher Rechenzeit verfolgen zu können. So besteht z. B. die Möglichkeit, für Vorberechnungen spezielle, rascher ablaufende Teilprogramme zu rechnen, welche die Ergebnisse weniger detailliert liefern.

Bild 2 zeigt das sog. Flussdiagramm, welches eine schematische Uebersicht über den Fluss der Daten und über das Zusammenspiel der einzelnen Programme A bis G gibt.

2.3 Die Programmier-Technik

Bekanntlich umfasst das «Programmieren» zwei Phasen: 1. Die lückenlose Darstellung des gesamten Rechenablaufs. 2. Die Uebertragung dieses Ablaufs Schritt für Schritt in die «Maschinensprache», mit Hilfe eines geeigneten Code.

Während die zweite Teilaufgabe laufend vereinfacht und immer geläufigeren Symbolen angepasst wird, besteht die eigentliche Denkarbeit im ersten Teil, dem Herstellen des sogenannten *Blockschemas*. Dieses verknüpft die Rechenvorschriften gemäss den Möglichkeiten des Automaten und setzt naturgemäss das Verständnis des Problems, sowie auch der elektronischen Geräte voraus. Von diesem Blockschema hängt es ab, ob ein Programm wirtschaftlich arbeitet. Ebenso wie verschiedene Ingenieure für ein Problem mit den selben Resultaten nie gleichviel Zeit brauchen, rechnet auch die Maschine schneller, wenn sie geschickter gesteuert wird, d. h. wenn der Hersteller des Blockschemas die Organisation des Berechnungsganges optimal auf die Möglichkeiten des Elektronen-Rechners abstimmt. Für Programme mit bedeutendem Umfang und wesentlichen Rechenzeiten, wie z. B. das hier besprochene mit mehr als 8000 Einzelbefehlen und verhältnismässig viel Eingaben und Ergebnissen, kann dies für die Wirtschaftlichkeit der Rechnung wesentlich sein. Bild 3 zeigt als Beispiel das Blockschema für die Berechnung der Einflusslinien.

3. Praktische Durchführung einer Berechnung

Wenn die Programme fertiggestellt sind, kann mit der Durchführung der Berechnungen begonnen werden. Diese umfassen zwei Schritte, die Vorbereitung der Eingabedaten und die eigentliche Maschinenrechnung.

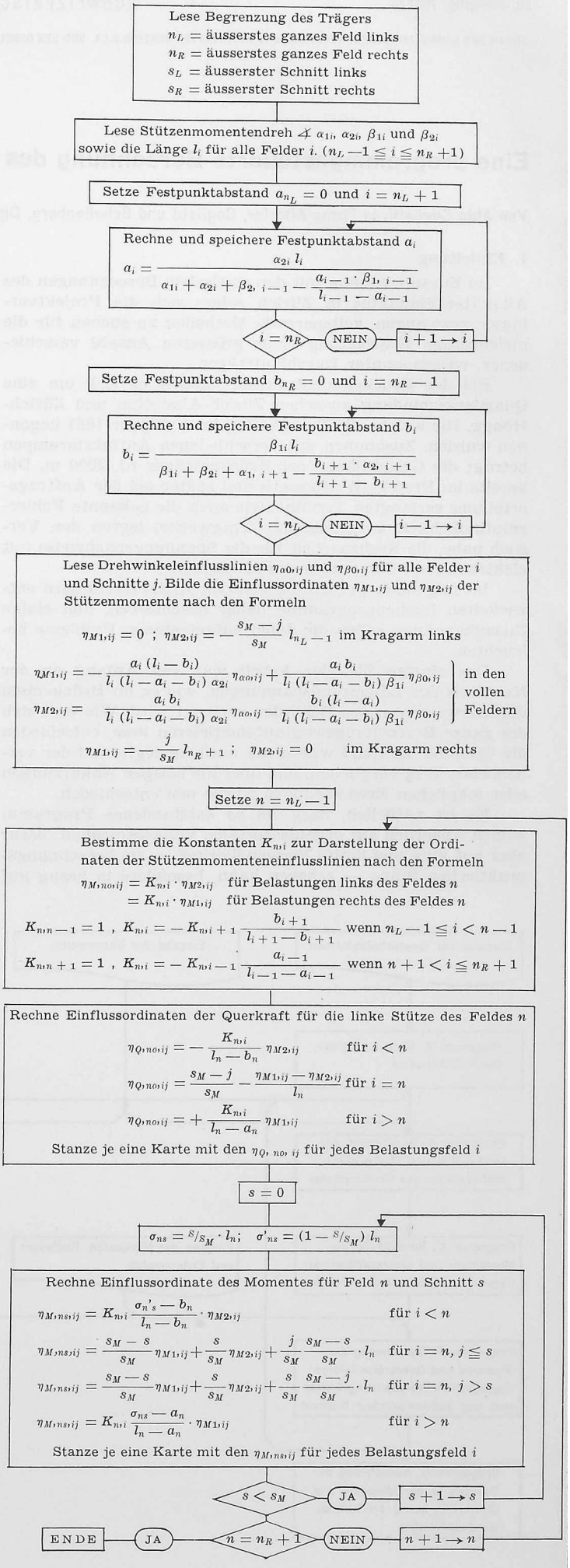


Bild 3. Blockschema für die Berechnung der Einflusslinien

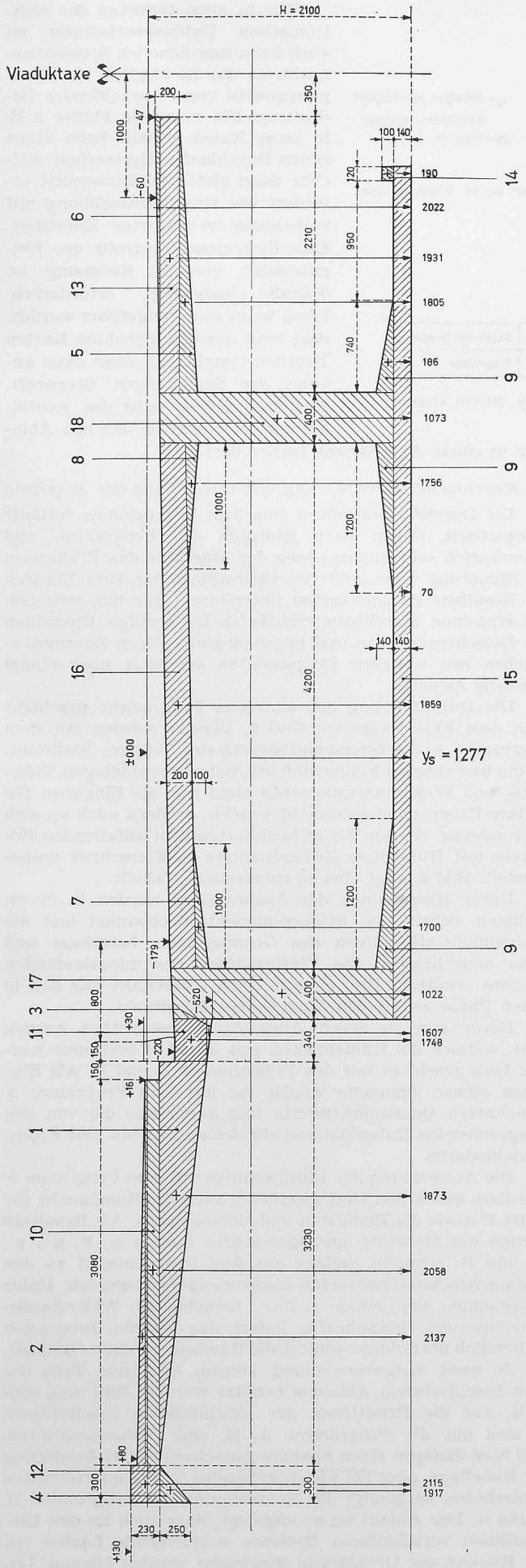


Bild 4. Beispiel eines Trägerquerschnittes (System 40, Feld 12, Schnitt 06). Masstab 1:50

3.1 Vorbereitung der Eingabedaten

Erste Grundlage bildet natürlich, wie für jeden Spannungsnachweis, ein Vorprojekt. Dieses besteht meistens in Skizzen, Plänen und Vorberechnungen und eignet sich in dieser Form nicht direkt als Eingabe für die Maschine, welche nur numerische und alphabetische Angaben in genau festgelegter Form entgegennehmen kann.

In sorgfältiger Arbeit müssen daher die Eingabedaten für die verschiedenen Programme zusammengestellt werden, was etwa dem bekannten Vorausstellen von Grundlagen, Figuren usw. in der statischen Berechnung entspricht. Nur ist für diese Arbeit mehr Zeit erforderlich, weil die Maschine nur genügend detailliertes und passend verschlüsseltes Material verarbeiten kann, während die «statische Schreibweise» schon hoch entwickelt ist, so dass mit einigen Zeichen, Figuren und Zahlen sehr viel ausgesagt werden kann, ohne Missverständnisse hervorzurufen.

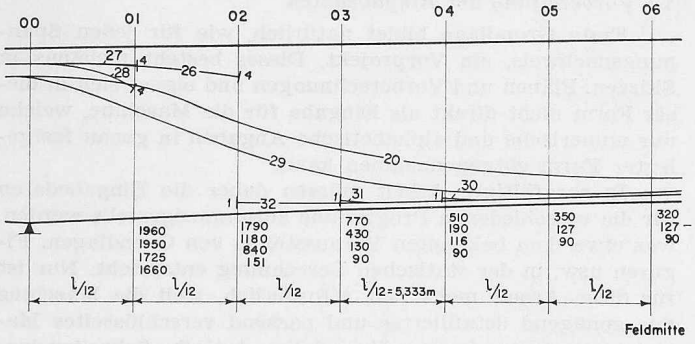
Es ist zweckmässig, die Eingaben in die Maschine vorerst auf besonders ausgearbeiteten Datenblättern zusammenzustellen, von welchen sie dann in Lochkarten übertragen werden. Bild 5 zeigt ein solches Datenblatt für die Berechnung der Querschnittswerte, welches für das in Bild 4 dargestellte Beispiel eines Trägerschnittes ausgefüllt ist. Die Verschlüsselung der Querschnittsgeometrie geschieht durch Aufteilung in einzelne, einfache Flächenelemente (Dreiecke, Rechtecke), deren Flächen, Trägheitsmomente und Schwerpunktslagen leicht angegeben werden können. Eine andere Möglichkeit des Verschlüsselns hätte z. B. in der koordinatenmässigen Angabe der Eckpunkte bestanden.

Im Datenblatt Bild 7 ist die Eingabe der Vorspannungsgrössen am Beispiel eines Trägerabschnittes gemäss Bild 6

System	Feld	Schnitt	Typ	Anzahl (05)	H (m)	Anzahl (02 - 03)	Kote über Hor. 390.00	Anzahl (04)
40	12	06	01	3	2,100	18	13,475	2
					b (m)	h (m)	f (m²)	y^* (m)
40	12	06	02		32,30	3,80	0,0000	1,873
					30,80	64		2,137
					3,40	46		1,607
					3,00	2,50		1,917
					22,10	1,44		1,805
					22,10	44		2,022
					10,00	1,18		1,700
					10,00	82		1,756
			02		31,40	1,40		1,86
			03		30,80	1,16		2,058
					3,40	2,60		1,748
					3,00	2,30		2,115
					22,10	1,56		1,931
					1,20	1,00		1,90
					68,10	1,40		70
					42,00	2,00		1,859
					4,00	1,761		10,32
			03		4,00	1,865	0,0000	1,073
			04		0,0000	0,0000	60	1,859
			04				41	70
			05				75	3,10
			05				75	1,20
			05				21	80
			06				60	3,10
			06				60	1,20
40	12	06	06		0,0000	0,0000	18	80

Bild 5. Datenblatt für Eingabe der Querschnittsgeometrie

Es bedeuten die Typen:
01 allgemeine Angaben
02 Dreieckflächen
03 Rechteckflächen
04 Schlaffe Armierung
05 Vorspann-Armierung
06 Flächenabzug für Nettoquerschnitt



403,153	403,223	403,289	403,347	403,394	403,437	403,475	Koten UK Brücke
2,230	2,192	2,158	2,132	2,117	2,106	2,100	Trägerhöhen

Bild 6. Beispiel für die Kabelführung (System 40, Feld 12, Schnitt 00 — 06). Höhen vierfach

Kartenart	System	Feld	Schnitt	Kabel Nr.	Kabeltyp	y_v	V_0	V_∞
15	40	12	0100	20	000	14948	1730	1557
				28	400	14883	200	180
				27	400	15183	188	170
				26	000	15193	188	170
				29	000	14593	1852	1666
			0200	20	000	14469	1750	1577
				26	400	15079	197	177
				29	000	14129	1844	1660
				32	100	13440	234	211
			0300	20	000	14117	1768	1591
				29	000	13777	1819	1637
				32	000	13437	234	211
				31	100	13647	245	220
			0400	20	000	13907	1781	1603
				29	000	13584	1799	1610
				32	000	13484	235	212
				31	000	13484	235	212
				30	100	13510	235	212
			0500	20	000	13787	1798	1618
				29	000	13564	1768	1591
				30	000	13527	236	212
				31	000	13527	236	212
				32	000	13527	236	212
			0600	20	000	13735	1810	1629
				29	000	13602	1766	1590
				30	000	13585	236	212
				31	000	13585	236	212
				32	000	13585	236	212
			0700	20	000	13851	1826	1643
				29	000	13628	1772	1595
				30	000	13591	236	212
				31	000	13591	236	212
				32	000	13591	236	212
			0800	20	000	14032	1838	1654
				29	000	13712	1798	1618
15	40	12	0800	30	000	13732	247	222

Bild 7. Datenblatt für die Eingabe der Vorspannung. Es bedeuten die möglichen Kabeltypen:

000 Normaler Kabelpunkt
100 Kabelanfang
2xy Uebergang in das Kabel No. xy
3xy Hervorgehen aus dem Kabel No. xy
400 Kabelende
500 Kabelzusammenfassung
600 Kabelverzweigung
700 Kupplungsstelle links
800 Kupplungsstelle rechts

illustriert. Die einzelnen Kabel sind durch die Koordinaten und die Spannkräfte in den Zwölftelsschnitten gegeben. Typenbezeichnungen gestatten es, der Maschine mitzuteilen, wo beispielsweise ein Kabel beginnt, mit einem anderen zusammenläuft oder endet, oder wo eine Kupplungsstelle vorliegt.

Wie in allen Gebieten der elektronischen Datenverarbeitung ist auch beim maschinellen Spannungsnachweis die Richtigkeit der Ausgangswerte von entscheidender Bedeutung. Ein einzelner Fehler z. B. in einer Kabelordinate kann einen neuen Durchlauf nötig machen, welcher dann gleichviel Rechenzeit erfordert wie eine Nachrechnung mit vollständig veränderter Kabellage. Eine lückenlose Kontrolle der Eingabedaten vor der Rechnung ist deshalb unbedingt erforderlich. Diese kann so durchgeführt werden, dass man aus den gelochten Karten Tabellen erstellt und diese dann anhand der Zeichnungen überprüft. Auf diese Weise wird das Ausfüllen der Datenblätter und das Ablochen in einem Arbeitsgang kontrolliert.

3.2 Maschinelle Durchführung und Darstellung der Resultate

Die Durchführung eines einzelnen Programmes verläuft automatisch, indem nach Einlegen der Programm- und Datenkarten und Ingangsetzen der Maschine das Programm die Steuerung aller weiteren Operationen bis zum Stanzen der Resultate in Lochkarten übernimmt. Nur das zwischen den einzelnen Maschinendurchläufen notwendige Umordnen der Zwischenresultate und gegebenenfalls deren Zusammenmischen mit weiteren Eingabedaten erfordert noch einige manuelle Arbeit.

Die Durchführung der einzelnen Programme geschieht nach dem Flussdiagramm Bild 2. Vorerst werden mit dem Programm A die Querschnittswerte des Trägers bestimmt. Da die berechneten Flächeninhalte, Schwerpunktslagen, Trägheits- und Widerstandsmomente nicht nur als Eingaben für spätere Programme gebraucht werden, sondern auch an sich interessieren, werden die in Lochkartenform anfallenden Resultate mit Hilfe eines Zeilendruckers in Klarschrift umgewandelt. Bild 8 zeigt eine so entstandene Tabelle.

Unter Hinzunahme der Spannweiten werden in einem nächsten Schritt die Stützenmomentendrehwinkel und die Drehwinkeleinflusslinien des Grundsystems berechnet und darin anschliessend die Einflusslinien des durchlaufenden Trägers ermittelt. Bild 9 zeigt einen Ausschnitt aus den in dieser Phase erhaltenen Momenteneinflusslinien.

Bevor nun zu deren Auswertung geschritten werden kann, müssen die Knotenlasten von g und V bestimmt werden. Dies geschieht mit den Programmen D und E. Als Eingaben dienen einerseits wieder die mit dem Programm A berechneten Querschnittswerte und anderseits die von den entsprechenden Datenblättern abgelochten Kabel- und Eigengewichtsdaten.

Die Auswertung der Einflusslinien mit dem Programm F erfordert neben den Umlenkkräften noch die Konstanten für p und P sowie die Endlasten und Endmomente. Als Resultate werden die Momente und Querkräfte infolge g, V, p^+, p^-, P^+ und P^- erhalten, welche mit dem Programm G zu den entsprechenden Grenzwerten zusammengefasst werden. Unter Hinzunahme der schon früher berechneten Widerstandsmomente und Spannkräfte liefert das gleiche Programm schliesslich als Schlussresultat die Randspannungen (Bild 10).

Je nach Aufgabenstellung können auch nur Teile des oben beschriebenen Ablaufes benützt werden. Will man sich z. B. auf die Ermittlung der Einflusslinien beschränken, so sind nur die Programme A, B, und C durchzuführen. Will man dagegen einen Spannungsnachweis nach Aenderung der Kabellage, aber bei gleichbleibenden Trägerquerschnitten wiederholen, so genügt die Neurechnung der Programme D, F und G. Der Ablauf ist so angelegt, dass auch an den Einflusslinien verschiedener Systeme ausgewertete Lasten vor der Bildung der Grenzwerte überlagert werden können. Dadurch wird die Berücksichtigung der Bauzustände im Spannungsnachweis möglich.

TRAEGER NO.40 QUERSCHNITTSWERTE

FELD	SCHNITT	F1	F2	F3	YS1	YS2	YS3	J1	J2	J3	WO1	WO2	WO3	WU1	WU2	WU3
11	0	4.986	5.043	5.178	.804	.800	.807	1.131	1.156	1.166	2.025	2.053	2.097	1.407	1.445	1.445
11	1	4.998	5.055	5.190	.812	.809	.812	1.158	1.187	1.188	2.056	2.098	2.110	1.427	1.466	1.463
11	2	5.011	5.052	5.187	.820	.820	.816	1.186	1.214	1.216	2.087	2.135	2.125	1.447	1.481	1.491
11	3	5.023	5.064	5.199	.827	.829	.820	1.213	1.235	1.251	2.117	2.163	2.157	1.466	1.489	1.525
11	4	5.036	5.077	5.212	.836	.839	.827	1.242	1.259	1.289	2.151	2.192	2.197	1.487	1.500	1.559
11	5	5.049	5.090	5.225	.843	.846	.835	1.269	1.288	1.315	2.181	2.225	2.227	1.505	1.523	1.575
11	6	5.062	5.103	5.238	.851	.853	.845	1.299	1.325	1.338	2.214	2.264	2.255	1.526	1.553	1.585
11	7	5.073	5.094	5.274	.859	.859	.854	1.328	1.357	1.362	2.245	2.296	2.284	1.546	1.580	1.595
11	8	5.229	5.244	5.437	.955	.952	.955	1.724	1.764	1.767	2.649	2.697	2.712	1.805	1.853	1.851
11	9	5.525	5.514	5.765	1.029	1.023	1.033	2.281	2.323	2.341	3.111	3.141	3.211	2.216	2.271	2.267
11	10	6.106	6.089	6.353	1.061	1.051	1.071	3.128	3.158	3.219	3.648	3.644	3.800	2.949	3.004	3.005
11	11	6.987	6.966	7.275	1.094	1.084	1.110	4.114	4.139	4.252	4.196	4.182	4.411	3.762	3.818	3.831
12	0	8.122	8.101	8.410	1.136	1.126	1.154	5.269	5.276	5.458	4.814	4.778	5.074	4.640	4.687	4.728
12	1	6.182	6.167	6.463	1.207	1.201	1.219	4.387	4.453	4.506	4.454	4.492	4.629	3.635	3.708	3.698
12	2	5.446	5.415	5.711	1.312	1.317	1.301	3.495	3.554	3.610	4.131	4.225	4.212	2.664	2.699	2.775
12	3	5.425	5.394	5.690	1.296	1.312	1.272	3.393	3.395	3.570	4.059	4.138	4.152	2.618	2.588	2.806
12	4	5.413	5.376	5.685	1.287	1.309	1.255	3.334	3.278	3.575	4.017	4.058	4.149	2.590	2.503	2.848
12	5	5.404	5.367	5.676	1.281	1.305	1.246	3.291	3.209	3.560	3.986	4.007	4.140	2.570	2.458	2.858
12	6	5.399	5.362	5.671	1.277	1.302	1.242	3.268	3.182	3.541	3.969	3.986	4.125	2.559	2.444	2.852
12	7	5.404	5.367	5.676	1.281	1.305	1.246	3.291	3.209	3.560	3.986	4.007	4.140	2.570	2.458	2.858
12	8	5.413	5.376	5.685	1.287	1.309	1.255	3.334	3.278	3.575	4.017	4.058	4.149	2.590	2.503	2.848
12	9	5.425	5.394	5.690	1.296	1.312	1.272	3.393	3.395	3.570	4.059	4.138	4.152	2.618	2.588	2.806
12	10	5.446	5.415	5.711	1.312	1.317	1.301	3.495	3.554	3.610	4.131	4.225	4.212	2.664	2.699	2.775
12	11	6.182	6.167	6.463	1.207	1.201	1.219	4.387	4.453	4.506	4.454	4.492	4.629	3.635	3.708	3.698

Bild 8. Resultatblatt der Querschnittswerte. Es bedeuten: F Flächen, YS Schwerpunktabstand zur Bezugsaxe, J Trägheitsmomente bezüglich der horizontalen Hauptaxe, WO, WU Widerstandsmomente oben bzw. unten. Die Indizes 1, 2, 3 entsprechen den Betonquerschnitten (excl. Armierung), Nettoquerschnitten und Bruttoquerschnitten

TRAEGER NO.40 MOMENTENEINFLUSSLINIE FUER FELD 12 SCHNITT 5

LAST-STELLUNG	SCHNITT 1	SCHNITT 2	SCHNITT 3	SCHNITT 4	SCHNITT 5	SCHNITT 6	SCHNITT 7	SCHNITT 8	SCHNITT 9	SCHNITT 10	SCHNITT 11
FELD 8	.004	.008	.013	.017	.021	.024	.026	.026	.023	.019	.011
FELD 9	.014-	.031-	.048-	.065-	.080-	.091-	.097-	.096-	.087-	.070-	.041-
FELD 10	.063	.137	.213	.286	.348	.393	.416	.411	.372	.294	.171
FELD 11	.295-	.640-	.997-	1.329-	1.599-	1.774-	1.823-	1.718-	1.465-	1.082-	.588-
FELD 12	1.258	2.820	4.745	7.036	9.689	7.362	5.379	3.725	2.383	1.337	.563
FELD 13	.172-	.316-	.432-	.514-	.562-	.571-	.543-	.478-	.383-	.267-	.137-

TRAEGER NO.40 MOMENTENEINFLUSSLINIE FUER FELD 12 SCHNITT 6

LAST-STELLUNG	SCHNITT 1	SCHNITT 2	SCHNITT 3	SCHNITT 4	SCHNITT 5	SCHNITT 6	SCHNITT 7	SCHNITT 8	SCHNITT 9	SCHNITT 10	SCHNITT 11
FELD 8	.003	.006	.010	.013	.016	.018	.019	.019	.017	.014	.008
FELD 9	.011-	.023-	.036-	.048-	.059-	.067-	.071-	.071-	.064-	.051-	.030-
FELD 10	.047	.101	.157	.211	.256	.290	.307	.303	.274	.216	.126
FELD 11	.218-	.472-	.735-	.980-	1.179-	1.309-	1.345-	1.267-	1.080-	.798-	.434-
FELD 12	.929	2.096	3.560	5.341	7.453	9.906	7.376	5.202	3.385	1.927	.819
FELD 13	.251-	.462-	.630-	.750-	.820-	.834-	.793-	.698-	.560-	.390-	.200-

Bild 9. Resultatblatt von Einflusslinien

4. Entwicklungsmöglichkeiten

Obwohl die vorliegenden Programme für den Spannungsnachweis bereits einen hohen Grad der Abgeschlossenheit und Automatisierung aufweisen, sind noch eine Reihe von Weiterentwicklungen denkbar, beispielsweise in den folgenden Richtungen:

4.1 Einbezug weiterer Nachweise

Vorerst wird man daran denken, durch neue Programme, welche die bestehenden Ergebnisse verwenden, Zusatzbeanspruchungen, Durchbiegungen, Hauptzugspannungen oder Sicherheitsnachweise ebenfalls automatisch zu berechnen. Es ist denkbar, den Ablauf so zu vervollständigen, dass schliesslich alle üblichen Nachweise am vorgespannten Durchlaufträger in einer langen Kette einzelner Stufen elektronisch ermittelt werden. Das nachträgliche Anfügen solcher Zusätze dürfte aber zu einer starken Erhöhung der gesamten Rechenzeit führen, es sei denn, man könne die kritischen Schnitte auf einfache Weise aussuchen und für diese allein die Rechnung ablaufen lassen. Dies scheint aber vor allem wegen der Freiheit in der Querschnittsform schwierig zu sein, so dass es vorläufig noch wirtschaftlich bleiben wird, alle jene zusätzlichen Nachweise wie üblich zu führen, besonders weil die dafür nötige Arbeitszeit in vielen Fällen nicht stark ins Gewicht fällt.

4.2 Weitere Fassung des Randspannungsnachweises — Automatische Korrekturen

Eine zweite Entwicklungsrichtung ist die vollständigere Automation des Randspannungsnachweises. Dabei denken wir vorerst an die Vereinfachung der Eingaben durch Uebertragung weiterer Arbeiten an die Maschine, wie beispielsweise die Ermittlung der Reibungs-, Schwind- und Kriechverluste an den Vorspannkräften. Es ist aber sogar denkbar, durch Rückkoppelung automatisch berechneter Korrekturen die Querschnittswerte und die Kabelführungen zu verbessern.

TRAEGER NO.40 RANDSPANNUNGEN IN KG/CM2 INFOLGE

FELD	SCHNITT	G+VO+KPP+GPP UNTEN	G+VO+KPP+GPP OBEN	G+VE+KPP+GPP UNTEN	G+VE+KPP+GPP OBEN	G+VO+KPM+GPM UNTEN	G+VO+KPM+GPM OBEN	G+VE+KPM+GPM UNTEN	G+VE+KPM+GPM OBEN
12	0	51.3-	52.3-	55.5-	38.0-	90.5-	15.8-	94.7-	1.4-
12	1	41.9-	88.3-	42.5-	75.5-	75.6-	61.4-	76.2-	48.6-
12	1*	42.1-	76.7-	42.7-	65.0-	75.7-	49.8-	76.3-	38.1-
12	2	45.6-	86.1-	39.5-	78.5-	83.4-	61.2-	77.3-	53.6-
12	2*	60.0-	78.0-	52.5-	71.2-	97.8-	53.1-	90.3-	46.3-
12	3	45.5-	88.3-	32.3-	85.1-	90.8-	57.7-	77.6-	54.4-
12	3*	59.9-	86.7-	45.2-	83.6-	105.2-	56.1-	90.5-	53.0-
12	4	42.8-	98.1-	24.3-	97.4-	97.4-	60.6-	78.8-	59.9-
12	4*	58.5-	95.4-	38.4-	95.0-	113.1-	58.0-	93.0-	57.5-
12	5	42.2-	106.4-	20.3-	107.0-	101.5-	65.4-	79.6-	66.0-
12	6	34.0-	112.0-	11.9-	112.6-	93.3-	70.9-	71.2-	71.6-
12	7	45.0-	105.4-	23.3-	105.8-	99.1-	68.0-	77.4-	68.4-
12	8	63.7-	94.3-	43.9-	93.4-	107.9-	63.9-	88.1-	63.0-
12	8*	48.3-	96.3-	30.0-	95.3-	92.5-	66.0-	74.2-	64.9-
12	9	68.4-	83.5-	54.0-	80.0-	99.5-	62.5-	85.1-	59.0-
12	9*	53.0-	86.1-	40.1-	82.3-	84.0-	65.1-	71.2-	61.3-
12	10	62.5-	80.4-	55.7-	72.8-	92.3-	60.8-	85.5-	53.2-
12	10*	49.0-	87.4-	43.5-	79.1-	78.8-	67.8-	73.3-	59.5-
12	11	41.8-	81.9-	43.0-	69.3-	74.3-	55.9-	75.5-	43.3-
12	11*	41.0-	88.2-	42.2-	74.9-	73.4-	62.2-	74.7-	49.0-

Bild 10. Resultatblatt der Randspannungen. Es bedeuten: G Eigengewicht, VO Vorspannung ($V_{t\ gleich\ o}$), VE Vorspannung ($V_{t\ gleich\ \infty}$), KPP Nutzlast p^+, KPM Nutzlast p^-, GPP Einzellast P^+, GMP Einzellast P^-. Schnitte mit * bedeuten Kraftsprung

Im idealen Endzustand würde dann die Maschine, ausgehend von relativ groben Vorprojekten, diese selbständig bis zur gewünschten Materialausnutzung korrigieren und als Resultate neben dem Spannungsnachweis auch das verbesserte Projekt liefern. Ein solches Ziel scheint dem konstruierenden Ingenieur wegen der vielen variablen Grössen jedoch nur schwer und nur nach langer Entwicklungsarbeit erreichbar. Möglicherweise ist aber eine Zwischenlösung zweckmässig, derart, dass die Maschine nicht wie im vorliegenden Ablauf den Spannungsnachweis allein liefert, sondern gleichzeitig auch Vorschläge für die Korrektur der Eingaben macht. Der Projektbearbeiter hätte diese dann nur auf ihre Verträglichkeit mit den konstruktiven Anforderungen zu prüfen und

gegebenenfalls notwendige Anpassungen vorzunehmen, worauf dieser Kreislauf bis zum Erreichen einer befriedigenden Lösung wiederholt würde.

4.3 Erweiterung der statischen Voraussetzungen

Schliesslich könnten die im zweiten Abschnitt aufgeführten statischen Voraussetzungen weiter gefasst werden, beispielsweise durch Elimination der einschränkenden Vorschriften über die Kabelneigung oder durch Erweiterung der Voraussetzungen über die Lagerung des Trägers und über die Krümmung der Balkenaxe im Grundriss. Ein auf möglichst allgemeine statische Systeme ausgerichtetes Programm bietet allerdings nicht nur Vorteile, da es längere Rechenzeiten erfordert und durch die vielen möglichen Fallunterscheidungen die Handhabung erschwert.

4.4 Uebergang auf leistungsfähigere Rechengeräte

Weil der vorliegende Ablauf an die Grenzen der verwendeten, nach heutigen Begriffen sowohl in Bezug auf Speicherkapazität (20 000 Dezimalstellen) wie auch in Bezug auf Rechengeschwindigkeit (einige 100 Operationen pro Sekunde) eher kleinen Anlage geht, kann der Uebergang auf einen bedeutend leistungsfähigeren Computer als weitere Entwicklungsmöglichkeit angesehen werden. Ein solches Vorgehen würde es ermöglichen, vorerst einmal die Anzahl der den gegenwärtigen Ablauf bildenden Einzelprogramme durch Zusammenfassen zu reduzieren und das zwischen den verschiedenen Programmen zur Zeit noch nötige Umordnen der Daten zu eliminieren, um damit die Durchführung von Berechnungen im heutigen Rahmen weiter zu vereinfachen. Vor allem aber dürfte die mit dem Uebergang auf eine grössere Anlage erzielbare Reduktion der Kosten pro Rechenoperation auch den Einbezug solcher Erweiterungen wirtschaftlich machen, welche im Vergleich zur manuellen Lösung unverhältnismässig viele Maschinenoperationen erfordern, wie etwa die unter 4.1 angeführten zusätzlichen Nachweise oder gar die maschinelle Ermittlung von Korrekturen gemäss Absatz 4.2.

5. Schlussbemerkungen

Ein Rückblick auf die durchgeführten Arbeiten zeigt, dass die bekannten Vorteile des elektronischen Rechnens sich auch beim Spannungsnachweis am vorgespannten, durchlaufenden Träger eingestellt haben, nämlich

a) Sicherheit. Die in die Rechengeräte eingebauten Selbstüberwachungseinrichtungen, welche Maschinenfehler mit an Gewissheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausschliessen und die weitgehende Reduktion der manuellen Eingriffe, welche zudem durch das Rechenprogramm kontrolliert werden können, ergeben eine grosse Sicherheit der maschinellen Rechnung. Sofern die Programme an Hand von Probebeispielen sorgfältig ausgeprüft sind, weisen die Resultate praktisch den gleichen Sicherheitsgrad auf wie die verwendeten Eingaben.

b) Vollständigkeit der Resultate. Die maschinell erhaltenen Resultate sind umfassender als diejenigen der Handrechnung, da man sich bei der letzteren aus Gründen des Aufwandes auf eine minimale Auswahl des unbedingt Notwendigen beschränken muss, während die Maschinenrechnung ohne wesentlichen Mehraufwand viel detailliertere Resultate zu liefern vermag.

c) Schnelligkeit. Selbst im vorliegenden Fall, wo alle Rechenprogramme von Grund auf neu ausgearbeitet werden mussten, konnte durch den Einsatz elektronischer Computer gegenüber der gebräuchlichen Bearbeitungsmethode Zeit eingespart werden. Besonders deutlich tritt der Unterschied seit der Fertigstellung aller Programme zu Tage, indem der Spannungsnachweis für eine neue Trägervariante nun innert wenigen Tagen durchgeführt werden kann.

d) Wirtschaftlichkeit. Die festen Kosten für die Vorbereitung und Ausarbeitung der Programme sind hoch. Einmal vorhandene Programme können jedoch für Rechnungen nach den gleichen Formeln aber mit stets ändernden Zahlwerten (z. B. Querschnittsgrössen, Spannweiten, Felderzahl, Kabellagen) immer wieder verwendet werden. Die Beurteilung der erreichten Einsparungen hängt deshalb stark von der einer Rechnung belasteten Programmamortisation ab.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich der Einsatz programmgesteuerter, elektronischer Rechenmaschinen für die Durchführung des Spannungsnachweises an den vorgespannten, durchlaufenden Trägern des Altstetterviaduktes als sehr zweckmässig erwiesen hat. Dank der Leistungsfähigkeit und der Flexibilität der vorliegenden Programme dürfte diese Bearbeitungsweise auch für andere Projekte von Interesse sein.

Adressen der Verfasser: Ing. *A. Cogliatti,* Gubelhangstr. 23, Zürich 11/50, und Dr. *J. Haller,* Nüschelerstr. 35, Zürich 1.

Spezialfassaden

DK 624.022.31

Im Jahre 1958 schlossen sich in Frankreich die wichtigsten Gruppen der Produzenten und Unternehmer, die an der Entwicklung neuer Spezialfassaden für Skelettbauten teilhaben, zum CIMUR France (Comité d'Information pour le développement des panneaux de façade et des murs-rideaux) zusammen. Gründungsmitglieder dieser Interessengemeinschaft waren die Holz- und Metallbauer (vorfabrizierte Konstruktionen, Bauteile), die Stahlbauer, die Produzenten von Asbest-Zementplatten, die Aluminiumindustrie und die Glasindustrie. Eine weitere Mitgliedschaft umfasst neben andern Baustoffproduzenten die Konstrukteure und Fabrikanten auf den speziellen Gebieten der Dichtungen und Isolationen, der Verbindungsmittel, Verkleidungsplatten und der Klimatisierung.

Unter dem Titel «CIMUR» [1]) wird im Trimester ein Publikationsorgan herausgeben, das bisher in 9 Nummern erschienen ist. Diese Zeitschrift hat bei Architekten, Baubehörden und in weiteren Kreisen, die an industriellen Bauweissen interessiert sind, eine gute Aufnahme gefunden. Sie vermittelt Grundlagen und Erfahrungen, die mit der Planung, der Konstruktion und der praktischen Ausführung von Spezialfassaden (Skelettausfachungen und Vorhangwände) verbunden sind. Zudem bietet der instruktive Gehalt dieser Fachzeitschrift eine dem Laien (Bauherrn) ebenfalls verständliche Orientierung über das komplexe Wesen dieser neuartigen, technisch hochgezüchteten Spezialkonstruktionen.

Im vergangenen Jahr wurde auch in Belgien eine gleichgerichtete Institution (CIMUR Belge) geschaffen, und weitere ähnliche Zusammenschlüsse sind in Deutschland, Holland und Italien im Entstehen. Es ist zu erwarten, dass diesen nationalen Interessengemeinschaften eine europäische CIMUR-Vereinigung folgen wird.

Ein belgisch-französische CIMUR-Tagung in Brüssel (Februar 1962) erwies eindrücklich nicht nur zahlenmässig die Bedeutung von Spezialfassaden an Grossbauten, sondern auch deren fortgeschrittene technisch-architektonische Entwicklung. Dabei wurde auch spürbar, dass in den beiden CIMUR-Ländern die Konstruktion von Skelettausfachungen und Vorhangwänden in der CIMUR-Organisation einen methodischen und ideellen Rückhalt findet, ohne dass dadurch die freie Konkurrenz in der Ausführung unterbunden und in architektonischer Hinsicht einer Einförmigkeit Vorschub geleistet würde. Im Gegenteil gewann man den Eindruck, dass hier schöpferische Kräfte in einem technischen Fundus gründen, der zum Allgemeingut der Architekten, Ingenieure, ja selbst ihrer Auftraggeber geworden ist.

Man kann fragen, ob auch *in der Schweiz* eine Zusammenarbeit der Industrie gemeinsam mit den Bauenden das Gegebene sein wird, um durch einen Erfahrungsaustausch konzeptionelle Fehler zu vermeiden und auf technisch fundierten Grundlagen dem Bau hochentwickelter Spezialfassaden weitere Geltung zu schaffen.

Gaudenz Risch, dipl. Arch., Zürich

[1]) Herausgeber: Comité d'Information pour le Développement des panneaux de façade et des murs-rideaux (CIMUR France) 8, rue Christoph-Colomb, Paris 8e.