Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 87 (1969)

Heft: 7

Artikel: Makro-Operationen als neues Hilfsmittel für die Baustatik

Autor: Kammenhuber, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70593

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 30.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, ZÜRICH

Makro-Operationen als neues Hilfsmittel für die Baustatik

DK 624.04:681.142

Von Dr.-Ing. J. Kammenhuber, Zürich. Vortrag, gehalten an der Studientagung der FGBH über aktuelle Ingenieurprobleme vom 18. und 19. Okt. 1968 in Zürich

1. Einleitung

In einer Zeit, da die Statische Berechnung für eine Brücke über den Rhein einige tausend Seiten umfasst, die eingereichten Offertunterlagen für eine Brücke über einen Meeresarm zwei Tonnen ausmachen und die hohe Ausnutzung der Materialien immer reifere Berechnungsmethoden verlangt, können wir als entwerfende Ingenieure nur eines ausrufen: «Wir brauchen eine neue Sprache!» Es wird im folgenden gezeigt, wie man durch die Vereinbarung von Makro-Operationen und Makro-Algorithmen zu einer wesentlich konzentrierteren Schreibweise gelangt. Mit Recht kann man von der Schaffung einer neuen Sprache reden, denn ähnlich wie bei der Matrix-Schreibweise (vgl. [1]) tritt einerseits für den Ingenieur eine Abstraktion auf das Wesentliche eines Rechenganges ein und andererseits ist die gewählte Schreibweise zugleich computer-verständlich, womit die rechnerische Durchführung, der Lauf der Indizes und die Administration grosser Datenmengen vollautomatisch erledigt werden können.

2. Höhere Operationsbegriffe

In der normalen Formelschreibweise sind uns die Grundoperationen (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division) und die elementaren Funktionen (Sinus, Cosinus, Exponentialfunktion, Quadratwurzel usw.) geläufig. In Tabelle 1 wurden die entsprechenden Symbole in der Rubrik «Einzelwertoperationen» eingetragen. Innerhalb einer Formel oder Rechenanweisung haben nämlich auch die elementaren Funktionen nur den Rang von Operationen. Nun brauchen wir aber auch Sammelbegriffe, wie zum Beispiel: «Löse ein lineares Gleichungssystem», «Suche die Maxima und Minima von sich gegenseitig ausschliessenden Lastfällen», «Bilde die maximale Summe aller positiven Werte und die minimale Summe aller negativen Werte von sich gegenseitig nicht ausschliessenden Lastfällen» oder «Zeichne die Grenzwerte für alle Längsträger».

Das mag zunächst utopisch klingen, ist es aber heute nicht mehr. Wollen wir unsere Sprache vereinfachen, so müssen wir höhere Begriffe einführen, zum Beispiel «LINEQ» für die Auflösung eines linearen Gleichungssystems oder «MAUSP» für die Momentenermittlung aus Einzellasten. Im rechten Teil von Tabelle 1 werden derartige Begriffe als sogenannte Makro-Operationen aufgeführt. LINEQ A B X bedeutet also: «Nimm das Feld A als linke Seite und die Kolonnen des Feldes B als rechte Seiten eines linearen Gleichungssystems, berechne daraus die Unbekannten und setze diese in das Feld X.»

Wir erkennen hieran zwei wesentliche Dinge:

1. Der Operationscode LINEQ löst einen ganzen Algorithmus aus.

2. Die Operanden sind nicht mehr Einzelwerte, sondern Felder.

Dass die Operationsbezeichnungen aus mehreren Buchstaben bestehen können, sind wir bereits von den Funktionen her gewöhnt, zum Beispiel sin, cos usw. Jetzt können aber auch die Feldnamen aus mehreren aneinandergeschriebenen Buchstaben bestehen, zum Beispiel «BETA» anstelle von « β », wie dies bei der Invertierung INVERT in Tabelle 1 benutzt wurde, oder «XNEU» anstelle von « X_{neu} ».

3. Kräftemethode

Die Anwendung der Makro-Operationen wird nun am Beispiel der Kräftemethode gezeigt. Das Gleichungssystem

(1)
$$\delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \delta_{10} = 0 \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \delta_{20} = 0$$

enthält zwei statisch überzählige Kräfte X_1 und X_2 . Die darin vorkommenden Formänderungsgrössen δ_{ik} ergeben sich allgemein nach

(2)
$$\delta_{ik} = \int \frac{M_i \cdot M_k}{E \cdot J} \cdot dx$$

wobei hier der Einfachheit halber nur die Biegemomentenarbeit berücksichtigt wurde. Nach Bestimmung der Unbekannten X ergeben sich die Momente M im statisch unbestimmten System gemäss

$$(3) M = M_0 + \sum_i X_i M_i$$

Bei der Berechnung der Formänderungsgrössen δ_{ik} bedient man sich für allgemeine Fälle der numerischen Integration gemäss folgender Gleichung:

(4)
$$\delta_{ik} \approx \sum_{w} \left(M_{iw} \cdot \frac{\varkappa_{w} \cdot \varDelta x_{w}}{E_{w} \cdot J_{w}} \cdot M_{kw} \right) =$$

$$= |C|' * |V| * |C|$$

Diese kann durch entsprechende Wahl der Integrationspunkte w beliebig genau ausgeführt werden. Es sei in diesem Zusammen-

hange nur daran erinnert, dass bereits die sehr einfache Simpson'sche Regel Funktionen 3. Grades völlig exakt integriert. Nähere Angaben zur numerischen Integration findet man in [2] und [3]. Es zeigt sich nun, dass die Rechenanweisung (4) sich ohne weiteres durch Matrixmultiplikationen erfüllen lässt. Dies wird noch näher erläutert anhand des Bildes 1.

Bild 1 enthält ein vollständiges Beispiel für ein zweifach statisch unbestimmtes System mit drei Lastfällen. Der gesamte Berechnungsablauf lässt sich durch die eingerahmten 8 Zeilen (Bild 1 rechts) eindeutig festlegen, unabhängig von System- und Belastungsart. Nach Wahl einer Elementeinteilung werden zu jedem Integrationspunkt w die zugehörigen Elementlängen Δx , Integrationsgewichte \varkappa und Elastizitätsmoduli E in das Feld der Elementbeschreibung EDX eingetragen. In das Feld J werden die Trägheitsmomente eingetragen und schliesslich in das Feld C die Werte M1 und M2 aus der Wirkung der statisch überzähligen Einheitskräfte $X_1 = 1$ und $X_2 = 1$. Das Feld C' enthält dieselben Zahlen wie das Feld C, jedoch sind die Seitenlängen gegeneinander vertauscht. Man bezeichnet daher C' als die Transponierte von C. Zunächst wird nun aus der Elementbeschreibung EDX und den Trägheitsmomenten J mittels der Makro-Operation WEICH die sogenannte Weichheitsmatrix V gebildet. Sie enthält als Diagonalglieder die Werte

$$v_w = rac{arkappa_w \cdot arDelta \, x_w}{E_w \cdot J_w}$$

alle übrigen Werte in dieser Matrix sind Null. Führt man die Matrixmultiplikation C'*V aus, so erhält man die Matrix C'V und durch nochmalige Multiplikation mit C die Matrix C'VC. In der Schreibweise der Makro-Operationen lautet dies

MMM C' V C'V MMM C'V C C'VC

Tabelle 1. Einzelwert- und Feldoperationen

Rechen- operationen:	Elementare Funktionen:	Makro- Operationen:	Algebraische Bedeutung
+ - ×	sin cos √	LINEQ A B X INVERT A BETA	$\begin{bmatrix} X \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} A \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} B \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} BETA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix}^{-1}$
gennedolizet Existente di	arc tg e	MAM A B C MMM A B C MSF A f C	$\begin{bmatrix} C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} B \end{bmatrix}$ 1) $\begin{bmatrix} C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} \times f$
	Baustatik<	MAUSP P DX M QAUSM M DX Q	zweimalige Integration numerische Differentiatio
1,1055	ar Alberto.	MAXSUM MNQ EXTREM. MAXAUS MNQ MAXMIN	A fakultative Addition spezielle Auswahl

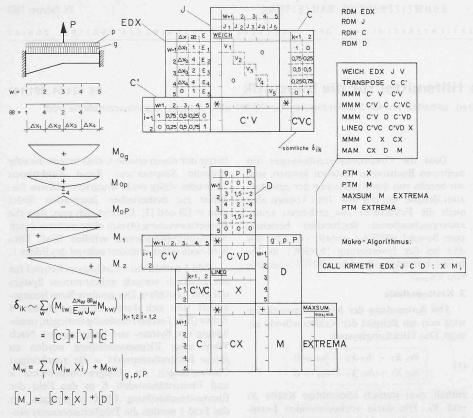


Bild 1. Matrix-Schema und Makro-Operationen der Kräftemethode

Die Matrix C'VC enthält nun die Gesamtheit der lastunabhängigen Formänderungsgrössen δ_{ik} , das heisst die linke Seite des Gleichungssystems. Mittels vorstehender zwei Makro-Operationen sind also bereits alle zugehörigen Integrationen geschehen. Die Gesamtheit der Belastungsglieder δ_{i0} ergibt sich in analoger Weise als Matrix C'VD. Jede Kolonne dieser Matrix entspricht einem Lastfall, bildet also eine rechte Seite des Gleichungssystems. Die Auflösung des Gleichungssystems erfolgt durch die Makro-Operation

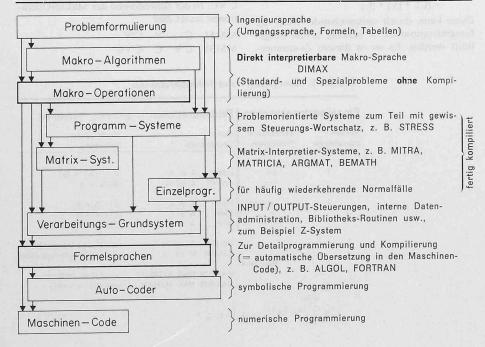
LINEQ C'VC C'VD X

Mit einigen weiteren Operationen erhält man schliesslich die Momente M und die Extrema. Die Operationen RDM (ReaD Matrix) und PTM (PrinT Matrix) dienen der Dateneingabe und der Resultatausgabe. Für weitere Einzelheiten sei auf [4] verwiesen.

4. Makro-Sprache

Man kann nun noch einen Schritt weitergehen und die eingerahmten 8 Makro-Operationen zusammenfassen zu einem sogenannten

Tabelle 2. Hierarchie einiger Programmiersprachen



Makro-Algorithmus, dessen Aufruf auf Bild 1 unten rechts dargestellt ist. Bei diesem Aufruf folgen der Makro-Operation CALL der Kurzname des zu rufenden Makro-Algorithmus, hernach die Rufnamen der Datenfelder und hinter dem Doppelpunkt schliesslich die Namen, mit denen die entstehenden Resultatfelder etikettiert werden sollen.

Makro-Operationen und Makro-Algorithmen bilden zusammen eine Makro-Sprache, mit der man nicht mehr Einzelwerte durch Einzelwertoperationen verknüpft, sondern ganze Felder durch Feldoperationen. Diese höhere Sprache hat also folgende Hauptmerkmale:

- 1. Die Verständigung der Ingenieure untereinander wird vereinfacht.
- 2. Die Makro-Sprache ist in genau dieser Form zugleich computerverständlich.
- 3. Die Makro-Operationen können von einem Computer *direkt* interpretiert werden, das heisst bei Benutzung der Makro-Operationen benötigt man kein spezielles problemorientiertes Programm.

Der Ingenieur kann also ohne weitere Programmierkenntnisse bei Verwendung dieser höheren Sprache auf einem Gross-Computer ganze Felder ebenso direkt verarbeiten wie auf einer Tischrechenmaschine oder einem Tisch-Computer bis anhin die Einzelwerte. Das heisst praktisch, mit einer Zeile kann er mehrere hunderttausend Einzeloperationen auslösen und die entstehenden Resultate sofort weiterverwenden.

In Tabelle 2 wurde eine gewisse Hierarchie der Sprachen aufgetragen ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Zuunterst der Maschinen-Code, zuoberst die Umgangssprache der Ingenieure und dazwischen ein ganzes Spektrum von Sprachen und Systemen. DIMAX steht als Abkürzung für «Direkt Interpretierbare MAKro-Sprache». Diese steht der Ingenieursprache relativ nahe.

In Tabelle 3 wurden einige wichtige Makro-Operationen zusammengestellt. Zunächst die normalen Matrix-Operationen bis zu den linearen Gleichungssystemen. Dann baustatische Spezial-Operationen und für die Behandlung der Vorspannung die Operationen REIBUNG, MNVKAB, K+S und SIGTAB. Schliesslich noch maschinentechnische resp. administrative Operationen, wie ReaD Matrix und PrinT Matrix und als ganz besonders wichtige Operationen für längere BREAKPOINT und Berechnungen: RERUN. Letztere bedeuten sehr viel mehr als etwa nur «Stop» und «Start».

In Tabelle 4 werden noch die wichtigsten Makro-Algorithmen der Kräfte- und der Deformationsmethode inkl. Flächentragwerke, Theorie II. Ordnung und partielle Vorspannung aufgeführt. Bei der Berechnung der Bruchsicherheit erfolgt zugleich die graphische Ausgabe eines Interaktionsdiagrammes für Biegung mit Normalkraft. Schliesslich folgen noch Makro-Algorithmen für die Grenzwertbildung nach SIA-Normen und zum automatischen Aufzeichnen irgendwelcher Resultate.

5. Anwendungsbeispiele

Als ein Ergebnis der systematischen Anwendung der Makro-Operationen zeigt Bild 2

Operations- code:	Bedeutung:	
MAM	Matrix Addiert zu Matrix	
MMM M atrix M ultipliziert mit M atrix		
MSF	M atrix S kalar multipliziert mit F aktor	
TRANSPOSE	Transponiere	
INVERT	Invertiere	
LINEQ	Auflöse lineares Gleichungssystem	
WEICH	Bilde WEICHheitsmatrix	
MAUSP	Bilde M omente AUS Einzellasten P	
QAUSM	Bilde Querkräfte AUS Momenten	
MAXSUM	MAXimale SUMme (Extrema sich gegenseitig nicht ausschliessender Lastfälle)	
MAXAUS	MAXimal-AUSwahl (Extrema sich gegenseitig ausschliessender Lastfälle)	
REIBUNG	REIBUNGsberechnung für Vorspannkabel	
MNVKAB	Momente und Normalkräfte aus Vorspann-KABeln	
K+S	Kriechen + Schwinden	
SIGTAB	Berechne Spannungstabelle	
RDM	ReaD Matrix	
PTM	PrinT Matrix	
BREAKPOINT	Unterbrechung mit Konser- vierung aller Zwischen- resultate auf Magnetband zwecks gelegentlichem Wiederstart	
RERUN	Wiederstart eines BREAK- POINT	

die Grenzwerte eines schiefwinkligen Tragwerkes, automatisch berechnet, automatisch ausgewählt und automatisch aufgezeichnet. Es ist nun nicht mehr nötig, mehrere hundert Seiten Computer-Resultate durchzusehen, sondern die Arbeit des Ingenieurs rückt auf eine höhere Ebene. Wir merken bereits heute, dass der Schwierigkeitsgrad einer statischen Berechnung bei der Gestaltung unserer Tragwerke kaum noch eine Rolle spielt. Die Bilder 3 bis 5 bringen dafür einige Beispiele.

6. Schlussbemerkung

Es wurde versucht, am Beispiel der Makro-Sprache DIMAX das Arbeiten mit höheren Begriffsbildungen zu zeigen. Die Einfachheit dieser Makro-Sprache wird diese auch für wissenschaftliche Darstellungen von Bedeutung werden lassen. Die gesamte Baustatik lässt sich in der Form von Makro-Algorithmen beschreiben. Das System ist seit etwa einem Jahr in Betrieb und seit kurzem auch von jedem Telexanschluss aus benutzbar. Es handelt sich um eine in der Schweiz von Bauingenieuren nach neuesten Gesichtspunkten durchgeführte rein private Entwicklungsarbeit. Die gezeigten Beispiele vermitteln einen Begriff von der Leistungsfähigkeit.

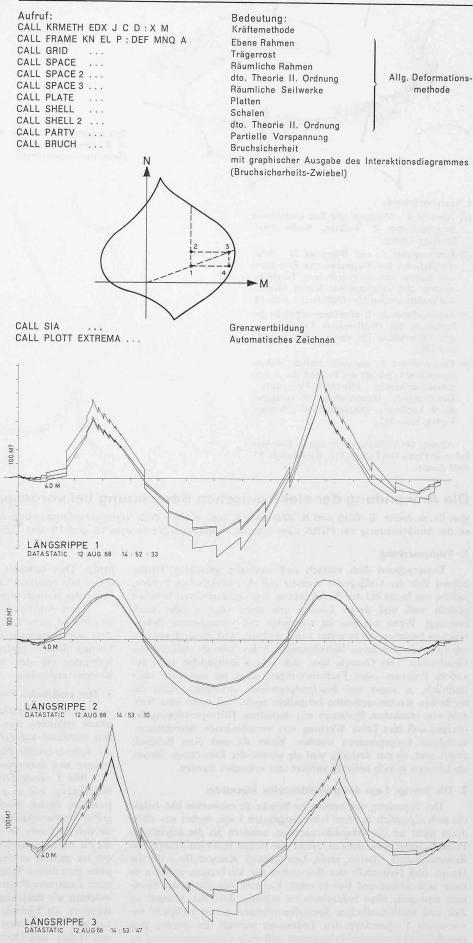
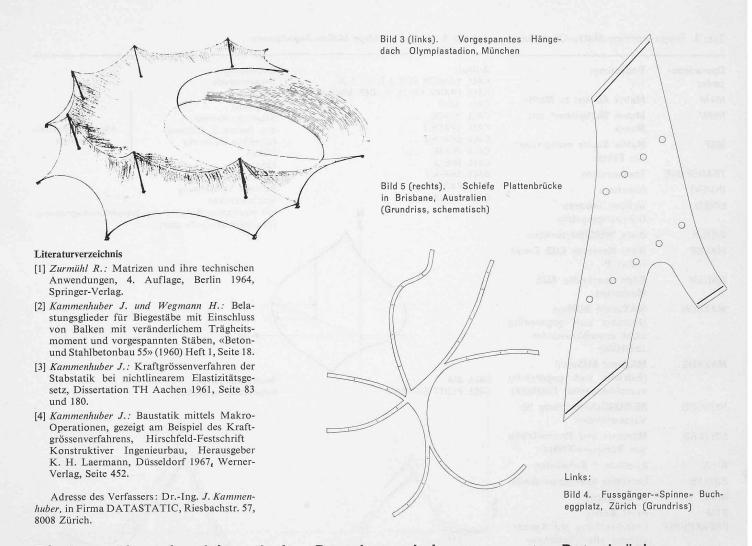


Bild 2. Grenzwertlinien für ein schiefwinkliges System, automatisch berechnet und automatisch gezeichnet



Die Anwendung der elektronischen Berechnung bei vorgespannten Betonbrücken

Von Dr. sc. techn. B. Gilg und K. Weissbeck, Ing., Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich. Vortrag gehalten von B. Gilg an der Studientagung der FGBH über aktuelle Ingenieurprobleme vom 18. und 19. Okt. 1968 in Zürich DK 624.04:681.142:624.21

1. Vorbemerkung

Entsprechend dem einfach und eindeutig gestellten Thema befasst sich der vorliegende Aufsatz mit den praktischen Fragen, welche uns heute bei der Projektierung von vorgespannten Brücken gestellt sind und deren Lösung uns mehr oder minder stark bedrängt. Wenn wir uns im folgenden auf vorgespannte Betonbrücken beziehen, so in erster Linie deshalb, weil dieser Bauwerktyp zu umfangreicheren Berechnungen Anlass gibt als andere Ingenieurbauten. Das Gesagte lässt sich jedoch sinngemäss auch auf andere Rahmen- oder Fachwerkträger, seien sie nun eben oder räumlich, ja sogar auf Flächentragwerke, anwenden, denn die modernen Rechenmethoden behandeln mehr und mehr eine Vielzahl von statischen Systemen mit denselben Hilfsoperationen. Im übrigen soll hier keine Wertung von verschiedenen Berechnungsverfahren vorgenommen werden. Wenn da und dort Beispiele zitiert sind, so nur deshalb, weil sie gerade der Illustration dienen, sie könnten jedoch beliebig variiert und vermehrt werden.

2. Die heutige Lage des projektierenden Ingenieurs

Der Ingenieur, der heute eine Brücke zu entwerfen hat, befindet sich eigentlich in einer beneidenswerten Lage, wobei wir allerdings nicht an die Akquisitionsphase, sondern an die eigentliche Projektierungsphase denken. Nicht nur stehen ihm eine Menge von Baumaterialien – Beton, Stahl, Leichtmetall, Kunststoffe – für die Haupt- und Nebenteile des Bauwerkes zur Verfügung, sondern er kann sich weitgehend frei in einer Vielzahl von statischen Systemen bewegen, ohne befürchten zu müssen, dass der Mangel an Zeit und mathematischen Spezialkenntnissen einem vielleicht bevorzugten Tragwerktyp den Todesstoss versetzt. Es werden ihm verschiedene Computer-Programme und viele Computerstunden zu günstigen Bedingungen angeboten, so dass er nur zuzugreifen braucht, falls er den Angeboten das nötige Vertrauen entgegen-

bringt. Dies bedeutet sicher einen Zeitgewinn. Zu was lässt sich dieser nun benützen? Die Antwort ist leicht zu geben: zur besseren Wahl des statisch günstigsten Systems.

Diese Arbeitsweise sollte im Schaffen des modernen Entwerfers immer mehr Fuss fassen. Es ist heute nicht mehr erlaubt, die Zeit mit Berechnungen zu vertrödeln und dafür die günstigste Lösung nicht zu finden. Im Zweifelsfall soll man ganz verschiedene Varianten mit dem Computer sorgfältig durchrechnen und die Kosten vergleichen.

3. Das praktische Vorgehen

An zwei Beispielen möchten wir nun das praktische Vorgehen soweit erläutern, dass die bei der Detail-Behandlung auftauchenden Probleme aufgegriffen und geklärt werden können.

3.1 Schiefwinklige Plattenbalkenbrücke mit vorgespannten Hauptträgern und Sprengwerksstützen

Bild 1 veranschaulicht dieses Tragwerk. Es ist ein geläufiger Brückentyp, wie er z. B. zur Überführung von Autobahnen Anwendung findet. Natürlich müssen die Dimensionen durch eine grobe Vorberechnung provisorisch festgelegt werden, doch lassen sie sich im Laufe der Berechnung leicht variieren. Dies umsomehr, als die Berechnungskosten, auf die wir noch zu sprechen kommen, ein im ganzen gesehen bescheidenes Ausmass annehmen. Zuerst muss nun dieses Tragwerk berechnungsbereit gemacht werden. Je nach Computer-Programm sind verschiedene Wege möglich. Hier möchten wir denjenigen Rechengang skizzieren, welcher das ganze Bauwerk als Einheit, nämlich als einen räumlichen Rahmen behandelt. Der Rahmen besteht aus den starr miteinander verbundenen Haupt- und Querträgern, wobei die Fahrbahnplatte den Rahmenträgern zugeteilt wird. Diese Vereinfachung ist unwesentlich, erleichtert aber den Berechnungsweg entscheidend.