

# Diagramme und Verfahren zur Berechnung beliebig belasteter, elastisch gestützter Balken

Autor(en): **Manger, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **125/126 (1945)**

Heft 11

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83617>

## **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.

Inhalt: Diagramme und Verfahren zur Berechnung beliebig belasteter, elastisch gestützter Balken. — Industrie-Schornsteine. — Krane zum Befahren von Ecken und engen Kurven. — Herausgabe der Werke Leonhard Eulers. — Konstruktion und Form im Bauen. — Mitteilungen: Neue Formen der Fertigbetonbauweise. Eidg. Techn. Hochschule. 25 Jahre Monatsbulletin des Schweiz. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern. Störungen

im Kesselhaus und in den Wärmeversorgungsanlagen bei Fliegerangriffen. Die Zukunft des Elektrizitätsbedarfes im Haushalt. Das Strassenprojekt Basel-Delsberg. — Nekrologe: Johannes Scheier. Ernest Loew. — Wettbewerbe: Musikpavillon in Rorschach. Kirche und Pfarrhaus in Gümligen. Bebauungsplan Lugano-Castagnola. — Mitteilungen der Vereine. — Vortragskalender.

Band 125

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Verelnsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 11

Diagramme und Verfahren zur Berechnung beliebig belasteter, elastisch gestützter Balken

Von Ing. Dr. A. MANGER, in Firma Ed. Züblin & Cie., A.-G., Zürich

(Alle Rechte vorbehalten)

Inhalts-Uebersicht. Es werden Diagramme dargestellt, mit denen für einige Typen elastisch gestützter Balken die Einfluss-Linien der Auflagerdrücke und der Auflager- bzw. Feldmitten-Momente unmittelbar aufgezeichnet und auch der Einfluss eines am Balkenende angreifenden Drehmomentes untersucht werden können. Nach einigen Angaben über die Einflusslinien der Querkräfte und für Zwischenschnitte, sowie über gewisse Tangenten an den Kurven, werden Anwendungen und Erweiterungen auf anormale Systeme besprochen und endlich wird ein einfaches Verfahren zur Untersuchung des Einflusses beliebiger Belastungen bzw. Verformungen der Balkenfelder erläutert. Das letztgenannte gestattet auch die Untersuchung von Balkensystemen mit Einzelgelenk-Feldern.

2. Zweck und Beschreibung der Diagramme

Die wenigen bekannten, praktisch brauchbaren Methoden zur vereinfachten Berechnung dieser Systeme erfordern meist noch ziemlich viel Arbeit<sup>2)</sup>. Die vorliegenden Diagramme haben nun den Zweck, bei einigen normalen Systemen die rechnerische Arbeit sozusagen ganz zu vermeiden, d. h. im wesentlichen auf die Auswertung von Einflusslinien zu beschränken, die auf einfache Weise mit den Diagrammen gezeichnet werden. Dabei werden kleine Uebertragungs- und Zeichenfehler, die bei allen graphischen Verfahren entstehen, in Kauf genommen, da sie praktisch wenig Bedeutung haben.

1. Voraussetzungen, Bezeichnungen, Berechnungsformeln

a) Das Steifheitsmass EJ des Balkens ist auf ganzer Länge konstant.

b) Alle Balkenfelder haben die gleiche Spannweite l.

c) Alle Stützen haben das gleiche elastische Senkmass e und schliessen gelenkig am Balken an.

Abweichungen von diesen Annahmen werden in den Abschnitten 3, 5, 6 besprochen.

Es bezeichnen:

A, B, C, D, . . . . = Ordnungsziffern der Stützen, von links nach rechts.

1, 2, 3, . . . . = dto. der Balkenfelder, gleichzeitig Bezeichnung der Feldmitten.

e = elastisches Senkmass der Stützen, = Senkung des Stützenkopfes beim Stützendruck C = 1.

C, Cn, Cnb = Stützendruck, positiv nach unten auf die Stütze wirkend. Cn = C an der Stelle N, Cnb = C bei N infolge einer Last bei B.

Q = Querkraft, positiv links am Schnitt nach oben wirkend.

qs = Einflussordinate für Qs im Schnitt S.

M, M2, Mn = Biegemoment, positiv wenn es in der unteren Balkenzone Zug erzeugt. M2, Mn = M an den Stellen 2 bzw. N.

Mnb = Moment bei N infolge einer Last bei B.

D = äusseres, am linken Balkenende angreifendes Drehmoment, positiv wie M.

c, cn, cnb = Einfluss-Ordinaten für den Auflagerdruck C bzw. Cn, Cnb.

μ, μ2, μn, μnb = Einfluss-Ordinaten für das Biegemoment M, M2, Mn, Mnb.

c', cn', μ', μn' = Koeffizienten zur Berechnung der Auflagerdrücke C bzw. Cn und Momente M, Mn infolge des Drehmomentes D.

Alle positiven (bzw. negativen) Ordinaten c, μ, c', μ' liegen in den Diagrammen unterhalb (bzw. oberhalb) der zugehörigen waagrechten Grundlinien und werden in den Einflusslinien entsprechend von der Balkenaxe aus aufgetragen. Das gleiche gilt für die Momente und Querkräfte.

Nach Berechnung der Kennziffer k des Systems

k = (6EJ / l^2) \* e . . . . . (1)

werden alle Werte c, μ, c', μ' aus den Diagrammen abgegriffen oder gemessen und mit den angegebenen Masstäben zahlenmässig ausgewertet. Die Auflagerdrücke C und Momente M werden dann:

a) Infolge senkrechter Einzellasten P: C = cP, M = μPl . . . . . (2) (3)

b) Infolge eines Drehmomentes D am linken Balkenende<sup>1)</sup>: C = 2c' \* (D/l), M = 2μ'D . . . . . (4) (5)

1) Die Zahl 2 in den Formeln (4), (5) entspricht dem Umstand, dass, um übersichtliche Figuren zu erhalten, in den Diagrammen die Werte c', μ' in halber Grösse gegenüber c, μ gezeichnet sind und dass, ohne die Zahl 2, die Masstäbe unbequem würden.

Abgesehen davon, dass sie die genauere Untersuchung solcher Träger erleichtern und befördern, ermöglichen die Diagramme auch anschauliche Vergleiche verschiedener Systeme und können auch zur wesentlichen Kürzung der Berechnung anormaler Systeme verwendet werden.

Unsere weiteren Untersuchungen (besonders Abschnitt 7) führen ferner, auch für Balken auf festen Stützen zu interessanten Vereinfachungen gewisser Berechnungen.

Wir haben im Laufe der letzten Jahre Tabellen der Einflusszahlen c, μ, c', μ' für Balken auf mehreren Stützen mit verschiedenen Werten k und für Laststellungen über den Auflagern und Feldmitten ausgerechnet. Alle diese Zahlen verändern sich mit k und es sind die vorliegenden Diagramme nichts anderes als eine geordnete graphische Darstellung dieser Funktionen mit Parallel-Koordinaten<sup>3)</sup>.

Zur Erläuterung ihres Aufbaues beziehen wir uns auf das einfachste Diagramm I (Seite 126) für Träger auf drei Stützen:

Es besteht, im linken und rechten Teil, aus senkrechten, den Kennziffern k als Abszissen entsprechenden Linien, auf denen, von waagrechten Grundlinien aus, verschiedene Kurvengruppen ca, cb, μa, μb, c', μ' aufgetragen sind. Jede dieser Gruppen dient, bei gegebenem k, zum Aufzeichnen einer bestimmten Einflusslinie, bzw. zur Berechnung der Stützendrücke und Momente infolge eines Momentes D am Balkenende.

Die k-Linien gelten für die speziellen Werte k = 0, 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 . . . . . 25, 50, 100, ∞ und es entsprechen ihre Abstände den Differenzen der Logarithmen der Werte k + 0,1. Die Senkrechte k = ∞ ist willkürlich in 3 mm Abstand von k = 100 gezeichnet.

Nach Gl. (1) gilt die Senkrechte k = 0 für Balken auf festen Stützen (e = 0), k = ∞ dagegen für Balken auf sehr weichen Stützen (e = ∞) oder für starre Balken (EJ = ∞) auf nachgiebigen Stützen (e ≠ 0).

Die Kurvengruppe ca bezieht sich z. B. auf die Einflusslinie des Auflagerdruckes Ca bei A. Die darin mit A, 1, B, 2, C bezeichneten Kurven stellen die Einfluss-Ordinaten an den Stellen A, 1, B, 2, C des Balkens, also die Werte caa, ca1, cab, ca2, cac dar.

Ausserdem sind noch zwei weitere Kurven 1\*, 2\* für die Ordinaten ca1, ca2 der Endtangente an der Einflusslinie in der Feldmitte 1 bzw. 2 gezeichnet. Auch in allen anderen Kurvengruppen beziehen sich diese, mit \* bezeichneten Kurven stets auf die Endtangente, d. h. auf ihre Ordinaten in der Mitte des ersten und des letzten Balkenfeldes. Diese Endtangente gestatten, auch den Einfluss von Belastungen bei Balken-Endkonsolen festzustellen.

Die Kurven liegen, im Sinne von Abschnitt 1, unterhalb oder oberhalb der zugehörigen Grundlinie, wenn die Einflusszahlen

2) Ein bequemes Verfahren hat Dipl. Ing. E. Amstutz, Zürich, in der SBZ vom 18. Dez. 1937 (Bd. 110, S. 306\*) veröffentlicht. Es werden dabei zuerst feste Stützen angenommen und der Einfluss der Stützen-Nachgiebigkeit nachträglich mit übersichtlichen Formeln ermittelt.

3) Wir verzichten hier auf den Nachweis der Zahlenwerte, die unter Benützung der Schrift des Verfassers berechnet wurden: «Der durchlaufende Balken auf elastisch drehbaren und elastisch senkbaren Stützen, einschliesslich des Balkens auf stetiger elastischer Unterlage», von Dr. sc. techn. Alfred Manger, Dipl. Ing., Mitteilung Nr. 10 aus dem Institut von Baustatik an der E. T. H., Verlag A.-G. Gebr. Leemann & Co., Zürich, 1939.

Im vorliegenden Aufsatz sind zunächst nur Balken auf drei bis sechs Stützen dargestellt. Der Balken auf sieben Stützen folgt event. später, gleichzeitig mit einer Tafel zur Ermittlung der Auflager-Verschiebungen und -Verdrehungen aller Systeme.

Balken auf 3 Stützen

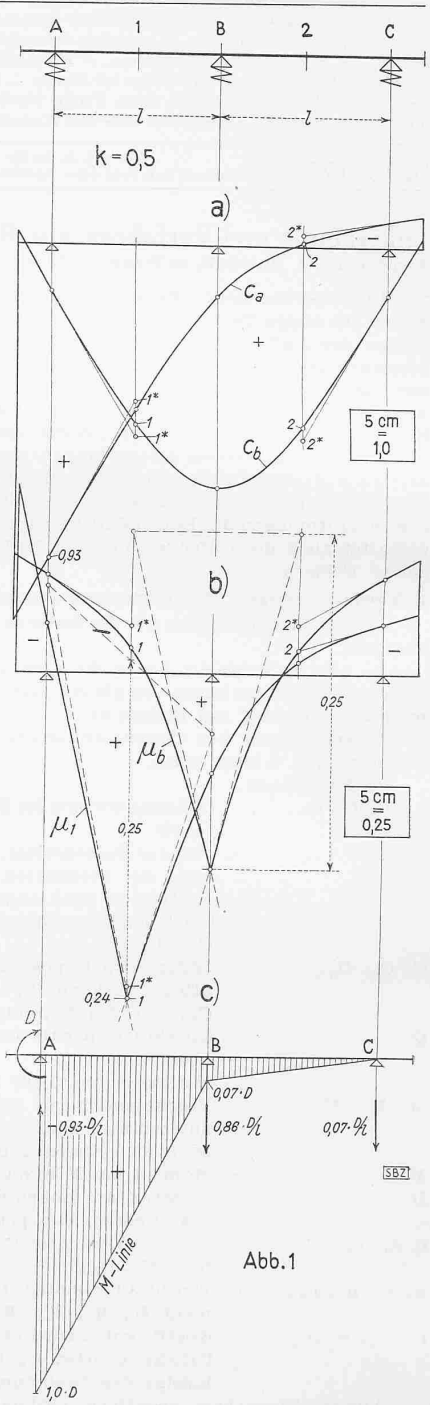
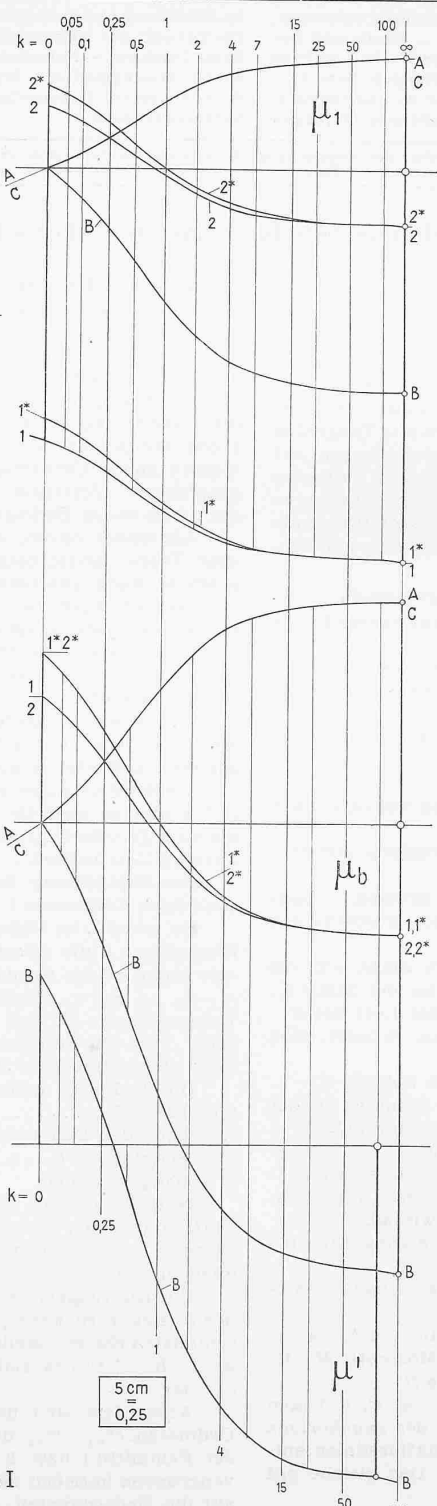
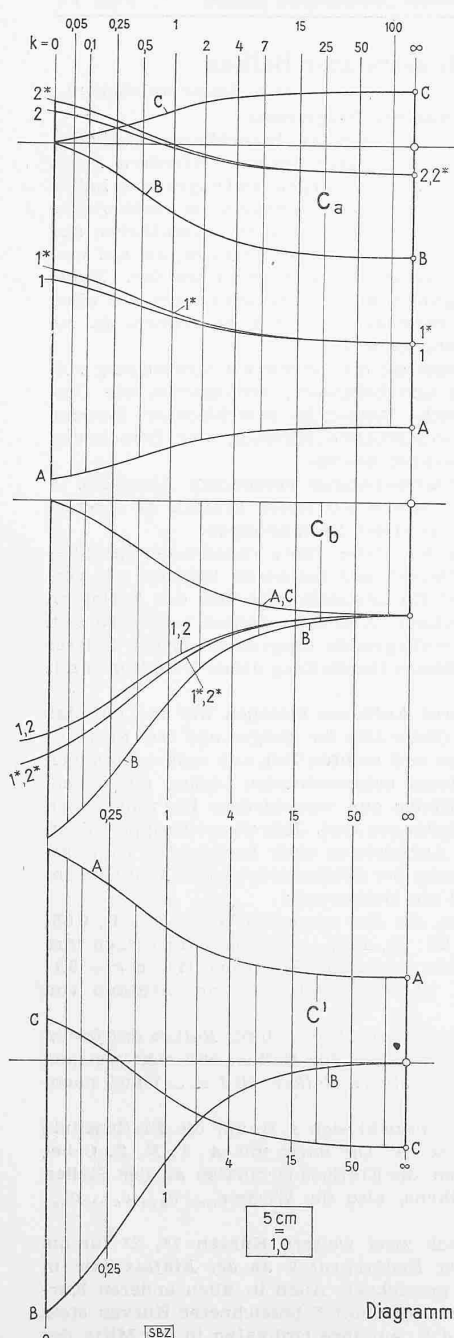
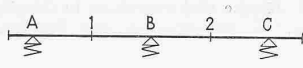


Abb. 1

positiv oder negativ sind. Die Einfluss-Ordinate  $c_{a,2}$ , also für die Laststellung 2, wird z. B. positiv, sobald  $k > \infty 0,7$  bzw. negativ bei kleinerem  $k$ .

Die Kurvengruppen  $c_b, \mu_1, \mu_b$  stellen auf gleiche Art die Einfluss-Ordinaten für den Stützdruck  $C_b$  bei B, das Feldmoment  $M_1$  und das Auflagermoment  $M_b$  dar, während die Gruppen  $c'$  und  $\mu'$  die Stützdrücke bzw. das Auflagermoment  $M_b$  infolge eines Drehmomentes  $D$  nach Gl. (4), (5) ergeben.

Zum Aufzeichnen der Einfluss-Linien berechnet man nun zuerst die Kennziffer  $k$ . Damit ist in allen Teilen des Diagrammes eine senkrechte  $k$ -Linie festgelegt, auf der sämtliche Ordinaten  $c, \mu, c', \mu'$  abgegriffen werden. Hierzu werden die Schnittpunkte der Grundlinie und sämtlicher Kurven der betrachteten Gruppe mit der  $k$ -Linie durch kurze Querstriche auf die Kante eines, zweckmässig durchsichtigen, Papierstreifens übertragen und wie die Kurven bezeichnet.

Kurve verbunden, die die gesuchte Einflusslinie darstellt. Die Einflusslinien werden also zunächst nur durch wenige Punkte, bei den Auflagern und Feldmitten, ferner durch ihre Endtangenten mit den durch \* bezeichneten Ordinaten festgelegt.

In der Abb. 1a bzw. 1b sind z. B. auf diese Weise die Einfluss-Linien der Stützdrücke  $C_a, C_b$  und Momente  $M_1$  bzw.  $M_b$ .

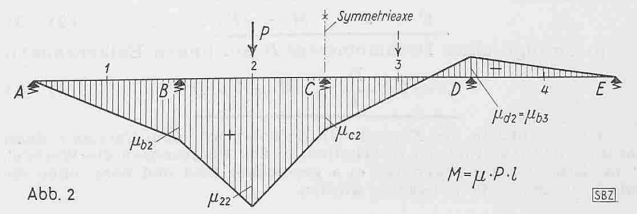


Abb. 2

für einen Balken auf drei Stützen mit  $k = 0,5$  gezeichnet. Die Ordinaten dieser Abbildungen bei A, 1, 1\*, B, 2, 2\*, C stimmen also genau mit denjenigen der Kurvengruppen  $c_a, c_b, \mu_1, \mu_b$  im Diagramm I bei  $k = 0,5$  überein.

In Abb. 1 b ist noch, für die Tangenten bei den Kurvenspitzen, eine Konstruktion angedeutet, auf die wir zurückkommen werden.

Im Fall eines Drehmomentes  $D$  am Balkenende misst man die Ordinaten  $c', \mu'$  zweckmässig direkt aus den Diagrammen und berechnet damit, unter Beachtung der Masstäbe, die Auflagerdrücke mit Gl. (4) und Auflagermomente mit Gl. (5). Das Ergebnis zeigt Abb. 1 c z. B. für  $k = 0,5$  und drei Stützen.

Nach Aufzeichnen der Einflusslinien werden sie mit den Masstäben der Diagramme versehen (vgl. Abb. 1 a, 1 b), worauf die Auswertung für senkrechte Einzellasten nach Gl. (2) und (3) und für andere Belastungen oder Formänderungen der Balkenfelder nach den Angaben in Abschnitt 7 stattfindet.

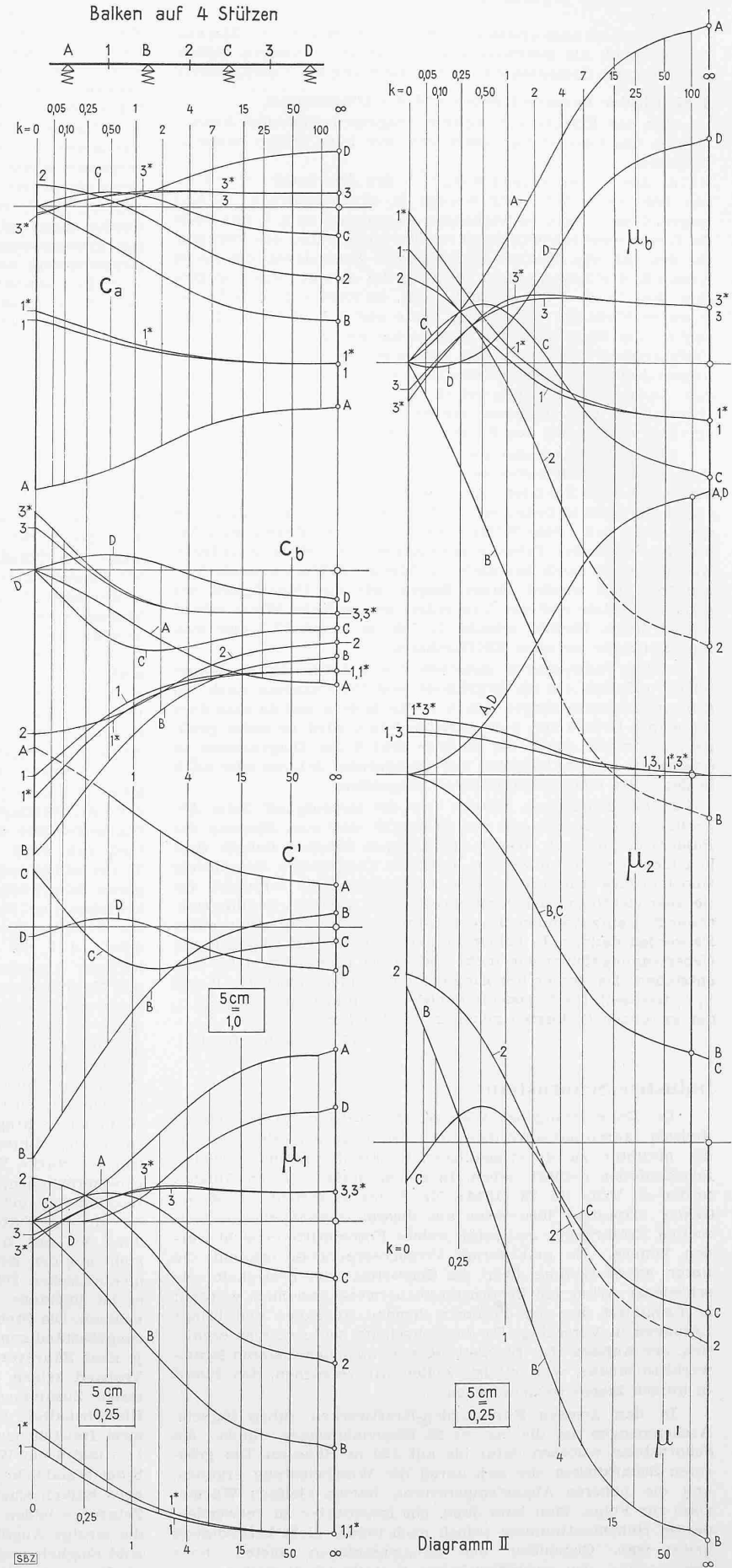
Die Masstäbe haben wir entsprechend dem verfügbaren Platz gewählt. Sie ergeben Einflusslinien, die bezüglich Ordinatengrösse dem Format normaler statischer Berechnungen angepasst sind (siehe Abb. 1). Die Masstäbe sind im allgemeinen für die Werte  $c, c', \mu, \mu'$  verschieden. Bei den Diagrammen für fünf und sechs Stützen sind sie ferner meistens ungleich, je nachdem ob  $k$  grösser oder kleiner als 15 ist (siehe Diagramme III, IV, IV a). Dies stört praktisch nicht, da man in jedem Fall nur die Werte auf einer einzigen, bestimmten  $k$ -Linie benützt.

Wo sich Kurven verschiedener Gruppen überschneiden, sind sie z. T. gestrichelt gezeichnet (siehe z. B. Diagramm II, Gruppen  $\mu_b, \mu_2$ ). Man kann diesbezüglich die Uebersicht noch durch farbiges Umranden der Gruppen erhöhen.

Die Anzahl der Kurven wird in den Gruppen umso grösser, je mehr Stützen der Balkentyp aufweist. Es ergab sich deshalb, bei fünf und sechs Stützen, als zweckmässig, die Kurven einer Gruppe nicht immer alle von der gleichen Grundlinie aus aufzutragen, sondern einige auf einer Hilfs-Grundlinie zu zeichnen. Diese zugehörigen Grundlinien sind stets durch eine Schlangelinie verbunden. Gelegentlich sind auch, für die Bereiche  $k = 0 - 15$  und  $k = 15 - \infty$ , die Grundlinien parallel versetzt, um übersichtliche Figuren zu erhalten (vgl. z. B. Diagramm III, Gruppe  $\mu_2$ ). Wo die Ordinaten sehr klein sind, sind stellenweise die Kurvenäste weggelassen.

Soll die Momentenlinie für eine Laststellung am Auflager oder in Feldmitte gezeichnet werden, so geht man wie folgt vor:

Es sei z. B. nach Abb. 2 die  $\mu$ -Linie in einem Vierfeldbalken infolge  $P$  in der Feldmitte 2 darzustellen. Man erhält die Ordinaten für das Moment bei B, C und 2 direkt aus den Kurven-Gruppen  $\mu_b, \mu_c, \mu_2$ , jeweils bei der Kurve 2 derselben. Für das Moment bei D fehlt nun eine Kurvengruppe; es ist aber, aus Symmetriegründen, gleich gross, wie das Moment bei B infolge einer Last bei 3 (symmetrische Last- bzw. Schnittlage bezüglich Trägermitte). Folglich ist  $\mu_{d_2} = \mu_{b_3}$  und man erhält diesen Wert aus der Gruppe  $\mu_b$  mit der Kurve 3, womit die ganze  $\mu$ -Linie zu Gl. (3) gezeichnet werden kann. Die zugehörigen



SBZ

Stützen-Drücke ergeben sich analog aus den verschiedenen  $c$ -Gruppen.

Endlich sei noch erwähnt, dass die Einflusslinien der Stützen-Drücke auch als *Einflusslinien der Stützensenkungen* dienen, wenn man die Ordinaten  $c$  bei der Auswertung mit  $e$  multipliziert.

### 3. Kritik der Voraussetzungen und der Diagramme

Vor der Erläuterung weiterer Eigenschaften und Anwendungen der Diagramme besprechen wir kurz einige mögliche Einwände:

a) *Die Voraussetzungen a, b, c des Abschnittes 1 sind oft nur teilweise erfüllt.* Wir werden in einem späteren Aufsatz zeigen, dass die dann entstehenden Anomalitäten z. T. mit Hilfe der Diagramme berücksichtigt werden können und den Vorgang, für den Fall von *Stützen verschiedenen Setzmasses*, bereits in Abschnitt 6 erläutern. Sind übrigens die Abweichungen gegenüber dem Normalsystem nicht gross, so werden jedenfalls, bei richtiger Wahl der Mittelwerte für  $e$  und  $EJ$ , d. h. der Kennzahl  $k$ , die Ergebnisse der Diagramme wenig von den wahren Verhältnissen abweichen. Man wird also praktisch nur grössere Anomalitäten genauer untersuchen, denn Unterschiede zwischen den Annahmen und dem wirklichen Verhalten des Materials, Baugrundes, usw. kommen schliesslich bei allen Bauaufgaben vor und werden mit den Sicherheitszahlen berücksichtigt.

b) *Die Einflusslinien sind nur durch die Ordinaten bei den Auflagern und Feldmitten und durch die Endtangente bestimmt.* Man wird beim Zeichnen jedoch wahrnehmen, dass dies Kurven ergibt, die auch in Zwischenschnitten praktisch genügend genau sind. Bei  $k = 0$  (feste Stützen) kann man auch Zwischenpunkte mit den bekannten Tabellen einzeichnen und den so erhaltenen Kurvenverlauf auch bei anderen, kleinen  $k$ -Werten wegleitend benutzen. Wir werden ferner zeigen, wie die Genauigkeit der  $\mu$ -Linien mittels weiterer Tangenten auf einfache Weise erhöht werden kann. Endlich erlaubt Gl. (40) in Abschnitt 7 eine weitere Kontrolle bei allen Einflusslinien.

c) *Das Interpolieren zwischen den  $k$ -Linien ist nur angenähert möglich.* Da die Ergebnisse laut Diagrammen auch bei grösseren Schwankungen von  $k$  wenig ändern und da man über die wahre Grösse von  $e$  oft streiten kann, wird es meist genügen,  $k$  einfach durch die nächste Zahl  $k$  des Diagrammes zu ersetzen, d. h. alle Ordinaten auf der nächsten  $k$ -Linie oder auch in der Mitte eines  $k$ -Intervalles abzugreifen.

d) *Die Ergebnisse hängen von der Genauigkeit beim Abgreifen und Uebertragen der Ordinaten und vom Eingang des Papiers der SBZ ab.* Wegen des knappen Raumes konnte freilich nicht vermieden werden, dass die Diagramme feingliedrig sind und ihre Auswertung also Aufmerksamkeit erfordert. Da sie aber viel Rechenarbeit ersparen, dürfte es nicht unbillig sein, etwas Zeit aufzuwenden, um die Ordinaten sorgfältig abzugreifen. Es werden dann, z. B. bei Ordinaten von rd. 50 mm Länge, kaum Uebertragungsfehler von mehr als 0,5 bis 1 mm, d. h. 1 bis 2% entstehen. Da ferner der Eingang des Papiers zwischen 0 und 1/2% wechselt, folgt, dass die Fehler im Rahmen von 0 bis 2,5% der grösseren Ordinaten gehalten werden können.

(Fortsetzung folgt)

## Industrie-Schornsteine

Die Entwicklung des Wärmekraftwerkbaues in den letzten dreissig Jahren hat auch dem Schornsteinbau Aufgaben gestellt, die mitunter zu unvermeidlichen Rückschlägen und schweren Schadenfällen geführt haben. In einem umfangreichen Aufsatz in der «Z. VDI» Bd. 88 (1944), Nr. 33 bis 36 berichtet Prof. W. Gehler (Dresden) über seine auf diesem Spezialgebiet gesammelten Erfahrungen und zeigt, welche Fortschritte erreicht werden können. Er gibt ferner Versuchsergebnisse bekannt, die unter seiner Leitung über die Elastizität und Festigkeit verschiedener Arten von Schornsteinmauerwerk gewonnen wurden; er formuliert die sich daraus stellenden Aufgaben und bringt Lösungen in Vorschlag. Da die Zeitschrift heute schwer erhältlich, der Aufsatz aber für weite Kreise, über den engeren Kraftwerkbau hinaus, wertvoll ist, wollen wir versuchen, den Inhalt in kurzen Zügen wiederzugeben.

In den grossen Braunkohlen-Kraftwerken fallen tägliche Aschenmengen an, die bis zu 25 Eisenbahnwagen füllen; die Schornsteine wuchsen dafür bis auf 160 m Höhe an. Die grösseren Schaftdicken, die sich durch die Windbelastung ergaben, und die höheren Abgastemperaturen hatten vielfach Wärmerisse zur Folge. Man kam dazu, ein Innenfutter zu verwenden, dessen Höhenbestimmung jedoch noch immer nicht befriedigend gelöst war. Gegenüber den Saugzuganlagen bieten hohe Schornsteine den gesundheitlichen Vorteil der Verteilung der

Abgase in höhere Luftschichten. Für Höhen über 100 m stehen mit den gemauerten die fugenlosen Eisenbeton-Schornsteine in Wettbewerb, bei denen die Wärmespannungen durch Ringeisen einwandfrei aufgenommen werden. Bei einer kleinsten Wandstärke von 15 cm an der Mündung setzt ihre Erstellung ganz besondere Erfahrungen und Zuverlässigkeit voraus. Wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit des Betons sind Betonschornsteine bis zur Mündung gefüttert. Nicht durchgesetzt haben sich Betonformsteine, die mit Längs- und Ringstäben bewehrt und dann vergossen werden. Schwierige Aufgaben stellen auch die sog. Säureschornsteine der chemischen Industrie, in denen neben aggressiven Gasen auch Feuchtigkeit auftritt. Zweckmässig werden diese mit dem Rauchgasschornstein in einem Bauwerk mit gemeinsamer Gründung und Ummantelung zu einem Doppelschornstein vereinigt, wobei Höhen bis zu 200 m möglich sind. Die Bedeutung der Schornsteinfrage erhellt auch daraus, dass die Baukosten pro Objekt mehrere hunderttausend Franken erreichen können und dass Funktion und Betriebssicherheit u. U. die Aufrechterhaltung eines Betriebes bestimmen.

Man unterscheidet: Kaltschornsteine, wenn die Rauchgastemperatur beim Eintritt ( $t_i$ ) unter 100° liegt, Warmschornsteine von 100° bis 300°, Heisschornsteine bei über 300°. Die meisten Schäden bei den überwiegend verbreiteten Warmschornsteinen entstehen infolge zu kurzen, nicht bis zur Mündung geführten Futters. Bei Eisenbeton-Schornsteinen sind die Wärmespannungen stets nachzuweisen, bei gemauerten dagegen fehlten bisher ein entsprechendes Rechenverfahren und die Kenntnis des elastischen Verhaltens der verschiedenen Mauerwerkarten. Bei den Kaltschornsteinen für Säureabzug sind ausser der Standfestigkeit bei Temperaturen über 70° auch die Wärmespannungen im säurefesten Rohr nachzuweisen. Die schwierigste Gruppe bilden die Heisschornsteine, zu denen jeder Warmschornstein bei ungeeigneter Feuerung oder Ausfall der Vorwärmer werden kann.

Die fünf Grundgrössen beim Entwurf eines Schornsteins sind: die Gesamthöhe  $h$  über dem Gelände, die obere lichte Weite  $D_o$ , die Futterhöhe  $h_f$  über dem Gelände, die Schaft-(Mantel-) Dicke  $d_f$  am oberen Futterende und die Abgas-Eintrittstemperatur  $t_i$ , diese letzte als verbindliche, schriftliche Angabe der Bauherrschaft.

Ausführlich werden dann vom Verfasser die fünf Gruppen üblicher Schadenfälle und ihre Ursachen behandelt. Am häufigsten sind die lotrechten Wärmerisse im Schaft, beginnend über dem oberen Futterende und langsam fortschreitend zum Fuss und zur Mündung, wobei Rissbreiten bis zu 15 cm schon gemessen wurden, die natürlich auch durch die ganze Schaftdicke hindurchgehen, falsche Luft oder Gasaustritt bewirken und statisch bedenklich sind. Zur Wiederherstellung der Standfestigkeit werden die gerissenen Schornsteine verdübelt, d. h. die gerissenen Steine ausgewechselt, und zwar bei höchster Abgastemperatur des Betriebes. Da nicht jeder Maurer mit Normalsteinen aus freier Hand einen einwandfreien Schornsteinverband mauern kann, sich also mit Behauen behelfen wird, sollte in jeder Zeichnung der beabsichtigte Steinverband nicht nur im Aufriss, sondern auch im Grundriss dargestellt und müssen für die verschiedenen Radian und Wanddicken feste Typen ausgebildet oder die genormten Ringziegel-Steine verwendet werden. Seltener sind waagrechte Risse am Schornsteinkopf, Schrägrisse im Schaft infolge örtlicher Ueberbeanspruchung, Blitzschlag- oder Explosionsrisse, Risse im Unterbau, zu starke Verformung dünnwandiger Innenrohre bei Doppelschornsteinen, für die auch praktische Beispiele mit näherer Begründung und guten Bildern angeführt sind.

In der Futterausbildung sind Fortschritte durch Anwendung des sog. *Zetaverbandes* zu verzeichnen. Dieser besteht aus den Zetasteinen mit keilförmig verdickten Enden und quadratischen Dübelsteinen, beide mit Nut und Feder versehen; er ist in stande, allseitige Druck- und Zugspannungen aufzunehmen. Die Steine bestehen aus säure-, temperatur- und witterungsbeständigem, gebranntem keramischem Baustoff, der Kitt je nach Säurevorkommen aus verschiedenen Stoffen. Steine und Verband zeigen günstige Festigkeitseigenschaften; der mechanische Zusammenhang wird auch nach dem Auftreten einzelner Risse behalten. Als kühnste Ausführungen erwähnt Prof. Gehler zwei freistehende säurefeste Innenrohre von 100 m Höhe, 5 m  $\odot$  und 6 cm Wanddicke und von 115 m Höhe, 7,5 m  $\odot$  und 8 cm Wanddicke, die nur etwa alle 15 m durch radial angeordnete Balken elastisch gegen den Schaft abgestützt sind. Diese Zetarohre bilden daher für die Futterrohre der Heisschornsteine die einzige Ausführungsmöglichkeit. Senkrechte Dehnungsfugen sind möglich, wenn der Kreisring nach Vorschlag des Verfassers als Drei- oder Viergelenkring ausgeführt wird.

Balken auf 5 Stützen

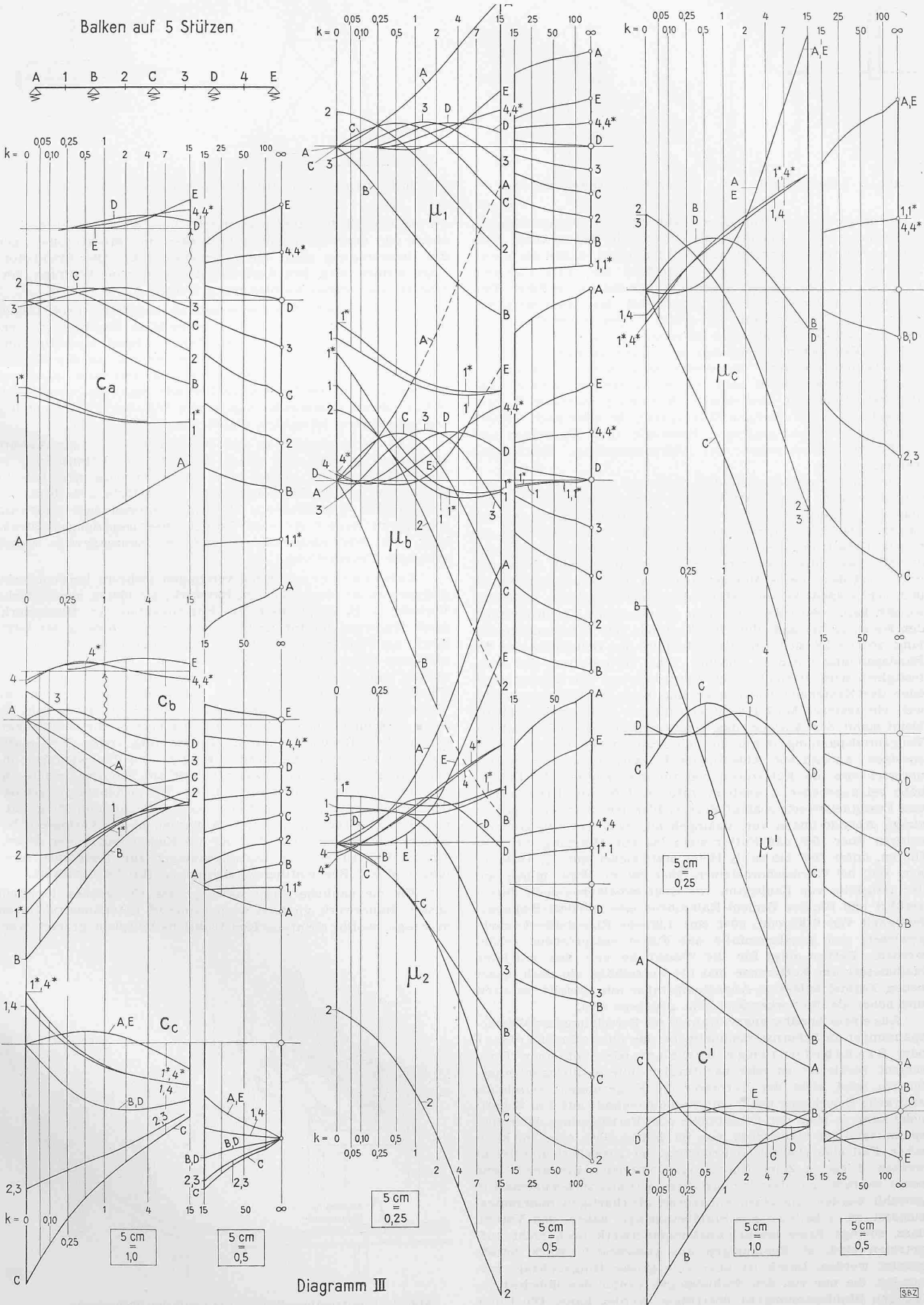
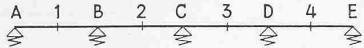


Diagramm III