BELASTUNG DURCH AUFLAGERPUNKT-BEWEGUNGEN VON TRÄGERN MIT VIELEN AUFLAGERN

Von

P. MICHELBERGER

Gruppe für strukturelle und technologische Gestaltung des Lehrstuhls für Flugzeugbau, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 19. Mai 1962)

Vorgelegt von Prof. Dr. G. RUDNAI

Die Belastung, die durch die Bewegung je eines Auflagers von Trägern mit vielen Auflagern entsteht, läßt sich auf elementare Weise berechnen, während die Belastung, die durch gleichzeitig auftretende, jedoch ungleich starke Bewegungen mehrerer Auflager hervorgerufen wird, anhand des Superpositionsprinzips berechnet werden kann. Die Zahl der Berechnungen nimmt aber mit dem Ansteigen der Zahl der sich bewegenden Auflager schnell zu. Die Anwendung von Differenzengleichungen gestattet die Vermeidung weitläufiger Berechnung und die Ermittlung der Beanspruchung über den einzelnen Auflagern aus einem geschlossenen Zusammenhang. Die Berechnungen gehen von der Annahme aus, daß der Träger regelmäßig ist, d. h. die Größe der Auflagerweiten gleich und die Steifigkeit des Trägers längelang konstant ist. Im Falle von Senkung betrachten wir die Auflagerpunkt-Bewegung als negativ.

Zunächst werden die Beanspruchungen und Deformationen bestimmt, die aus einer an der Stelle des i-ten Auflagers wirkenden Einheitskraft entstehen. Hieraus kann man mühelos zur Untersuchung der Wirkung der Bewegung übergehen. Die Ergebnisse lassen sich auch auf die gleichzeitigen Bewegungen mehrerer Auflager verallgemeinern.

Untersuchung über die Einheits-Vorspannkraft

Am i-ten Auflager (Bild 1) soll beim sonst vorspannungsfreien Träger eine positive Einheitskraft wirken. Durch die Kraftwirkung erhält der ganze Träger eine Beanspruchung. Die spezifische Beanspruchung kann mit Hilfe des Kräfteverfahrens aus einem linearen Gleichungssystem bestimmt werden. Das in berechnungstechnischer Hinsicht günstigste Grundsystem läßt sich bekanntlich durch die Durchschnitte $n - 2$ über den Auflagern herstellen. Das Grundsystem und die äußere Belastung, die durch an der Stelle i wirkende Vorspannkraft an dem Grundsystem hervorgerufen wird, sowie die entstandene Belastung durch das an einer beliebigen Stelle k wirkende Einheitsmoment sind in Bild 2 dargestellt. Die Beiwerte (Einheitsfaktoren) δ_{jk} des unbekannten Moments X_k über den Auflagerpunkten k sowie die Konstanten (Belastungsfaktoren) δ_{0k} des Gleichungssystems können bekanntlich anhand der Gleichheit von äußeren und inneren Fremdarbeiten (eventuell unter der Anwendung

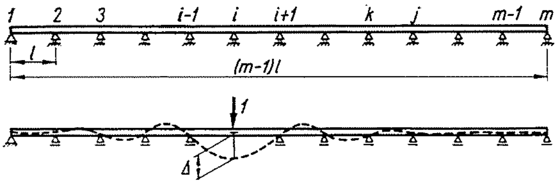

Bild 1

der Clapeyron-Gleichungen) berechnet werden:

$$\delta_{jk} = \int\limits_{(s)} \frac{\overline{M}_j \, \overline{M}_k}{JE} \, ds \quad \text{und} \quad \delta_{0k} = \int\limits_{(s)} \frac{M_0 \, \overline{M}_k}{JE} \, ds .$$

(Das im Index vorkommende j bezeichnet die laufende Nummer eines beliebigen Auflagers.) Bei einer regelmäßigen Konstruktion, d. h. bei einem Träger mit gleicher Auflagerweite lassen sich die Einheits- und Belastungsfaktoren nach Ausführung der Integrierungen mit einer einfachen geschlossenen Formel angeben. Mit den Bezeichnungen in Bild 2 und nach Einführung der Bezeichnungen

$$\frac{1}{JE} = a \quad \text{bzw.} \quad al = \beta$$

ergibt sich dann

$$\left.\begin{aligned}
\delta_{i+1,i+1} &= \delta_{i-1,i-1} = \frac{l}{JE} && = al = \beta \\
\delta_{i+1,i-1} &= \delta_{i-1,i+1} = \frac{l}{3} \frac{1}{JE} && = \frac{\beta}{3} \\
\delta_{k,k+1} &= \delta_{k,k-1} = \frac{l}{6} \frac{1}{JE} && = \frac{\beta}{6} \\
\delta_{k,k} &= \frac{2l}{3} \frac{1}{JE} = \frac{2}{3} \beta && \\
\delta_{0,i-1} &= \delta_{0,i+1} = \frac{l^2}{4} \frac{1}{JE} && = \frac{l}{4} \beta \\
\delta_{jk} &\equiv 0 \quad \text{wenn} \quad |j-k| \geqq 2 ,
\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

vorausgesetzt, daß $k \neq i, \; i-1, \; i+1$

Aus den Zusammenhängen (1) erhalten wir eine beliebige allgemeine Gleichung des Deformations-Gleichungssystems (weit genug vom i-ten Auflager entfernt), die sich zu

$$\frac{\beta}{6} X_{k-1} + \frac{2}{3} \beta X_k + \frac{\beta}{6} X_{k+1} = 0 \tag{2}$$

schreiben läßt; in der dem i-ten Auflager benachbarten Auflagerlinie hat

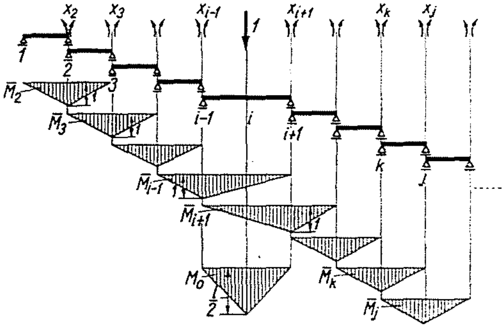

Bild 2

man dagegen:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\beta}{6} X_{i-2} + \beta X_{i-1} + \frac{\beta}{3} X_{i+1} + \frac{l}{4} \beta = 0 \\ \frac{\beta}{3} X_{i-1} + \beta X_{i+1} + \frac{\beta}{6} X_{i+2} + \frac{l}{4} \beta = 0. \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Da β in jedem Glied der Gleichung vorkommt, kann man damit reduzieren. Die allgemeine Gleichung des Gleichungssystems (2) kann als eine homogene Differenzengleichung angesehen werden, deren Lösung sich in geschlossener Form schreiben läßt [1]:

$$X_k = C_1 \lambda_1^{|i-k|-1} + C_2 \lambda_2^{|i-k|-1} . \tag{4}$$

λ_1 und λ_2 können aus der charakteristischen Gleichung der Differenzengleichung

$$\lambda^2 + 4\lambda + 1 = 0$$

ermittelt werden. Ihr Wert beträgt

$$\lambda_{1,2} = -2 \pm \sqrt{3}.$$

Der Wert von C_1 und C_2 hängt davon ab, ob der Wert von k kleiner oder größer ist, als der von i. Der Zusammenhang (2) birgt also zwei Differenzengleichungen zweiter Ordnung in sich, u. zw. je nachdem, ob der Wert von k den von i übersteigt oder unter diesem liegt. Die förmliche Lösung (4) der beiden Differenzengleichungen ist gleich, letzten Endes ist jedoch der Wert von vier Konstanten C_1', C_2' $(i < k)$, C_1'' und C_2'' $(i > k)$ zu bestimmen.

Für die Enden des Trägers lassen sich zwei Randbedingungen aufschreiben. Das Moment sinkt in der Linie der ersten und letzten Auflagerung auf den Nullwert ab, d. h. es wird

$$\begin{aligned} X_1 &= 0 \\ X_m &= 0\,. \end{aligned}$$

Zwei weitere Bedingungen liefern die Gleichungen (3), die sich für die Deformationen an den der i-ten Auflagerung benachbarten Auflagern aufschreiben lassen. Aus diesen Bedingungen können die Werte von C_1 und C_2 in Abhängigkeit von X_{i-1} bzw. X_{i+1} ermittelt werden.

$$\left.\begin{array}{l} \left.\begin{aligned} C_1' &= X_{i-1}\left(1 - \frac{\lambda_1^{i-2}}{\lambda_1^{i-2} - \lambda_2^{i-2}}\right) \\ C_2' &= X_{i-1}\,\frac{\lambda_1^{i-2}}{\lambda_1^{i-2} - \lambda_2^{i-2}} \end{aligned}\right\} \text{wenn } k < i-1 \\ \text{und} \\ \left.\begin{aligned} C_1'' &= X_{i+1}\left(1 - \frac{\lambda_1^{m-i-1}}{\lambda_1^{m-i-1} - \lambda_2^{m-i-1}}\right) \\ C_2'' &= X_{i+1}\,\frac{\lambda_1^{m-i-1}}{\lambda_1^{m-i-1} - \lambda_2^{m-i-1}} \end{aligned}\right\} \text{wenn } k > i+1\,. \end{array}\right| \qquad (5)$$

Hieraus und aus der Tatsache, daß $\lambda_1 = \dfrac{1}{\lambda_2}$ ergibt sich

$$\left.\begin{aligned} X_k &= X_{i+1}\,\frac{\lambda_2^{1(m-i-1)-k} - \lambda_1^{k-i-1}}{\lambda_1^{2(m-i-1)} - 1} \quad \text{wenn } k > i \\ X_k &= X_{i-1}\,\frac{\lambda_1^{2(i-1)-k} - \lambda_1^{i-k-1}}{\lambda_1^{2(i-2)} - 1} \quad \text{wenn } k < i\,. \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Ist $m \to \infty$, ist ferner der Wert von i hoch genug und weicht er nicht wesentlich von dem von k ab, (kurz, liegt die Stelle der Vorspannung weit vom Vorderteil und vom Ende des Trägers im Mittelteil und gleichzeitig die Auflagerung »k« unweit der Stelle der Vorspannung), so läßt sich der Zusammenhang (6) erheblich vereinfachen, dann in diesem Falle ist $X_{i-1} = X_{i+1}$, ferner $C_2 = 0$ und

$$X_k = X_{i\pm 1}\lambda_1^{|i-k|-1}. \tag{7}$$

Der Ausdruck (7) läßt sich leicht umformen, wenn man bedenkt, daß $\ln(2 - \sqrt{3}) = \ln(2 - \sqrt{4-1}) = \operatorname{arch} 2$ und wenn die Bezeichnung $\varphi = \operatorname{arch} 2$ eingeführt wird, womit man

$$X_k = e^{\varphi} X_{i\pm 1}(-e)^{-\varphi|i-k|} \tag{7'}$$

erhält. Die Anfangswerte X_{i-1} und X_{i+1} können im allgemeinen Fall aus dem Gleichungssystem mit zwei Unbekannten (3) ermittelt werden.

Aus den Zusammenhängen (3) und (6) lassen sich die Werte von X_{i-1} und X_{i+1}, bezogen auf verschiedene Vorspannungsstellen, errechnen. Diese Werte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Stelle der Vorspannung	X_{i-1}	X_{i+1}
i in der Mitte des Trägers	$\dfrac{3l}{2(e^{-\varphi} - 8)} = -0{,}194l$	$\dfrac{3l}{2(e^{-\varphi} - 8)} = -0{,}194l$
$i = 4$	$\dfrac{6l(4 - e^{-\varphi})}{23e^{-\varphi} - 122} = -0{,}1933l$	$\dfrac{45l}{2(23e^{-\varphi} - 122)} = -0{,}1944l$
$i = 3$	$\dfrac{3l(4 - e^{-\varphi})}{4(3e^{-\varphi} - 16)} = -0{,}1842l$	$\dfrac{3l}{3e^{-\varphi} - 16} = -0.1975l$
$i = 2$	0	$\dfrac{3l}{2(e^{-\varphi} - 6)} = -0{,}2618l$
$i = 1$	—	l

Anzahl sämtlicher Auflager $m = \infty$

Wie aus dieser Tafel erhellt, können in der Praxis beide Enden des Trägers als unendlich weit gelegen angesehen werden, wenn die Vorspannung nicht an ihnen oder an den ihnen benachbarten Auflagern vorkommt, d. h. mehr als vier Auflager sind in den Berechnungen schon als unendlich viel anzusehen. Die Beanspruchung des Trägers bei einem beliebigen k-ten Auflager beträgt im allgemeinen

$$M_k = M_0 + \sum_{j=2}^{m-1} X_j \overline{M}_j, \tag{8}$$

doch beträgt der Wert von M_j gemäß Bild 2 beim j-ten Auflager $\overline{M}_j = 1$, an den übrigen Auflagern hingegen 0, ausgenommen das i-te Auflager, wo auch M_{i-1} und M_{i+1} einen Wert haben; ihre Größe beträgt 1/2. M_0 besitzt nur an dem i-ten Auflager den Wert von $l/2$. Somit hat man

$$\left.\begin{array}{c} M_k = X_k \quad \text{wenn} \quad k \neq i \quad \text{und} \\ M_k = M_i = M_{0i} + \dfrac{X_{i-1} + X_{i+1}}{2} = \dfrac{l + X_{i-1} + X_{i+1}}{2} \text{ wenn } k = i. \end{array}\right\} \tag{8'}$$

Eine Ausnahme bilden $i = 1$ bzw. $i = m$, da nämlich in diesen Fällen

$$M_i = M_{1,m} = l. \tag{8''}$$

Die unter der Einwirkung der Einheitslast eintretende Bewegung an der Stelle der Vorspannung beträgt

$$\Delta = \alpha \int_{(s)} M\overline{M}\, ds = \alpha \int_{(s)} [M_0 + X_j \overline{M}_j]\, \overline{M}\, ds. \tag{9}$$

$\overline{M}$ stellt im allgemeinen die Beanspruchung dar, die durch die am Grundsystem angreifende Einheitskraftwirkung entsteht, weshalb in diesem Fall

$$\overline{M} = M_0$$

und somit

$$\Delta_i = \alpha \int [M_{0i} + X_{i-1} \overline{M}_{i-1} + X_{i+1} \overline{M}_{i+1}]\, M_{0i}\, ds, \tag{10}$$

wogegen

$$\alpha \int_{(s)} \overline{M}_{i-1} M_{0i}\, ds = \delta_{0,i-1} \text{ und } \alpha \int_{(s)} \overline{M}_{i+1} M_{0i}\, ds = \delta_{0,i+1}.$$

Aus diesen Gleichungen und unter Berücksichtigung der Zusammenhänge (1) läßt sich

$$\Delta_i = X_{i-1} \frac{l^2}{4} \alpha + X_{i+1} \frac{l^2}{4} \alpha + \alpha \int_{(s)} M_{0i}^2\, ds \tag{11}$$

und nach Integrierung

$$\Delta_i = \alpha \left(\frac{l^2}{6} + X_{i-1} \frac{l^2}{4} + X_{i-1} \frac{l^2}{4} \right) \tag{11'}$$

schreiben. Wenn sich der Träger an seinen Enden, also beim ersten bzw. beim letzten Auflager bewegt, dann hat man ein etwas modifizierte Ergebnis in der Form

$$\Delta_{\substack{1 \\ m}} = \alpha \left(\frac{2l^3}{3} + X_{\substack{2 \\ m-1}} \frac{l^2}{6} \right) \tag{11''}$$

Untersuchung von Belastung durch Bewegungen gegebener Länge

Mit Hilfe der Bewegungen ergibt sich die Auflagerkraft aus einer Bewegung von Einheitslänge zu

$$P(1) = \frac{1}{\Delta}. \tag{12}$$

Das entstandene Moment an dem k-ten Auflager beträgt

$$M(1) = P(1)\left[M_0 + \sum X_j \overline{M}_j\right] = \frac{M_0 + \sum X_j \overline{M}_j}{\Delta}. \tag{13}$$

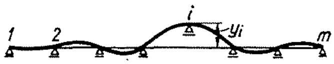

Bild 3

Hat die Auflagerpunkt-Bewegung (Bild 3) eine Länge von y_i, dann erhält man

$$M(y) = \frac{y_i}{\Delta_i}\left[M_0 + \sum X_j \overline{M}_j\right]. \tag{14}$$

Damit kann das beim Träger entstandene Moment am k-ten Auflager angegeben werden zu

$$M_k = \frac{y_i}{\Delta_i} X_k \quad \text{vorausgesetzt, daß } k \neq i. \tag{15}$$

Da jedoch die Stelle der Bewegung nicht ausbedingen ist, da sich vielmehr zugleich mehrere Auflager bewegen können, gilt allgemein unter Berücksichtigung der Zusammenhänge (7) und der Tabelle 1 sowie nach Ausführung der Operationen

$$M_k = 3\, e^{\varphi} \sum_{i=1}^{m} A_i\, y_i\, (-e)^{-\varphi\,|i-k|} \tag{16}$$

wo

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= A_m = -A e^{\varphi} \\ A_2 &= A_{m-1} = 6\,A = \frac{6.2}{\alpha\, l^2\,(4\,e^{-\varphi} - 15)} \\ A_3 &= A_4 = , \ldots = A_{m-2} = B = \frac{6}{\alpha\, l^2\,(2\,e^{-\varphi} - 7)} \end{aligned}\right\} \text{angenommen, daß } i \neq k$$

und

$$\left.\begin{aligned} A_k &= B\,\frac{5 - e^{-\varphi}}{3\,e^{\varphi}} \quad \text{wenn } 2 < k < m-1 \\ A_k &= A\,\frac{9 - 2\,e^{-\varphi}}{e^{\varphi}} \quad \text{wenn } 3 > k > m-2 \end{aligned}\right\} \text{wenn } i = k$$

Es ist leicht einzusehen, daß der Wert von M_k gegenüber der Verschiebung und gegenüber der kleinen Verdrehung des Koordinatensystems in Richtung y invariant bleibt, d. h. man hat

$$M_k(y_i) \equiv M_k(a_i + b + y_i), \tag{17}$$

wo a und b beliebig gewählte Zahlen bezeichnen. Das sagt aus, daß der Anfangspunkt des Koordinatensystems und die Richtung der Achsen nach Belieben gewählt werden dürfen. Es ist aber angebracht den Anfangspunkt beim ersten Auflager anzunehmen, die Richtung der Achse k dagegen so zu wählen, daß diese das m-te Auflager durchschneide, d. h. mit

$$y_1 \equiv 0 \quad \text{und} \quad y_m \equiv 0 .$$

Damit läßt sich die allgemeine Formel (16) weiter vereinfachen in die Form

$$M_k = 3e^{\varphi} \sum_{i=2}^{i=m-1} A_i y_i \, [-e]^{-\varphi|i-k|} . \tag{16'}$$

Näherungsverfahren

Obwohl die Summierung für die ganze Länge des Trägers vorgeschrieben ist, haben in der Praxis die einzelnen Glieder der Summe einen geringen Wert, wenn $(i - k) \geqq 2$, d. h. die Wirkung der Bewegung ist nur in ihrer unmittelbaren Umgebung von Bedeutung. Haben die Werte von y_i für jedes i die gleiche Größe, dann läßt sich mit guter Näherung die Beziehung

$$M_k = 3e^{\varphi} \sum_{i=k-1}^{k+1} A_i y_i \, [-e]^{-\varphi|i-k|} \tag{18}$$

aufschreiben, d. h. die durch die Bewegung des Auflagers hervorgerufene Belastung hängt in erster Reihe von der Bewegung ab, die auf die Bewegung des dem untersuchten Auflager benachbarten Auflagers bezogen ist.

Deutlich geht dies aus Bild 5 hervor, in welchem auch der Wert der relativen Bewegung $y_{iR} = y_i - \dfrac{y_{i-1} + y_{i+1}}{2}$ eingezeichnet wurde. Bei Näherungsberechnungen genügt es, die Wirkung der Vorspannung an jenen Stellen zu untersuchen, an denen der Wert von y_{iR} maximal ist.

Praktische Bemerkungen

Diese Ableitung gelten der Form nach auch für die Untersuchung der Belastung von in m Punkten verbundenen Balken (Bild 4). In diesem Falle wird die Belastung durch die unterschiedliche Länge der Verbindungelemente hervorgerufen. Beträgt das Trägheitsmoment der beiden Balken J_1 bzw. J_2, der Elastizitätsmodul derselben dagegen E_1 und E_2, dann hat man statt der in den Ableitungen vorkommenden α und β die Werte

$$\alpha' = \frac{1}{J_1 E_1} + \frac{1}{J_2 E_2} \quad \text{bzw.} \quad \alpha' \, l = \beta'$$

zu berücksichtigen.

Die durch die Berechnung ermittelten Momentenwerte sind in den zusammengehörenden Punkten der beiden Balken sinngemäß gleich groß, haben jedoch umgekehrte Vorzeichen und an Stelle von Auflagerkräften entstehen in den Verbindungselementen Zug- bzw. Druckkräfte.

In der Praxis darf man die lasttragende Konstruktion von Omnibussen mit Fahrgestell als auf diese Weise verbundene Balken ansehen. Das eine Glied des Balkenpaares stellen die beiden Längsträger des Fahrgestells dar, das andere die beiden Seitenwände des Wagenrahmens, die Verbindungselemente hingegen sind durch die Querträger des Wagenkastens gegeben.

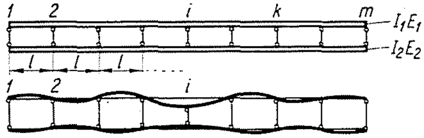

Bild 4

In geringem Maße werden die Berechnungen dadurch kompliziert, daß eigentlich zwei Fahrgestell-Längsträger und zwei Fahrzeugrahmen-Seitenwände, also vier Balken zu verbinden sind und daß bei diesem Balkenwerk nur die auf die Längsachse des Busses bezogene symmetrische Verbindung, mit dem Zusammenhang (16) beschrieben werden kann. In einem anderen Ausfatz [2] finden sich auch die Zusammenhänge für die antimetrischen Belastungen vor

Zahlenbeispiel

Geometrische Daten eines regelmäßigen Trägers: Zahl der Auflager

$$m = 9$$

Abstand zwischen zwei benachbarten Auflagern

$$l = 1375 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment des Trägers längs der ganzen Länge

$$J = 2000 \text{ cm}^4$$

Elastizitätsmodul des Trägers Werkstoffes $E = 2{,}1 \cdot 10^6$ kg/cm². Moment beim k-ten Auflager anhand des Zusammenhangs (16′)

$$M_k = 3e^{\varphi} \sum_{2}^{8} A_i y_i \, [-e]^{-\varphi|i-k|} .$$

Auf Grund der geometrischen Daten lassen sich schreiben

$$\left.\begin{aligned} A_2 &= A_8 = -\,0{,}091\,E \\ A_3 &= A_4 = \ldots = A_7 = -\,0{,}0981\,E \end{aligned}\right\} \text{wenn } i \neq k$$

$$\left.\begin{aligned} A_2 &= A_8 = -\,0{,}0344\,E \\ A_4 &= A_4 = \ldots = A_7 = -\,0{,}415\,E \end{aligned}\right\} \text{wenn } i = k$$

$$e^{-\varphi} = 0{,}2679.$$

Die Werte der aus obigen Daten berechneten Momente M_k sind in Tabelle 2 zusammengestellt. In dieser Tabelle sind ferner die Bewegungswerte in mm,

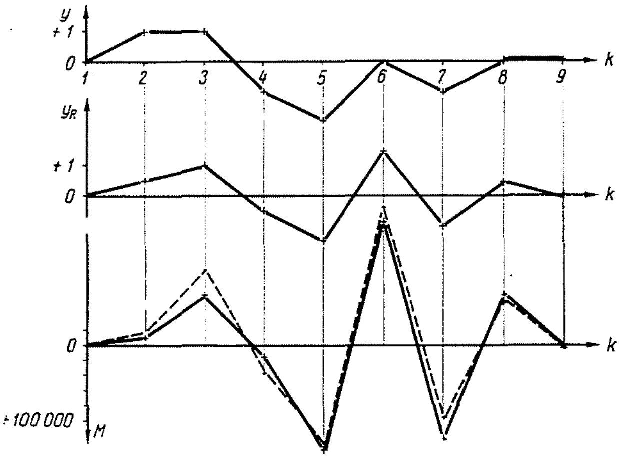

Bild 5

ferner die Näherungswerte des Moments M_k und die Größen der Auflagerkräfte angeführt. Die Näherungswerte des Moments M_k wurden anhand von Formel (18) berechnet; sie weichen von den genauen Werten höchstens um $\pm 18\%$ ab (bezogen auf den maximalen Wert), können also als verhältnismäßig gute Näherung angesehen werden.

In Bild 5 sind die Änderungen der Werte y und M dargestellt. Ebenso sind die relativen Bewegungswerte

$$y_{kR} = y_k - \frac{y_{k-1} + y_{k+1}}{2}$$

angegeben, mit deren Hilfe man schnell darüber entscheiden kann, bei welchem Auflager eine hohe Belastung zu erwarten ist.

Tabelle 2

Lauf. Nummer der Auflagers	Bewegung in mm y	Auflagermoment M [cmkp]	Näherungswert von M[cmkp]	Auflagerkraft P[kp]
1	0	0	0	85
2	+1	− 11 800	16 000	+ 315
3	+1	− 67 000	100 000	−1 005
4	−1	− 16 100	35 000	− 290
5	−2	+139 300	132 500	+3 115
6	0	−166 000	185 000	−4 335
7	−1	+124 750	97 500	+3 225
8	0	− 69 500	62 000	−1 915
9	0	0	0	+ 505

Zusammenfassung

Die Beanspruchung durch Auflagerbewegungen der Träger mit vielen Auflagern bzw. durch die Verbindung von Balken läßt sich im Falle regelmäßiger Konstruktionen mit Hilfe von simultanen Differenzengleichungen einfach berechnen. Die Auflagermomente können aus einer geschlossenen Formel mit zufriedenstellender Genauigkeit ermittelt werden. Die an den einzelnen Auflagern auftretenden gleich großen Bewegungen rufen nur in ihrer unmittelbarer Umgebung eine wesentliche Beanspruchung hervor; ihre Wirkung verschwindet in einer Entfernung von zwei-drei Auflagerweiten. Dieser letzteren Feststellung kommt eine besondere Bedeutung für die Untersuchung von unregelmäßigen Trägern zu (veränderliche Auflagerweite, variable Trägheit usw.), da es genügt, anstatt der Untersuchung des ganzen Trägers nur die unmittelbare Umgebung der Bewegung zu prüfen.

Schrifttum

1. BLEICH—MELAN: Die gewöhnlichen und partiellen Differenzengleichungen der Baustatik. Berlin. 1927.
2. MICHELBERGER, P.: Belastungen durch Ungenauigkeit beim Zusammenbau des Wagenrahmens und Fahrgestells von Omnibussen mit Fahrgestell (Alvázas autóbuszok kocsiszekrényének és alvázának összeszerelési pontatlanságából származó terhelések). (Im Druck).

P. MICHELBERGER, Budapest XI. Egry József u. 20, Ungarn.