ENTWURF VON TRÄGERN NACH DEM PRINZIP DER PRÄDETERMINIERTEN SPANNUNGEN

Von

GY. DEÁK

Lehrstuhl für Festigkeitslehre und Tragkonstruktionen,
Technische Universität, Budapest

Bei gewissen Tragkonstruktionen wird die Größe der Innenkräfte durch die Formänderungen wesentlich beeinflußt. Das ist vor allem bei den statisch unbestimmten Trägern in elastischem Zustand der Fall.

Abb. 1 zeigt einen Rahmen mit Zugband. Bei der Berechnung der Beanspruchungen der statisch einfach unbestimmten Konstruktion nach dem Kraft-

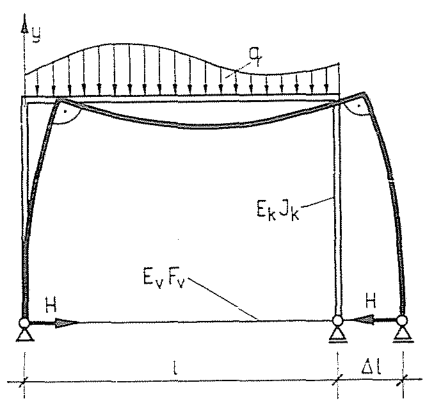

Abb. 1. Zur Berechnung der Zugstabrahmens

größen-Verfahren wird im allgemeinen in Form einer Gleichung angeschrieben, daß das Auseinanderrücken der Rahmenstiele unter Inanspruchnahme und die Verlängerung des Zugbandes einander gleich sind. Beim gegenwärtig üblichen Entwurfsverfahren werden die Querschnittsangaben schätzungsmäßig angesetzt (der Einfachheit halber wird hier vor allem die Schätzung des Zugbandquerschnitts unterstrichen), mit Hilfe der Formänderungsgleichung

$$\Delta l = \int \frac{M_q}{E_k\ I_k} y\ ds - H \int \frac{1}{E_k\ I_k} y^2\, ds = \frac{H}{E_v\ F_v}\ l$$

werden die Beanspruchungen (z. B. die Zugkraft im Zugband) ermittelt, und aus diesen werden unter Berücksichtigung der Grenzspannungen der einzelnen Werkstoffe die erforderlichen Querschnittsabmessungen (z. B. die Zugbandquerschnittsfläche) errechnet. Der auf diese Weise berechnete Wert kann von der als Ausgang der Berechnung gewählten Querschnittsangabe wesentlich abweichen. Die berechneten Beanspruchungen gewährleisten also das Gleichgewicht der Konstruktion, doch befriedigen sie in der Regel bei den als Endergebnis erhaltenen Querschnittsangaben die Formänderungsbedingungen nicht. Bei den üblichen Konstruktionen (Durchlaufträger, Platten) und Kraftwirkungen entsteht daraus kein erheblicher Fehler; notwendigenfalls läßt sich der Fehler vermindern, indem mit den im ersten Schritt erhaltenen Querschnittsangaben die Berechnung wiederholt wird. Ein bedeutend größerer Fehler, der auch durch stufenweise Näherung nicht immer eliminiert werden kann, ergibt sich für Konstruktionen, wo die Beanspruchung weniger durch das Verhältnis der Steifigkeit der einzelnen Trägerabschnitte als durch den Absolutwert der Steifigkeit bestimmt wird. Das ist der Fall z. B. bei Konstruktionen auf elastisch senkbaren Stützen, Systemen unter dynamischen Beanspruchungen oder Wärmewirkungen, über deren Verhalten die klassischen Bemessungsverfahren manchmal ein grundlegend falsches Bild geben.

Die innere Widersprüchlichkeit dieses auch gegenwärtig allgemein benutzten, klassischen Verfahrens besteht darin, daß Werte (einzelne Querschnittsmaße), die durch die Bemessung überhaupt bestimmt werden sollten, als bekannt vorausgesetzt werden, während andere, die bereits zu Beginn der Berechnung gewissermaßen gegeben sind (in den einzelnen Bauteilen auftretende Spannungen bzw. Formänderungen), als unbekannt betrachtet werden.

Es kann nämlich davon ausgegangen werden, daß in richtig bemessenen Bauteilen (z. B. im genannten Zugband) unter der maßgebenden Last gerade die Grenzspannung auftritt. Damit ist die Verlängerung des Zugbandes von vornherein bekannt und das Auseinanderrücken der Rahmenstiele ist dieser gleich.

$$\Delta l = \int \frac{M_q}{E_k \; I_k} y \; ds - H \int \frac{1}{E_k \; I_k} \; y^2 ds = \varepsilon_v l \, .$$

Daraus lassen sich die auf die Rahmenstiele übertragene Zugkraft H, und aus dieser der erforderliche Zugbandquerschnitt errechnen. Das ist bereits ein genauer Wert, der in die Formänderungsgleichung eingesetzt, diese befriedigen würde.

Dieses Verfahren darf als Entwerfen »nach dem Prinzip der prädeterminierten Spannungen«, oder »direkte« Projektierung bezeichnet werden. Der Gedankengang ist also wie folgt:

— Es wird angenommen, daß alle Querschnitte des Systems genau für die dort auftretenden Beanspruchungen bemessen werden, also im Querschnitt bzw. in dessen Randfasern in elastischem Grenzzustand die Grenzspannung wirkt.

— Aus den Spannungen und gewissen Querschnittsangaben (wie z. B. die Konstruktionshöhe des Trägers) lassen sich die spezifische Formänderung der Bauteile (Dehnung, Krümmung) und aus dieser — notwendigenfalls unter Berücksichtigung gewisser Gleichgewichtsbedingungen — die Deformationsform (z. B. die Lage der Momentennullpunkte) ermitteln.

— In Kenntnis der Deformationsform und der äußeren Lasten werden aus den Gleichgewichtsbedingungen die Beanspruchungen des Bauteils errechnet.

— Die einzelnen Querschnitte werden auf diese Beanspruchungen bemessen.

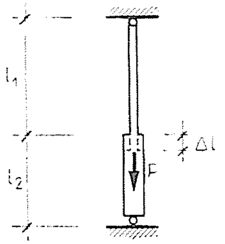

Abb. 2. Die Festigkeit der Werkstoffe im elastischen Grenzzustand läßt sich nicht in allen Konstruktionen ausnützen

Das angedeutete Verfahren läßt sich nicht für jeden Bauteil anwenden. Am Beispiel des einfachen Bauteils in Abb. 2 ist das leicht zu erkennen. Das Verhältnis der Spannungen in den beiden Stäben ist durch das Verhältnis der Stablängen bestimmt:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{l_2}{l_1} .$$

Sind die beiden Längen nicht gleich, werden auch die beiden Spannungen ungleich sein, wie immer auch die Stabquerschnittsflächen gewählt werden. Aus ähnlichen Gründen können auch statisch unbestimmte Fachwerkträger nur in Ausnahmsfällen so projektiert werden, daß im elastischen Zustand in sämtlichen Stäben die erwartete Spannung (z. B. die Grenzspannung) wirkt. Auch beim Bauteil in Abb. 1 kann die Zugbandfestigkeit nur ausgenutzt werden, wenn die Zugbanddehnung unter dem Einfluß der Grenzspannung kleiner als das Auseinanderrücken der Stiele des Rahmens ohne Zugband ist. Unter Anwendung des traditionellen Verfahrens bleibt dieser Umstand notwendigerweise unbeachtet.

Die Methode der prädeterminierten Spannungen läßt sich in der Regel bei Biegeträgern anwenden. In den beiden Randfasern die Grenzspannung angesetzt, ergibt sich aus den beiden ähnlichen Kreissektoren in Abb. 3 der Krümmungswert; dieser ist neben der Grenzspannung nur von der Bauhöhe und dem Elastizitätsmodul abhängig. Die Krümmung eines genau und wirtschaftlich bemessenen Trägers von ständiger Höhe ist hinsichtlich des Absolut-

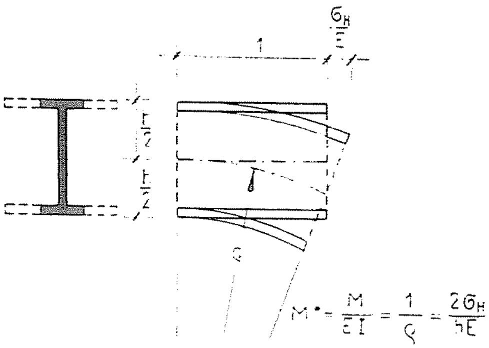

Abb. 3. Bestimmung der Krümmung im elastischen Grenzzustand

wertes konstant: die Mittellinie krümmt sich einem Kreisbogen gemäß. Die gekrümmte Mittellinie des an beiden Enden eingespannten, durch beliebige abwärts gerichtete Kräfte belasteten Stabes in Abb. 4 setzt sich aus drei Bögen mit gleichen Radien zusammen. Es ist leicht einzusehen, daß die Formänderungsbedingungen dann befriedigt werden, wenn die Inflexionspunkte in den Viertelpunkten der Spannweite liegen. Werden diese als Momentennullpunkte betrachtet, können die Beanspruchungen aus den Gleichgewichtsbedingungen berechnet werden. Bei gleichmäßig verteilter Last erhält man den in der Abbildung mit gestrichelter Linie gezeichneten Momentenverlauf: das Einspannungsmoment wird etwas größer, das Feldmoment etwas kleiner sein, als sie nach dem üblichen Berechnungsverfahren ausfallen. Dasselbe Verfahren läßt sich auch für die Zwischenfelder von Durchlaufträgern mit gleichen Stützweiten und gleichen Lasten anwenden. All das gilt selbstverständlich nur, wenn die Querschnittsmaße auf den Verlauf der Beanspruchungen abgestimmt werden, wenn z. B. die Gurtquerschnitte eines I-Trägers so geändert werden, daß das Widerstandsmoment dem Moment proportional sei.

Eine derartige »Umhüllung« des Momentenverlaufs ist vor allem bei Stahlbetonkonstruktionen möglich; daher läßt sich auch die Methode der prädeterminierten Spannungen besonders für diese anwenden. Es steht zwar fest, daß in der Regel lediglich der Stahlquerschnitt dem Moment entsprechend geändert wird, damit verändert sich jedoch auch die Höhe der Druckzone im zweiten, noch elastischen Spannungszustand.

In Abb. 5 wurden auf die Horizontalachse des Diagramms das maßgebende Moment, auf die Vertikalachse die Biegesteifigkeit des aufgrund des Spannungszustands III für dieses Moment bemessenen Querschnitts — beide in dimensionslosen Größen — aufgetragen. Die Methode der prädeterminierten Spannungen setzt voraus, daß die beiden Größen einander proportional sind; diesem Umstand würde eine aus dem Koordinatennullpunkt ausgehende

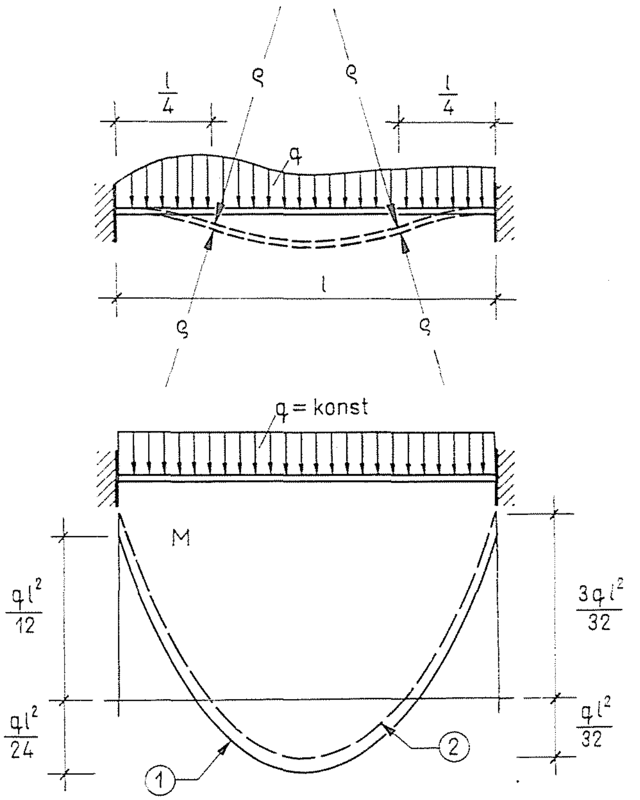

Abb. 4. Momente im an beiden Enden eingespannten Träger. 1 — nach dem klassischen Verfahren 2 — nach dem Prinzip der prädeterminierten Spannungen

Gerade entsprechen. Es ist zu erkennen, daß sich die die tatsächlichen Verhältnisse darstellende Kurve im praktisch vorkommenden Bereich durch eine solche Schräggerade gut annähern läßt, allenfalls viel besser, als durch eine zur x-Achse parallele Gerade. Es hat keine besondere Bedeutung, daß aus Konstruktionsgründen die Hüllkurve des Momentenverlaufs dem maßgebenden Momentenverlauf nicht »vollkommen«, sondern stufenweise, mit mehr oder weniger großen Überdeckungen folgt. Wesentlich ist, daß auf dem am stärksten beanspruchten Trägerabschnitt der Stahlquerschnitt und damit die Biegesteifheit den lokalen Maximalmomenten entsprechen.

Vor einem Jahrzehnt wurde von Professor József Pelikán — über einen anderen Gedankengang, doch im wesentlichen unter Anwendung der genannten Annahme — ein Bemessungsverfahren für Durchlaufträger aus Stahlbeton erarbeitet. Dieses wurde später von József Peredy, dann von Sándor

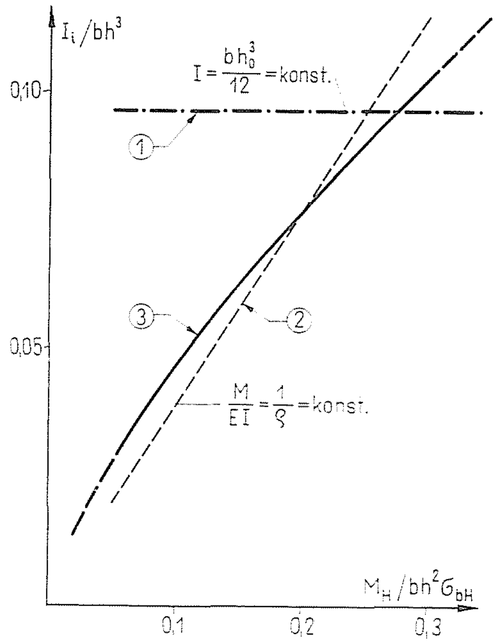

Abb. 5. Zusammenhang zwischen dem Grenzmoment und der Biegesteifigkeit des Stahlbeton-Querschnitts. 1 — nach dem klassischen Verfahren; 2 — nach dem Prinzip der prädeterminierten Spannungen; 3 — der tatsächliche Zusammenhang

Kaliszky weiterentwickelt und in einem gewissen Maße für Stahlbeton-Stabkonstruktionen verallgemeinert. Alle drei Wissenschaftler und auch andere Verfasser, die aus ähnlichen Annahmen ausgingen, betonten den Vorteil der auf diese Weise bemessenen Träger, daß unter den statisch möglichen, also die Gleichgewichtsbedingungen befriedigenden, ähnlichen Trägern diese den Momentenverlauf mit der kleinsten Fläche haben, damit ist auch die Menge der theoretisch erforderlichen Zugbewehrungen bei diesen die geringste. Dem traditionellen Bemessungsverfahren gegenüber läßt sich also eine Einsparung an Stahl in der Höhe von einigen Prozenten erzielen, dafür ist jedoch der Rechenaufwand größer, da im Allgemeinfall mehr Gleichungen als üblich angeschrieben und gelöst werden müssen. Es läßt sich vielleicht zum Teil mit dieser Mehrarbeit und vor allem mit der Beschränkung des Verfahrens auf die Optimierung von Baukonstruktionen erklären, daß das vielversprechende Verfahren kein größeres Interesse erregte und in die Ingenieurpraxis keinen Eingang fand.

Im weiteren soll an Hand von einfachen Beispielen auf einige Probleme hingewiesen werden, wo sich die Methode der prädeterminierten Spannungen ergebnisvoll anwenden läßt. Dabei wird angesetzt, daß auf den Trägern eine sog. »Einparameterlast« wirkt, sich also nur die Intensität der Last in der Zeit verändert, jedoch ihre Verteilung die Trägerlängsachse entlang unverändert bleibt.

Das »reduzierte Moment« M^*, also die Krümmung infolge der Beanspruchungen, wird — ist der Zahlenwert erforderlich — in der Regel aus der spezifischen Formänderung der Randfasern infolge der Grenzspannung berechnet. In den Druckgurten von Stahlbetonkonstruktionen ist der Beton oft nur in geringem Maße ausgenutzt, daher wird es richtiger sein, die Krümmung aufgrund der Dehnung der Zugbewehrung infolge der Grenzspannung und der schätzungsmäßigen Lage der Nullinie nach dem Spannungszustand II zu bestimmen.

Es ist bekannt, daß bei der Berechnung der Beanspruchungen nach dem Traglastverfahren (Grenzgleichgewicht) gewisse Anforderungen hinsichtlich des *Plastifizierungsvorgangs* gemacht werden. So wird gefordert, daß das erste plastische Gelenk oder die erste Bruchlinie nur unter einer größeren Last als die Betriebsbelastung entstehe, und auch dann an einer korrosionsgeschützten, nicht sichtbaren Stelle. Bei der rechnerischen Verfolgung des Plastifizierungsvorgangs würde sich gerade ein großer Vorteil des Verfahrens: seine Einfachheit verlieren; eine geeignete Faustregel um diese Anforderungen zu befriedigen steht jedoch noch nicht zur Verfügung. Ein Merkmal von großem Interesse der nach dem Prinzip der prädeterminierten Spannungen entworfenen Konstruktionen besteht darin, daß sie — unter Voraussetzung von ideal elastisch-plastischen Stoffen bzw. Querschnitten — bei Lasterhöhung den elastischen Zustand bis zur Erschöpfung der Tragfähigkeit beibehalten, und dann die Plastifizierung in sämtlichen Querschnitten zu gleicher Zeit beginnt. Wird also der Momentenverlauf in der Nähe des nach dem genannten Verfahren berechneten Diagramms angesetzt, kann mit Sicherheit angenommen werden, daß das erste plastische Gelenk oder die erste Bruchlinie nur unmittelbar vor dem Bruch entsteht, u. zw. dort, wo das bei der Bemessung angenommene Moment das nach dem genannten Verfahren berechnete Moment unterschreitet. Wird z. B. beim Träger in Abb. 4 gefordert, daß das erste plastische Gelenk über der Stütze entstehe, muß das Stützenmoment etwas unter dem Rechenwert gehalten werden, wobei das Feldmoment selbstverständlich entsprechend erhöht wird.

Durch die *Verschiebung der Stützen* werden im allgemeinen in gewissen Abschnitten der statisch unbestimmten Träger zusätzliche Beanspruchungen verursacht. Diese zusätzliche Beanspruchung wird in der Regel überschätzt, weil bei der Berechnung die Biegesteifigkeit des Trägers mit dem Trägheitsmoment des vollen Betonquerschnitts berücksichtigt wird. Auf der Grundlage der prädeterminierten Spannungen läßt sich die Formänderungsgleichung des symmetrisch angeordneten und belasteten Trägers auf drei Stützen in Abb. 6 sehr einfach anschreiben:

$$M^* \frac{l^2}{2} - 2\,M^* \times \left(l - \frac{x}{2}\right) = \delta,$$

und aus dieser werden die Orte der Momentennullpunkte, sodann der Momentenverlauf leicht berechnet.

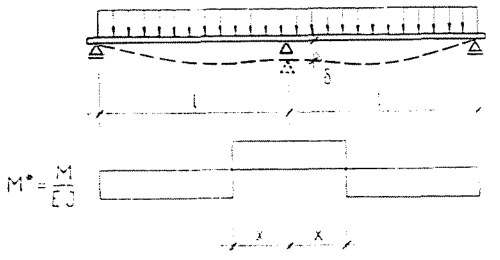

Abb. 6. Zur Berechnung des Trägers auf elastisch senkbaren Stützen

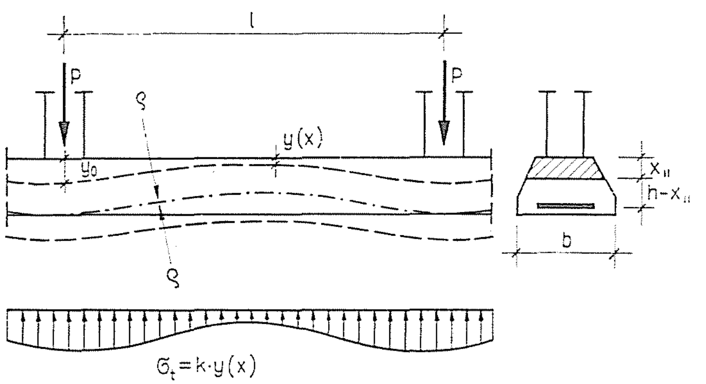

Abb. 7. Zur Berechnung des Trägers auf elastischen Stützen

Bei genaueren Bemessungsansprüchen dürfen die Gründungskörper nicht als starre Körper betrachtet werden, sondern auch deren Formänderungen sind zu berücksichtigen (Abb. 7). Der Boden wird in der Regel als *elastisches Auflager* betrachtet, dessen Widerstand — also die Bodenspannung — vom Eindringmaß des Gründungskörpers abhängig, nach dem einfachsten Winklerschen Modell dem Eindringmaß proportional ist. Dieser Ansatz führt zu einer verhältnismäßig einfachen, gemischten Differentialgleichung vierten Grades:

$$EIy^{\mathrm{IV}} - kby = 0$$

wo k der für den Boden kennzeichnende Bettungskoeffizient ist. Die Auflösung der Gleichung wird im Fachschrifttum ausführlich behandelt, es stehen für die verschiedenen Lastfälle in der Regel Tabellen zur Verfügung. Schwierigkeiten werden durch die Abschätzung der Trägerbiegesteifigkeit EI verursacht; diese wird in der Regel gleich dem Produkt aus dem Trägheitsmoment des Gesamtbetonquerschnitts und dem Elastizitätsmodul des Betons angesetzt, da die Querschnittsfläche der Bewehrungen noch unbekannt ist. Ein solcher Ansatz führt im allgemeinen zur Überschätzung der Trägersteifigkeit und damit zur Annahme eines Moments über dem tatsächlichen.

Nach dem Prinzip der prädeterminierten Spannungen wird im Falle eines in gleichen Abständen durch gleich beanspruchte Stützen belasteten Fundamentträgers von unendlicher Länge wie folgt vorgegangen.

Die gekrümmte Achsenlinie läßt sich aus Kreisbögen mit gleichen Radien zusammenstellen. Aus den Grenzspannungen der beiden Werkstoffe und der Trägernutzhöhe oder — was im Prinzip richtiger ist — aus der Stahlgrenzspannung δ_{NH} und der schätzungsmäßigen Lage der Nullinie werden die Krümmungen der Trägerabschnitte

$$\frac{1}{\varrho} \sim \frac{\sigma_{vH}}{E_v \; (h - x_{II})}$$

und aus diesen die Aufbiegung des Fundamentträgers ermittelt. Das Produkt aus der Fläche des Eindrückungsdiagramms und des Bettungskoeffizienten ist gleich der Last je Trägerabschnitt:

$$\left[y_o - \frac{1}{\varrho} \, \frac{l^2}{32} \right] k \, b \, l = P \, .$$

(Um die Berechnung zu vereinfachen, wurden — mit einer in der Festigkeitslehre üblichen Näherung — die Kreisbögen durch Parabeln zweiten Grades ersetzt.) Daraus wurden das Eindrückungsmaß unter den Stützen und die Bodenspannungsverteilung und aus letzterer die Biegebeanspruchung des Gründungskörpers berechnet.

Unter Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens läßt sich in der Momentenfläche — und damit in der Zughauptbewehrung — eine Einsparung in der Höhe von 50% und darüber erreichen.

Bei gleichzeitig auf Druck und Biegung beanspruchten Bauteilen (Abb. 8) führt die Berechnung der *zusätzlichen Beanspruchungen aus Formänderung* in der Regel zu Differentialgleichungen zweiter Ordnung; anstatt diese anzuschreiben und zu lösen, ist man in der Praxis — selbst in verhältnismäßig einfachen Fällen — gezwungen, Tabellen und Kurventafeln oder grobe Annäherungen zu benutzen. Bei Stahlbetonkonstruktionen stellt die Berücksichtigung der Biegesteifigkeit des Querschnitts eine weitere Schwierigkeit dar; diese wird in der Regel dem Produkt aus dem Trägheitsmoment des Gesamtbetonquerschnitts und aus dem Elastizitätsmodul gleichgesetzt, was bei stark außenmittigem Druck im allgemeinen eine grobe Näherung auf Kosten der Sicherheit darstellt.

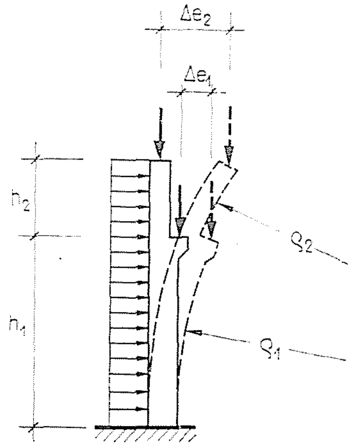

Abb. 8. Zur Berechnung der Außenmittigkeitszunahme infolge des Moments

Durch das Prinzip der prädeterminierten Spannungen wird ermöglicht, den Wert der zusätzlichen Beanspruchungen aus Formänderung auch für Bauteile unter stark außenmittigem Druck, mit komplizierterer Belastung verhältnismäßig einfach annähernd zu bestimmen. Im Falle der mit Vertikal- und Horizontalkräften belasteten Stütze in Abb. 8 lassen sich die Krümmungen der Abschnitte unterschiedlicher Konstruktionshöhen z. B. aus der Annahme berechnen, daß in den beiden Randfasern die zum Fließbeginn des Stahls gehörende Deformation bzw. die Bruchdeformation des Betons auftreten. Die Krümmungen als reduzierte Momente behandelt, können die Horizontalverschiebungen der Kraftangriffspunkte und daraus die zusätzlichen Momente u. U. nach der Mohr-Analogie ohne Schwierigkeit ermittelt werden:

$$\Delta e_1 = \frac{1}{\varrho_1} \frac{h_1^2}{2};$$

$$\Delta e_2 = h_1 \frac{1}{\varrho_1} \left(h_2 + \frac{h_1}{2} \right) + \frac{1}{\varrho_2} \frac{h_2^2}{2}.$$

Auch in der neuen ungarischen Stahlbetonvorschrift wird für Bauteile unter außenmittigem Druck aus einem ähnlichen Grundsatz ausgegangen. Auch aufgrund dieser Vorschrift — wie aus dem Prinzip der prädeterminierten Spannungen — ergibt sich, daß der Außenmittigkeitszuwachs von den Stützungsverhältnissen, von der Stablänge und der Bauhöhe abhängig, jedoch von der Lastgröße und dem Trägheitsmoment des Querschnitts unabhängig ist.

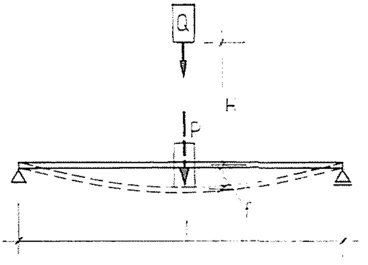

Abb. 9. Zur Berechnung des Trägers unter Schlagbeanspruchung

Die Anwendung auf dem Gebiet von *dynamischen* Problemen wird durch ein einfaches Beispiel veranschaulicht (Abb. 9). Der Träger auf zwei Stützen in der Abbildung sei in elastischem Zustand auf die Schlagwirkung eines von der Höhe H herabfallenden Körpers mit dem Gewicht Q bemessen. Die Masse des Balkens wird — wie das in der Praxis in ähnlichen Fällen üblich ist — vernachlässigt. Die Balkendurchbiegung im Grenzzustand wird wieder aus der bekannten Krümmung ermittelt:

$$f = \frac{1}{\varrho} \cdot \frac{l^2}{8} .$$

Die Potentialenergie des Körpers bzw. die dadurch erzeugte Bewegungsenergie wird durch eine — vom Balken übertragene und allmählich zunehmende Kraft P aufgezehrt:

$$Q\,(H + f) = \frac{Pf}{2} .$$

Aus der Gleichheit der beiden Energien läßt sich die Kraft P berechnen; der Balken ist auf diese als statische Einzelkraft zu bemessen.

Bei *Wärmewirkungen* ausgesetzten Bauteilen (Dachdecken, Bauteile in Warmbetrieben, usw.) wird gefordert, daß durch die gleichzeitige Last- und Wärmewirkung kein Fließen, keine bleibende Formänderung oder unzulässige Rißbildung in der Baukonstruktion herbeigeführt werden. Das traditionelle

Berechnungsverfahren — die Abschätzung der Steifigkeit der Stahlbetonkonstruktion anhand der Betonabmessungen — liefert im allgemeinen irreal hohe Beanspruchungen; daher wird auch praktisch von dieser Prüfung abgesehen. Für die Anwendung der Methode der prädeterminierten Spannungen wird in Abb. 10 ein einfaches Beispiel gezeigt. Es wird angenommen, daß die Verdrehung der Trägerenden durch die Stützen verhindert, jedoch deren axiale Verschiebung ermöglicht wird. Es lassen sich getrennt die Krümmung zufolge der Kraftwirkungen (Last und einstweilen unbekanntes Endmoment) aus der

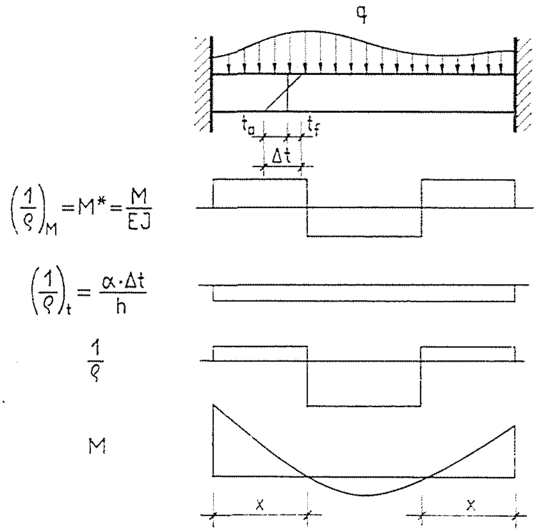

Abb. 10. Zur Berechnung der Beanspruchung durch Wärmewirkung

Grenzspannung, und die Krümmung zufolge Wärmewirkung aus der Temperaturdifferenz der Randfasern und der Wärmedehnzahl α_t ermitteln. In einzelnen Trägerabschnitten werden die beiden Krümmungen mit gleichem, in anderen Abschnitten mit entgegengesetzten Vorzeichen summiert. Die Gleichung der Formänderungsbedingungen liefert die Orte der Momentennullpunkte, aus denen sich die Beanspruchung berechnen läßt:

$$\left(M^* + \frac{\alpha \Delta t}{h}\right) l - 4 M^* x = 0;$$

$$x = \frac{l}{4}\left(1 + \frac{\alpha \Delta t}{M^* h}\right).$$

Das Verhältnis der Krümmung zufolge der Grenzspannung zur Krümmung zufolge Wärmewirkung spielt eine bestimmende Rolle. Übersteigt letztere die erstere, kann die plastische Formänderung des Bauteils durch die »Bemessung« des Querschnitts nicht verhindert werden; es müssen entweder die Werkstoffsorte oder die Konstruktionsart geändert werden.

Schlußfolgerungen

Bei Bauteilen, wo die Tragfähigkeit der einzelnen Querschnitte den äußeren Beanspruchungen gut folgt — also vor allem bei auf Biegung, stark außenmittigen Druck oder Zug beanspruchten Stahlbetonbauteilen — lassen sich die auf dem Prinzip der prädeterminierten Spannungen fußenden Verfahren mit gutem Ergebnis verwenden. Ihr Vorteil besteht hauptsächlich darin, daß sie sich auf wirklichkeitsnahe Modelle aufbauen, daher ein gutes Bild über das tatsächliche Kräftespiel der Konstruktion, über die Wirkung der verschiedenen Faktoren (Abmessungen, Materialbeschaffenheit) auf das Kräftespiel geben. Es wird der Widerspruch abgeschwächt, der zwischen der Berechnung der Beanspruchungen nach der Elastizitätstheorie und der Querschnittsbemessung nach dem plastischen Zustand besteht; es wird nämlich erleichtert, eine Verteilung der Beanspruchungen zu wählen, bei der im Betriebszustand des Trägers keine plastische Formänderung auftritt. Z. B. in den untersuchten Fällen vereinfacht sich die Berechnung bzw. führt sie zu Einsparungen an Material den traditionellen Verfahren gegenüber. Auf Einsparungen ist besonders bei Aufgaben zu rechnen, wo nicht das Steifigkeitsverhältnis der Bauglieder, sondern der Absolutwert maßgebend ist (Verbundkonstruktionen, eingebettete Träger, Wärmewirkung, usw.). Deshalb lohnt es sich, diese Verfahren weiterzuentwickeln bzw. auszuarbeiten. Es sind vor allem die Wirkungen der angewandten Näherungen, die Art der zuverlässigen Abschätzung der Formänderungen eingehender zu klären. Es muß das — wie allgemein bekannt — verwickelte Problem der Mehrparameterlast untersucht werden. Die Erarbeitung von Bemessungsverfahren für komplexere Systeme ist eine Aufgabe der Zukunft.

Abschließend sei es mir noch gestattet, meinem Kollegen István Hamza dankzusagen, der mir bei den Berechnungen und in der eingehenden Prüfung einzelner Fragen behilflich war.

Zusammenfassung

Die übliche Berechnungsweise der statisch unbestimmten Konstruktionen — die Berechnung der Beanspruchungen aufgrund von angenommenen Querschnittsmaßen, sodann die Ermittlung der Querschnittsmaße aus den errechneten Beanspruchungen — führt nicht nur zu ungenauen Ergebnissen, sondern sie gibt oft ein falsches Bild des Kräftespiels der Konstruktion. Das »Prinzip der prädeterminierten Spannungen« läßt sich ergebnisvoll bei Konstruktionen — vor allem bei Stahlbetonkonstruktionen — anwenden, wo die Tragfähigkeit der Querschnitte und damit auch ihre Biegesteifigkeit dem Verlauf der Beanspruchungen gut folgen. Unter der Voraussetzung eines elastischen Grenzzustands läßt sich der Charakter der Formänderungen gut abschätzen; aus diesem sowie aus gewissen Gleichgewichtsbedingungen lassen sich die Beanspruchungen berechnen. Im Vortrag werden einige Anwendungsmöglichkeiten dieses Prinzips gezeigt: die Abschätzung des Plastifizierungsvorgangs, Berechnung der Beanspruchungen von Trägern auf elastisch senkbaren und elastischen Stützen, Ermittlung der zusätzlichen Beanspruchungen aus Formänderungen, dynamischen und Wärmewirkungen.

Professor Dr. György DEÁK, Budapest XI., Műegyetem rkp. 3, Ungarn.