
	Stahlbau <b>STAHLTRAGWERKE IM HOCHBAU</b> Berechnung nach dem Traglastverfahren	 <b>13 450/02</b> Gruppe 135800

Стальное строительство; Стальные несущие конструкции в надземном строительстве; Расчет по предельным нагрузкам

Structural Steel Engineering Steel Supporting Structures for Buildings Ultimate Load Design

Deskriptoren: Stahltragwerk; Traglastverfahren; Stahlbauweise

Umfang 8 Seiten

Verantwortlich/bestätigt: 30.3.1984, VEB Metalleichtbaukombinat, Leipzig

Für neu auszuarbeitende Projektlösungen und Angebotsprojekte verbindlich ab 1.10.1984

Für bestehende Angebotsprojekte und Wiederverwendungsprojektlösungen verbindlich ab deren planmäßiger Überarbeitung spätestens jedoch ab 1.10.1986

Für Serienerzeugnisse verbindlich ab 1.10.1988

Dieser Standard gilt in Verbindung mit TGL 13 450/01 und TGL 13 500/01 und /02 für Stahltragwerke der Berechnungsgruppe C, wenn sie nicht durch Wanderlasten beansprucht werden. Abweichungen von diesem Standard sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet und von der zuständigen Prüfstelle genehmigt sind.

#### 1. ALLGEMEINES

Die Berechnung nach dem Traglastverfahren eignet sich besonders für statisch unbestimmte Tragwerke, bei denen unter proportional steigender Belastung durch Bildung von plastischen Gelenken eine Umverteilung der Biegemomente erfolgen kann, so daß eine gleichmäßigere Auslastung aller Bereiche des Tragwerkes erfolgt als im rein elastischen Zustand. Zu diesen Tragwerken gehören z. B. Durchlaufträger und Rahmen, deren Riegel wesentliche Biegemomente aus vertikalen Lasten erhalten.

Wenn die seitliche Verschiebung der Rahmenriegel unter  $v$ -fachen Normlasten bei Berechnung nach der Elastizitätstheorie höchstens 0,003 der Geschoßhöhe beträgt, darf die Berechnung nach der Theorie I. Ordnung erfolgen.

Bei größerer Verschiebung muß nach der Plastizitätstheorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformung nach TGL 13 503/01 gerechnet werden.

Eigenspannungen und Spannungen aus Temperaturänderungen brauchen nicht berücksichtigt zu werden, Stützensenkungen und Auflagerverdrehungen nur, sofern die daraus entstehende Verdrehung der plastischen Gelenke offensichtlich vernachlässigbar, nicht wesentlich größer als 0,05 rad, und örtliche Instabilität ausgeschlossen sind.

Alle nach TGL 13 500/01 zugelassenen Baustähle dürfen unter den dort angegebenen Bedingungen verwendet werden.

#### 2. NACHWEISE

Bei der Berechnung sind die  $v$ -fachen Normlasten mit  $v$  nach Tabelle 1 einzusetzen.

Tabelle 1

	Grenzlastfall (GLF)	$v$
H	Verkehrslasten	1,5
	Eigenlasten <sup>1)</sup>	1,33
HZ		1,33
S		1,2

In den folgenden Abschnitten sind  $vN$ ,  $vQ$  und  $vM$  die unter  $v$ -fachen Normlasten entstehenden Schnittkräfte.

Folgende Nachweise sind zu führen:

- Traglastnachweis
- Profilmachweis
- Stabilitätsnachweis
- Formänderungsnachweis
- Nachweis der Verbindungsmittel

Offensichtlich nicht maßgebende Nachweise dürfen entfallen.

Als Fließgrenze darf die Streckgrenze ( $\sigma_F$ ) nach TGL 13 500/01 angenommen werden.

<sup>1)</sup> sofern ihnen in TGL 32 274/02 ein Lastfaktor  $n = 1,1$  zugeordnet ist; sonst gilt  $v$  wie für Verkehrslasten

*Sx A, 4 Nach*

## 2.1. Traglastnachweis

Mit den  $\nu$ -fachen Normlasten ist eine statisch zulässige und sichere Momentenverteilung im Stabwerk nachzuweisen. An den Stellen, an denen das vollplastische Moment ( $M_{pl}$ ) erreicht wird, sind plastische Gelenke anzunehmen. Die statische Unbestimmtheit wird dadurch jeweils vermindert, bis das Gesamtsystem oder ein Teilsystem beweglich wird, das heißt nicht mehr tragfähig ist. An der Stelle, an der sich das letzte plastische Gelenk zum Erreichen eines beweglichen Systems bildet, darf das Tragmoment ( $M_T$ ) nicht überschritten werden. In diesem Zustand ist die Traglast erreicht. Die für die Veränderung des Systems erforderlichen Verdrehungen der plastischen Gelenke dürfen nicht größer als etwa  $0,1$  rad ( $6^\circ$ ) sein.

Wenn die Lasten nicht immer in der gleichen Anordnung, Wirkungsrichtung und im gleichen Verhältnis zueinander auftreten, ist zusätzlich nachzuweisen, daß unter den möglichen Kombinationen der Normlasten - ohne  $\nu$  - bei Annahme elastischen Verhaltens an keiner Stelle des Tragwerks die Fließgrenze überschritten wird. Dieser Nachweis ist z. B. bei solchen Tragwerken zu führen, die wesentliche Windlasten aufzunehmen haben oder bei denen die Verkehrslasten in ihrer Anordnung stark wechseln. Er darf durch einen genaueren Nachweis des Einspielens bei alternierender Plastizierung oder zunehmendem Versagen ersetzt werden.

## 2.2. Profilmachweis

Es ist nachzuweisen, daß die in der Berechnung ermittelten Schnittkräfte von den Stäben aufgenommen werden, siehe Abschnitt 2.1.

## 2.2.1. Vollplastisches Moment und Tragmoment

Das Tragmoment ( $M_T$ ) als Mittelwert aus Fließmoment ( $M_F$ ) und vollplastischem Moment ( $M_{pl}$ ) wird als Grenzmoment der Tragfähigkeit bei teilweiser Ausnutzung der Plastizierung angesehen, siehe auch TGL 13 500/01 und /02. Es gewährleistet den Erhalt der Tragfähigkeit ohne übermäßige Verformung und ist für das statisch bestimmte Gesamt- oder Teilsystem maßgebend, das durch Bildung einer entsprechenden Anzahl von plastischen Gelenken entstanden ist.

$$M_T = \frac{M_F + M_{pl}}{2} \approx 1,2 M_F \quad (1)$$

$$M_F = W \cdot \sigma_F$$

$$M_{pl} = \sum (|A_i \cdot y_i| \cdot \sigma_{Fi}) \quad (2)$$

Hierbei bedeutet:

$M_F$	Fließmoment, Beginn des Fließens in der äußersten Faser bei elastischer Spannungsverteilung
$M_{pl}$	vollplastisches Moment, volle Plastizierung des Querschnittes
$\sigma_F$	Streckgrenze nach TGL 13 500/01
$A_i$	Fläche der einzelnen Querschnittsteile
$y_i$	Abstand der einzelnen Querschnittsteile von der Nulllinie bei voller Plastizierung
$\sigma_{Fi}$	Streckgrenze der einzelnen Querschnittsteile

Bei homogenen Querschnitten ist  $M_{pl} = W_{pl} \cdot \sigma_F$ , wobei das plastische Widerstandsmoment ( $W_{pl}$ ) gleich der Summe der Absolutwerte der statischen Momente in Bezug auf die Flächenhalbierende ist. Die Nulllinie bei voller Plastizierung ist aus der Gleichgewichtsbedingung "Summe der Längskräfte gleich Null" zu berechnen. Bei homogenen doppelsymmetrischen Querschnitten fällt sie mit der Schwerlinie zusammen. Lochabzug nach TGL 13 500/01 ist zu berücksichtigen.

## 2.2.2. Einfluß von Längs- und Querkraft

Wenn die Längskraft  $\nu N > 0,1 A \cdot \sigma_F$

oder die Querkraft  $\nu Q > 0,2 A_S \cdot \sigma_F$  ist,

sind das vollplastische Moment und das Tragmoment zu reduzieren.

Sofern kein genauere Nachweis erfolgt, darf bei annähernd doppelsymmetrischen I- und Hohlprofilen angesetzt werden

$$M_{pl,NQ} = M_{pl} \left( 1 - 1,1 \frac{\nu N}{A \cdot \sigma_F} - 0,5 \frac{\nu Q}{A_S \cdot \sigma_F} \right) = M_{pl} \quad (3)$$

oder

$$M_{pl,NQ} = M_{pl} \left[ 1 - \left( \frac{\nu N}{A \cdot \sigma_F} \right)^2 - 0,5 \frac{\nu Q}{A_S \cdot \sigma_F} \right] \quad (4)$$

wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Bei Rechteckquerschnitten oder I-Profilen bei Biegung in Flanschebene gilt allgemein Formel (4).

Die Längskraft muß

$$\nu N \leq 0,8 A \cdot \sigma_F \quad (5)$$

und die Querkraft

$$\nu Q \leq 0,5 A_S \cdot \sigma_F \quad (6)$$

sein.

Hierbei bedeutet:

A Fläche des Gesamtquerschnittes

$A_S$  Fläche, die die Querkraft(Q)überträgt

Wenn  $\sqrt{N} \leq 0,1 \cdot A \cdot \sigma_F$  oder  $\sqrt{Q} \leq 0,2 \cdot A_S \cdot \sigma_F$  ist, darf das entsprechende Glied in Formel (3) und (4) entfallen.

Als Tragmoment darf

$$M_{T,NQ} = M_T \cdot \frac{M_{pl,NQ}}{M_{pl}} \quad (7)$$

gesetzt werden.

### 2.2.3. Querschnitt

Um die örtliche Stabilität zu gewährleisten, sind im Bereich der plastischen Gelenke für druckbeanspruchte Teile die folgenden Verhältnisse einzuhalten:

Gesamte Flanschbreite (b) zur Flanschdicke (t)

- bei größerer Längsausdehnung der plastischen Gelenke, z. B. Feldmomente unter Streckenlast, große Längskraft

$$\text{bei I - Profilen: } \frac{b}{t} \leq 17 \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (8)$$

$$\text{bei Kastenprofilen: } \frac{b}{t} \leq 30 \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (9)$$

- bei geringer Längsausdehnung, z. B. Stütz-  
momente oder Feldmomente unter Einzellast

$$\text{bei I - Profilen: } \frac{b}{t} \leq 23 \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (10)$$

$$\text{bei Kastenprofilen: } \frac{b}{t} \leq 36 \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (11)$$

Steghöhe ( $h_s$ ) zu Stegdicke (s)

bei  $\sqrt{N} < 0,27 \cdot A \cdot \sigma_F$

$$\frac{h_s}{s} \leq (70 - 100 \frac{\sqrt{N}}{A \cdot \sigma_F}) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (12)$$

bei  $\sqrt{N} \geq 0,27 \cdot A \cdot \sigma_F$

$$\frac{h_s}{s} \leq 43 \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad (13)$$

Hierbei bedeutet:

$$\sigma_F^* = 240 \text{ N/mm}^2$$

Für  $M_T$  gilt TGL 13 500/02.

### 2.3. Stabilitätsnachweis

Stäbe, in denen bei plastischer Berechnung keine Fließgelenke auftreten, sind nach TGL 13 503/01 und /02 nachzuweisen.

Die folgenden Festlegungen gelten für Stäbe mit Fließgelenken. Erfolgt bei Druck und Biegung die Plastizierung nur am Ende des Stabes, so ist als  $\sqrt{M_1}$  das größte Biegemoment anzunehmen, das im Abstand 0,1 l vom plastischen Gelenk aus auftritt, siehe Bild 1, und nachzuweisen

$$\sqrt{M_1} \cdot f_M + \sqrt{N} \cdot \frac{W}{A} \cdot \mu_N \cdot f_N \leq M^* \quad (14)$$

$$\sqrt{N} \leq N_{ki}$$

Hierbei bedeutet:

$f_M$  Faktor, der die Vergrößerung der Biegemomente nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung gegenüber denen nach Theorie I. Ordnung ausdrückt, siehe TGL 13 503/02.

$$f_N = \frac{1}{1 - \frac{\sqrt{N}}{N_{ki}}} = 1 + \frac{1}{\frac{N_{ki}}{\sqrt{N}} - 1}$$

$$N_{ki} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_k^2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\lambda^2} \quad \text{Ideale Knicklast in Richtung der Verformung durch das Moment}$$

$l_k$  Knicklänge nach TGL 13 503/01 und /02. Plastische Gelenke sind dabei als Gelenke anzunehmen.

$\lambda$  Schlankheitsgrad nach TGL 13 503/01 und /02

$\frac{W}{A}$  Kernweite des Querschnitts

$\mu_N$  Imperfektion

Sie beträgt

$$\mu_N = \frac{k \cdot \lambda - 15}{500} \geq 0 \quad \text{bei Rohren, Kastenquerschnitten, I-Profilen in Stegebene gebogen}$$

$$\mu_N = \frac{k \cdot \lambda - 10}{320} \geq 0 \quad \text{in den übrigen Fällen}$$

$$k = \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} \quad \text{nach Tabelle 2}$$

Tabelle 2

$d_F$ N/mm <sup>2</sup>	k
240	1
300	1,12
360	1,23
450	1,37

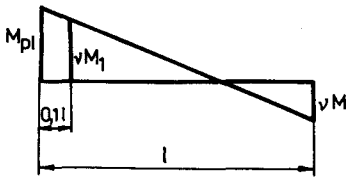


Bild 1

$M^* = M_{T,NQ}$  an der Stelle des letzten plastischen Gelenks, an der keine Verdrehung auftreten darf und wo  $M_T$  maßgebend ist

$M^* = M_{pl,NQ}$  an den plastischen Gelenken mit Verdrehung

Erfolgt Plastizierung im mittleren Teil des Stabes, so muß nach der Plastizitätstheorie II. Ordnung gerechnet werden, sofern nicht kleine Axialkräfte,  $vN \leq 0,01 N_{ki}$ , vorliegen. Die Stiele verschieblicher Rahmen dürfen nach Formel (14) berechnet werden, wenn für Ausweichen in der Rahmenebene der Knicklängenfaktor ( $\beta$ ) nach TGL 13 503/02 berücksichtigt wird und der Schlankheitsgrad  $\lambda \leq 120/k$  entsprechend  $\bar{\lambda} \leq 1,3$  ist.

An den plastischen Gelenken müssen die Träger gegen Kippen gehalten sein. Der maximale Abstand bis zur nächsten Kipphalterung, bei dem ein Kippnachweis noch nicht erforderlich ist, beträgt

$$\max. l = \frac{i_y}{k} (55 - 15 \frac{vM}{M_{pl}}) \leq 64 \frac{i_y}{k} \quad (15)$$

Hierbei bedeutet:

$i_y$  Trägheitsradius des Gesamtprofils quer zur Ebene der Belastung

$vM$  Biegemoment am anderen Ende des Trägerabschnittes, siehe Bild 2.

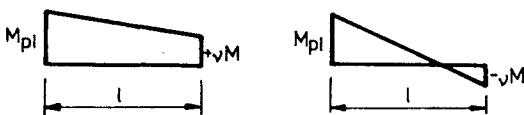


Bild 2

Die Stabilität gegen Ausweichen aus der Belastungsebene heraus (Biegedrillknicken, Kippen mit Längskraft) kann, soweit erforderlich, analog TGL 13 503/01 und /02 nach der Interaktionsformel

$$\frac{vN}{\varphi \cdot A \cdot \sigma_F} + (\frac{vM}{\varphi_M \cdot M^*})^n \leq 1 \quad (16)$$

nachgewiesen werden, siehe Bild 3.

Hierbei bedeutet:

$vN, vM$  Längskraft und Biegemoment unter  $v$ -facher Belastung

$\varphi$  Knickfaktor nach TGL 13 503/01 für Ausweichen rechtwinklig zu der Ebene, in der das Biegemoment wirkt.

$\varphi_M$  Kippfaktor nach TGL 13 503/01 für

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M^*}{M_{ki}}}$$

Näherungsberechnung für  $\bar{\lambda}_M$  zulässig

n nach TGL 13 503/01

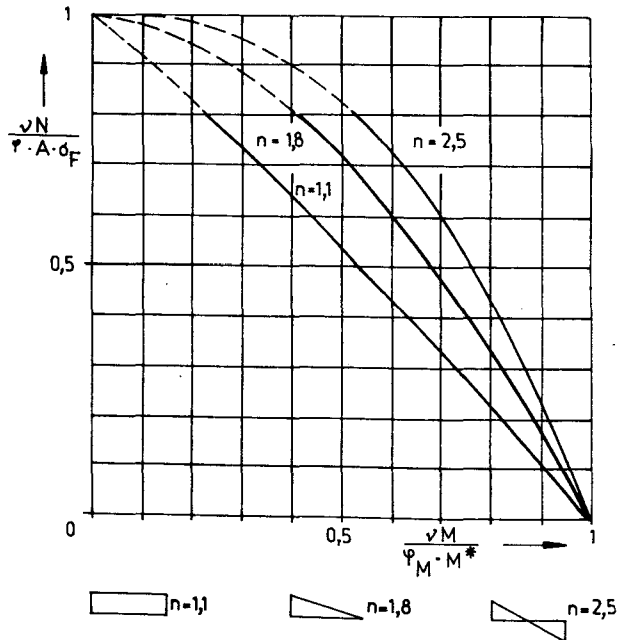


Bild 3

#### 2.4. Formänderungsnachweis

Der Formänderungsnachweis ist mit Normlasten,  $v = 1$ , zu führen, wenn durch die Verformung Funktion oder Nutzung beeinflusst werden oder wenn er in Rechtsvorschriften gefordert wird. Er darf nach der Elastizitätstheorie geführt werden, sofern nicht in Ausnahmefällen die Verformung unter Normlasten merklich vom elastischen Verhalten abweicht.

#### 2.5. Nachweis der Verbindungsmittel

Die Verbindungsmittel müssen die Schnittkräfte aufnehmen können, die im Zustand des beginnenden Versagens wirken. Innerhalb der Anschlüsse darf mit der gleichen Spannungsverteilung wie in den anschließenden Bauteilen, volle oder teilweise Plastizierung entsprechend  $M_{pl}$  oder  $M_T$  nach Abschnitt 2.2.1.,

gerechnet werden. Für Schweißnähte, Schrauben und Niete beträgt die ertragbare Spannung das  $\nu$ -fache der Werte nach TGL 13 500/01 und TGL 13 502. Um bei gleitfesten Schraubverbindungen das Gleiten zu verhindern, darf die Kraft in der Verbindung unter  $\nu$ -facher Belastung nur das  $\nu_G$ -fache der zulässigen übertragbaren Kraft nach TGL 13 502 betragen mit  $\nu_G$  nach Tabelle 3.

Tabelle 3

Grenzlastfall	$\nu_G$
H	1,25
HZ	1,10
S	1,00

Bei nicht eingepaßten Schrauben ist gegebenenfalls die größere Verformung durch den Schlupf nach TGL 13 500/01 zu berücksichtigen.

Werden alle Teile eines Querschnitts mit ihrer vollen Fläche angeschlossen oder gestoßen, erübrigen sich besondere Nachweise für die Schweißnähte. Die Fläche dieser Nähte ist im Verhältnis der zulässigen Spannung der Naht zu der des Grundwerkstoffes zu berechnen.

### 3. PLASTISCHE GELENKE

An den Stellen, wo sich planmäßig plastische Gelenke bilden, soll der Grundwerkstoff unbehindert fließen können. Das erfordert z. B., daß Decklaschen möglichst vermieden werden, zumindest aber so kurz wie möglich sind. Nöcher im Bereich plastischer Gelenke in der Zugzone sind zu bohren, abgescherte Kanten abzuschleifen.

Ausreichende Aussteifung und seitliche Halterung der Stäbe ist vorzusehen.

Stegbleche in Rahmenecken müssen auf Schub berechnet und gegebenenfalls durch Vergrößern der Blechdicke, zusätzliche Bleche oder schräge Rippen verstärkt werden. Die Schub-Fließspannung ist mit  $\sigma_F/\sqrt{3}$  anzunehmen.

Bei auf Druck beanspruchten Aussteifungsrippen im Bereich plastischer Gelenke an Auflagern und unter großen Einzellasten muß das Verhältnis Breite ( $b_1$ ) zu Dicke ( $t$ )

$$\frac{b_1}{t} \leq 11,5 \sqrt{\frac{\sigma_F^*}{\sigma_F}} = \frac{11,5}{k} \quad (17)$$

sein.

### 4. VEREINFACHTE BERECHNUNG DURCHLAUFENDER PFETTEN, DECKENTRÄGER UND UNTERZÜGE

Statt nach Abschnitt 2.1. dürfen Träger, die über drei oder mehr Stützen durchlaufen, bei gleichen Stützweiten und gleich großer Belastung, maßgebend ist Vollbelastung aller Felder mit ständiger Last und Verkehrslast, für die nachstehenden Biegemomente bemessen werden. Das gleiche gilt bei ungleichen Stützweiten oder ungleichen Belastungen, wenn die kleinste Stützweite oder Belastung  $\geq 0,8$  der größten ist. Voraussetzung hierfür ist, daß der Querschnitt des höchstbeanspruchten Innenfeldes auch in den übrigen Innenfeldern und über den Stützen durchgeführt wird und daß das aufnehmbare Biegemoment über der letzten Innenstütze mindestens 75 % desjenigen im anschließenden Endfeld ist. Die Bemessung erfolgt mit dem Widerstandsmoment

$$W^* = W_T \left( 1,1 - 0,5 \frac{q}{h \cdot s \cdot \sigma_{zul}} \right) \leq W_T \quad (18)$$

und der zulässigen Spannung nach TGL 13 500/01. Die Schnittkräfte sind ohne Sicherheitsfaktor ( $\nu$ ) einzuführen.

Biegemomente:

- Streckenlast ( $q$ )

$$\text{Endfelder: } M = \frac{q \cdot l^2}{11,7} \quad (19)$$

$$\text{Innenfelder: } M = \frac{q \cdot l^2}{16} \quad (20)$$

- andere Belastungen

$$\text{Endfelder: } M_x = M_0 - 0,6 M_a \cdot \frac{x}{l} \quad (21)$$

siehe Bild 4

$$\text{Innenfelder: } M_x = M_0 - 0,75 \left( M_b \cdot \frac{1-x}{l} + M_c \cdot \frac{x}{l} \right) \quad (22)$$

siehe Bild 5

Hierbei bedeutet:

$Q$  Querkraft; bei Streckenlast  $Q = \frac{q \cdot l}{2}$

$h, s$  Profilhöhe, Stegdicke

$q$  Streckenlast

$M_0$  Biegemoment bei freier Auflagerung

$M_a$  Einspannmoment bei voller Einspannung des Endfeldes an der Innenstütze und gelenkiger Lagerung an der Randstütze

$M_b, M_c$  Einspannmomente bei voller Einspannung des Innenfeldes an den Stützen

Die Auflagerkräfte sind im Regelfall wie für Einzelträger auf zwei Stützen zu berechnen. Lediglich am mittleren Auflager von Zweifeldträgern ist das 1,18 fache dieser Kraft anzusetzen.

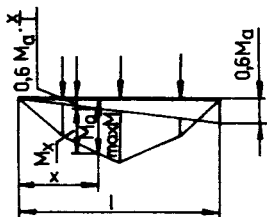


Bild 4

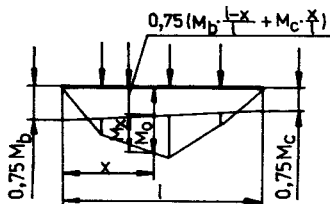


Bild 5

Die Berechnung darf auf Gruppen von jeweils 3 oder mehr benachbarten Feldern angewandt werden, wenn für diese die Voraussetzungen erfüllt sind, auch wenn für den gesamten Trägerstrang größere Unterschiede in der Stützweite oder Belastung bestehen.

#### Hinweise

Ersatz für TGL 13 450/02 Ausg. 3.75.

#### Änderungen:

Tragmoment ( $M_T$ ) statt des vollplastischen Moments ( $M_{pl}$ ) am letzten, die kinematische Instabilität hervorrufenden plastischen Gelenk als maßgebend eingeführt und Sicherheitsfaktoren  $\nu$  wie bei elastischer Bemessung vorgeschrieben.

Abminderung des vollplastischen Moments bei Längs- und Querkraft verändert. Größere Werte für Breite/Dicke-Verhältnis zugelassen. Stabilitätsnachweise an überarbeitete TGL 13 503/01 und /02 angepaßt. Zulässige Abstände der Kipphalterungen verändert. Für vereinfachte Bemessung der Durchlaufträger anderes Widerstandsmoment eingeführt.

Im vorliegenden Standard ist auf folgende Standards Bezug genommen:

TGL 13 450/01; TGL 13 500/01 und /02; TGL 13 502; TGL 13 503/01 und /02; TGL 32 274/02

#### Erläuterungen:

Die Berechnung nach dem Traglastverfahren ist freigestellt.

#### Zu Abschnitt 2.1.

Die Bildung der plastischen Gelenke erfolgt unter dem vollplastischen Moment ( $M_{pl}$ ), wobei sich das statische System verändert. Bei der Bildung des letzten plastischen Gelenks ist das Gesamtsystem oder ein Teilsystem des Tragwerks statisch bestimmt. Eine volle Ausbildung und Verdrehung dieses plastischen Gelenks würde zum

Zusammenbruch führen. Um zu große Verformungen zu vermeiden, darf an dieser Stelle nur das Tragmoment ( $M_T$ ) auftreten. Unter Einwirkung des Tragmoments beträgt die Krümmung etwa das 1,5 fache der Krümmung bei Erreichen der Fließspannung in der äußersten Faser des Querschnitts, Fließmoment  $M_F = W \cdot \sigma_F$ . Durch Ansatz des Sicherheitsfaktors  $\nu$  wird unter der planmäßigen Belastung keine oder nur sehr geringe Plastizierung im Tragwerk auftreten.

Im allgemeinen kann man mit örtlich konzentrierten Fließgelenken rechnen und die Ausdehnung der Plastizierungszone in Stab-Längsrichtung vernachlässigen.

Die unter  $\nu$ -facher Belastung auftretenden Schnittkräfte können mit der Annahme der sukzessiven Bildung und Verdrehung der Fließgelenke bei proportional ansteigender Belastung berechnet werden.

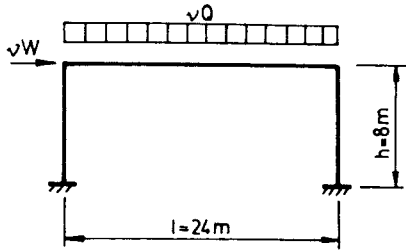
Eine weitere Möglichkeit zum Führen des Traglastnachweises ist die Bestimmung eines statisch zulässigen Gleichgewichtszustandes unter  $\nu$ -facher Belastung. Diese "statische Methode" genügt zum Nachweis, weil die damit ermittelte Traglast höchstens gleich der wirklichen Traglast ist.

Die "kinematische Methode" (Arbeitsgleichung) liefert Werte über oder im Grenzfall gleich der wirklichen Traglast. Sie darf deshalb nur angewendet werden, wenn die Lage der plastischen Gelenke und das sich zuletzt bildende Gelenk richtig angenommen sind.

Die wirkliche Traglast wird bei richtiger Annahme der plastischen Gelenke nach der statischen und der kinematischen Methode gleichermaßen berechnet (Einzigkeitssatz). Die Abminderung von  $M_{pl}$  auf  $M_T$  bei dem sich zuletzt bildenden plastischen Gelenk ist zu beachten, und dieses Gelenk muß bekannt sein, siehe Beispiel.

Unter variabler Belastung mit im Vorzeichen wechselndem Biegemoment kann es zu einer zwischen Dehnung und Stauchung wechselnden (alternierenden) Plastizierung kommen, die nach wenigen Lastwechseln zum Bruch des Werkstoffs führt. Bei gleichsinnig wiederholter Be- und Entlastung kann bei bestimmter Größe und Folge der verschiedenen Lasten eine Zunahme der bleibenden Verformung bei jedem Belastungszyklus eintreten (zunehmendes Versagen). Bei nicht zu großer Belastung können alternierende Plastizierung und zunehmendes Versagen durch einen sich ausbildenden Eigenspannungszustand, der sich der Belastung überlagert, vermieden werden (Einspielen), indem weitere Be- und Entlastungen dann nur im elastischen Bereich erfolgen.

Beispiel zur Berechnung des erforderlichen vollplastischen Moments



GLF H:  
 $vQ = 209 \text{ kN}$   
 GLF HZ:  
 $vQ = 192 \text{ kN}$   
 $vW = 24,6 \text{ kN}$

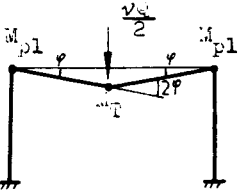
Für Stiele und Riegel gleiches vollplastisches Moment angenommen

GLF H

Unter Streckenlast erfolgt die Plastizierung im allgemeinen zuerst an den Rahmenecken, nur bei sehr langen Stielen kann sie zuerst in Riegelmitte erfolgen.

Kinematische Kette

Virtuelle Arbeit bei Gelenkverdrehung



$$\frac{vQ}{2} \cdot \frac{1}{2} \varphi = 2 \varphi (M_{pl} + M_T)$$

$$M_T = \delta \cdot M_{pl}$$

$$\frac{vW \cdot l}{4} = 2 (1 + \delta) M_{pl}$$

$$\text{erf } M_{pl} = \frac{vW \cdot l}{8 (1 + \delta)}$$

Bei Plastizierung zuerst in Riegelmitte,  $M_{pl}$  und  $M_T$  vertauscht, ergäbe sich das gleiche erf  $M_{pl}$ , weil die virtuelle Arbeit der inneren Kräfte gleich ist.

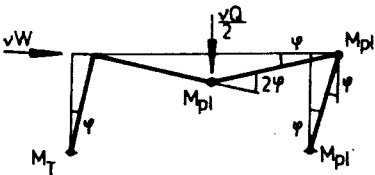
$$\delta = M_T / M_{pl} = 0,94 \text{ angenommen entsprechend}$$

$$\alpha = M_{pl} / vW = 1,14$$

$$\text{erf } M_{pl} = \frac{209 \cdot 24,0}{8 \cdot 1,94} = 323 \text{ kNm}$$

GLF HZ

Hier ist die maßgebende kinematische Kette nicht sofort zu erkennen, deshalb müssen gegebenenfalls mehrere Möglichkeiten untersucht werden, z. B. plastisches Gelenk neben der Riegelmitte, unter der benachbarten Pfette.



Als letztes plastisches Gelenk bildet sich das am linken Stielfuß

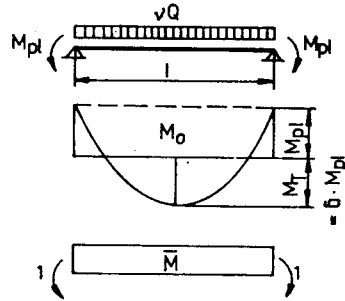
$$\frac{vQ}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \varphi + vW \cdot h \cdot \varphi = M_{pl} \cdot 5 \cdot \varphi + M_T \cdot \varphi$$

$$\frac{vQ}{2} \cdot 12,0 + vW \cdot 8,0 = M_{pl} (5 + \delta)$$

$$\text{erf } M_{pl} = \frac{\frac{192}{2} \cdot 12,0 + 24,6 \cdot 8,0}{5,94} = 227 \text{ kNm}$$

Das erforderliche  $M_{pl}$  ist nach dieser Berechnung erheblich kleiner als im GLF H und somit nicht maßgebend. Bei der großen vertikalen und kleinen horizontalen Belastung stellt sich auch im GLF HZ die gleiche kinematische Kette wie im GLF H ein. Die horizontale Last bringt dabei keinen Anteil zur virtuellen Arbeit. Maßgebend ist in diesem Beispiel das erforderliche vollplastische Moment  $M_{pl} \approx 323 \text{ kNm}$ , das sich aus GLF H ergibt.

Erforderliche Verdrehung der plastischen Gelenke zum Erreichen des maßgebenden Grenzzustandes:



Summe der Gelenkverdrehungen an beiden Enden des Riegels

$$2 \varphi = \int \frac{M_o \cdot \bar{M}}{E \cdot I} dl$$

$$= \frac{1}{E \cdot I} \left[ -M_{pl} + \frac{2}{3} (M_{pl} + M_T) \right]$$

$$= \frac{1 \cdot M_{pl}}{E \cdot I} \left( -\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \delta \right)$$

$$M_{pl} = 323 \text{ kNm}$$

$$\delta = 0,94$$

$$I = 200 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$l = 24 \text{ m}$$

ergibt

$$2 \varphi = 0,054$$

$$\varphi = 0,027 < 0,1$$

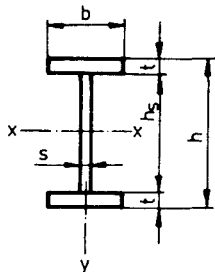
Zu Abschnitt 2.2.1.

Für die Berechnung des vollplastischen Moments wird ein ideal elastisch-plastisches Spannungs-Dehnungs-Gesetz angenommen, nach dem sich das Material bei Erreichen der Streckgrenze ( $\sigma_F$ ) ohne Spannungserhöhung verformt.

Sind in den einzelnen Teilen eines Querschnitts die Streckgrenzen unterschiedlich, so ist die plastische Nulllinie nicht mit der Flächen-Halbierenden identisch. Sie muß unter Berücksichtigung der verschiedenen Streckgrenzen aus dem Kräfte-Gleichgewicht im Querschnitt berechnet werden. Wenn keine Längskraft wirkt, muß  $\sum (A_i \cdot \sigma_{Fi})$  auf der Zug- und Druckseite gleich sein.

Zu Abschnitt 2.2.2.

Genauere Berechnung des durch Längskraft abgeminderten vollplastischen Moments bei doppelt-symmetrischen I-Querschnitt



Biegung um x-Achse

Aufnahme der Längskraft durch Steghöhe z:

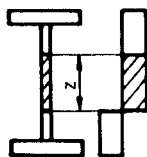
$$z = \frac{N}{s \cdot \sigma_{FS}}$$

Fall 1:  $z \leq h - 2t$

$$M_{pl,N} = M_{pl} - \frac{N^2}{4 s \cdot \sigma_{FS}}$$

Fall 2:  $z > h - 2t$

$$M_{pl,N} \approx M_{pl} + 0,5 (h - t)^2 \cdot s \cdot \sigma_{FS} - 0,5 (h - t) \cdot N$$



Biegung um y-Achse

$$N_0 = h \cdot s \cdot \sigma_{FS}$$

$$N \leq N_0 : M_{pl,N} \approx M_{pl}$$

$N > N_0$ :

$$M_{pl,N} \approx 0,5 b^2 \cdot t \cdot \sigma_{FG} - \frac{(N - N_0)^2}{8 t \cdot \sigma_{FG}}$$

Hierbei bedeutet:

$\sigma_{FS}$  Streckgrenze des Steges

$\sigma_{FG}$  Streckgrenze der Gurte

Zu Abschnitt 2.2.3.

Die Anforderungen an die örtliche Stabilität im Bereich der plastischen Gelenke sind deshalb so hoch, weil die Aufrechterhaltung des vollplastischen Moments unter Gelenkverdrehung gewährleistet sein muß. Die Formeln für die Flanschbreite bei geringer Längsausdehnung der plastischen Gelenke folgen aus TGL 13 503/01 mit fiktiver Erhöhung der Spannung mit dem Faktor 1,5:

$$\frac{b}{t} \leq 2 \cdot 16 \cdot 0,9 / \sqrt{1,5} \approx 23 \text{ und}$$

$$49 \cdot 0,9 / \sqrt{1,5} \approx 36$$

Der Faktor 0,9 berücksichtigt die Imperfektionen geschweißter Bauteile. Bei größerer Längsausdehnung der plastischen Gelenke ist die Gefahr der örtlichen Instabilität größer. Deshalb sind die bisher vorgeschriebenen und international üblichen Werte beibehalten.

Zu Abschnitt 2.3.

Die Zuordnung erfolgt zu den jeweiligen Knickspannungslinien ohne wesentliche Eigenspannungen, weil diese auf die plastische Traglast keinen und auf das Verformungsverhalten nur sehr geringen Einfluß haben, deshalb sind nur zwei Formeln für  $M_N$  angegeben.

Durch Einsetzen des Biegemomentes außerhalb des Bereiches 0,1 l vom plastischen Gelenk (Stabende) in Formel (14) wird bewirkt, daß kein zu großer Bereich plastiziert werden kann, da bei  $M_1 = M_{T,NQ}$  der Nachweis nach Formel (14) nicht erfüllt werden kann.

Beim Kippen ist die Kippmomentenlinie nach TGL 13 503/01 entsprechend der Art des Trägers zugrunde zu legen, sofern der Nachweis erforderlich ist. Er ist mit  $\sqrt{M} \leq M_T \cdot \psi_M$  zu führen, wobei  $\sqrt{M}$  das maximale Moment im untersuchten Trägerfeld ist.

Zu Abschnitt 3.

Die Berechnung geht von der Annahme aus, das sich im Stab unter v-facher Belastung eine vollplastische Spannungsverteilung einstellt und ein plastisches Gelenk bildet. Die Anschlüsse müssen die Kräfte aus den anschließenden Fasern des Stabes übertragen. Eine Plastizierung der Verbindungsmittel (Schweißnähte, Schrauben, Stirnplatten) ist im allgemeinen nicht so weit möglich, daß sich dadurch ein plastisches Gelenk mit ausreichender Gelenkverdrehung und Übertragung des entsprechenden Moments bilden kann. Aufgelöste Rahmenecken sind deshalb an Stellen plastischer Gelenke nicht gut geeignet.

Literatur

-Neal, E. G.:

Die Verfahren der plastischen Berechnung biegesteifer Stahlstabwerke  
Berlin, Göttingen, Heidelberg 1958

-Pohl, H.:

Einführung in das Traglastverfahren  
Techn.-wiss. Abhandlung des ZIS Nr. 60  
Halle (S) 1970

-European Recommendations for Steel Construction  
Europäische Konvention für Stahlbau, 1978

-Pöschel, G., Kießling, W.:

Berechnung ebener Stabsysteme aus Stahl nach der Plastizitätstheorie II. Ordnung  
Bauplanung-Bautechnik 26 (1972) 4, S.178 bis 182

-Vogel, U.:

Über die Anwendung des Traglastverfahrens im Stahlbau  
Der Stahlbau 38 (1969) 11, S. 329 bis 338