

Kippen von Biegeträgern

0. Inhalt

<u>0.</u>	<u>Inhalt</u>	<u>1</u>
<u>1.</u>	<u>Allgemeines</u>	<u>1</u>
<u>2.</u>	<u>Grundlagen</u>	<u>2</u>
<u>3.</u>	<u>Begriffe / Abkürzungen / Formelzeichen</u>	<u>2</u>
<u>4.</u>	<u>Bemessung eines Trägers gegen Kippen</u>	<u>2</u>
4.1	Elastisches Kippen, perfekter Stab	2
4.2	Elastisches „Kippen“, geometrisch imperfekter Stab	4
4.3	Plastisches Knicken	5
4.4	Zusätzliche Normalkraft	6
4.5	Ersatzstabverfahren	6
4.6	Konstruktive Empfehlungen	6
4.7	Begleitende Regelungen	6
4.7.1	Kippnachweis nach EC3	6
4.7.2	Kippnachweis nach DIN 18800-2	6
<u>5.</u>	<u>Beispiel</u>	<u>7</u>
5.1	Knödels Federstahl	7
5.2	Parkhausstütze	7
5.3	Vordachträger	7
<u>6.</u>	<u>Ausblick</u>	<u>9</u>
<u>7.</u>	<u>Quellen</u>	<u>9</u>

1. Allgemeines

Kurzbeschreibung

Bemessung von Biegeträgern, die überwiegend auf Biegung um die starke Achse beansprucht sind, nach Stabilitätskriterien.

Einordnung

Stahlbau – Grundaufgaben – Bemessung von Bauteilen – Stabilität – Kippen

Lernziele

- Um die starke Achse biegebeanspruchte Tragglieder bemessen können gegen Stabilitätsverlust ;
- Günstige Querschnittsformen auswählen können;
- Randbedingungen bewerten können;

Einschränkungen, Abgrenzung

- Der Stabilitätsfall „Knicken“ bei überwiegender Normalkraftbeanspruchung ist hier nicht enthalten;
- Der Stabilitätsfall „Biegedrillknicken“ als Kombination von Knicken und Kippen ist hier nicht enthalten;

2. Grundlagen

Baustatik

Verzweigungsprobleme – siehe Knicken

3. Begriffe / Abkürzungen / Formelzeichen

IT [cm ⁴]	St. Venant'sches Torsionsträgheitsmoment für dünnwandige Querschnitte näherungsweise $IT = \sum (B_i \cdot T_i^3)$
C,M; I _ω [cm ⁶]	Wölbwiderstand bei freier Drillachse, d.h. bei Drillung um den Schubmittelpunkt M
C,A [cm ⁶]	Wölbwiderstand bei Drillung um den Punkt A mit den Abstandsordinaten y _A , z _A vom Schubmittelpunkt. Vermutlich ist $C,A = C,M + I_y \cdot y_A^2 + I_z \cdot z_A^2$

4. Bemessung eines Trägers gegen Kippen

4.1 Elastisches Kippen, perfekter Stab

Elastisches Kippen heißt der Stabilitätsverlust eines Biegeträgers, der um seine starke Achse momentenbeansprucht ist, durch seitliches Ausweichen des Druckgurtes bei gleichzeitigem Verdrehen der Stabachse.

Der Träger wechselt dabei durch Verdrehen die Tragrichtung in der Weise, dass er um die schwache Achse beansprucht wird, da dies (bei deutlich größeren Durchbiegungen) ein

Minimum der inneren Arbeit bedeutet. Wird der Träger von vorne herein um die schwache Achse gebogen, gibt es dieses Stabilitätsphänomen nicht, da sich der Träger bereits im Minimum der inneren Arbeit befindet.

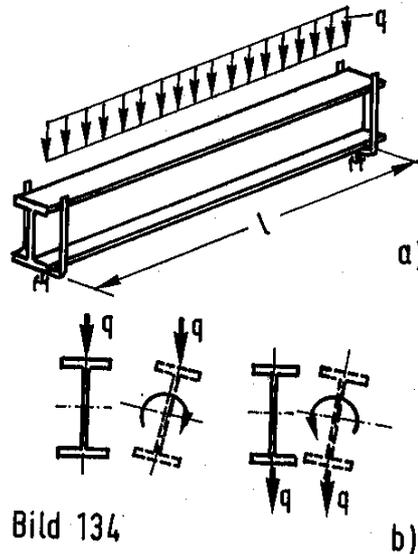


Bild 134

aus Petersen (1988) Abs. 7.6

Ein Kippvorgang, d.h. das „plötzliche“ seitliche Ausweichen des perfekten Stabes, wird in der Technischen Mechanik als „Gleichgewichtsverzweigung“ beschrieben (vgl. das Knicken des ideal geraden Stabes).

Der Euler'schen Knicklast N_{ki} beim Stabknicken entspricht dabei das kritische Kippmoment M_{ki} .

Kragarm unter der Einzellast F (Prandtl 1899):

$$F_{ki} = 4,013/L^2 * \sqrt{(E \cdot I_z * G \cdot I_T)}$$

zitiert nach Petersen (1982) Gl. 7.1

Gabelgelagerter Einfeldträger unter konstantem Biegemoment

$$M_{ki} = \pi / L * \sqrt{(E \cdot I_z * G \cdot I_T)} * \sqrt{(1 + \mu)}$$

$$\mu = \pi^2 / L^2 * E \cdot C_{M} / G \cdot I_T$$

(Petersen (1988), Gl. 442)

Bei wölbfreien Querschnitten wird $\mu = 0$, die zweite Wurzel entfällt damit.

Bei den obigen Formeln wurde jeweils vorausgesetzt, dass die Drillachse des Stabes frei ist. Der Stab drillt in diesem Fall um den Schubmittelpunkt M . Ist das nicht der Fall, z.B. weil der Obergurt des Trägers durch Trapezbleche seitlich unverschieblich gehalten ist, spricht man von einer gebundenen Drillachse. Der Wölbwiderstand erhöht sich dadurch beträchtlich (siehe Abs. „Begriffe“) – vergleichbar mit der starken Wirkung des Steiner-Gliedes bei einer Biegeachse, die nicht durch den Schwerpunkt S läuft.

Falls die Bindung der Drillachse nicht „unendlich starr“ ist, kann man eine elastische Weg- bzw. Drehbettung berücksichtigen.

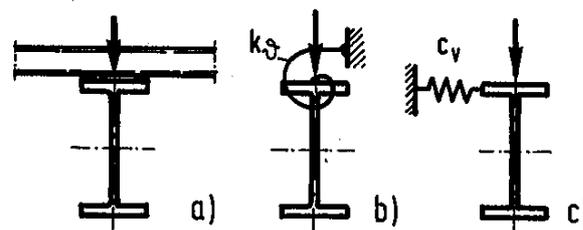


Bild 137

aus Petersen (1988) Abs. 7.6.2

4.2 Elastisches „Kippen“, geometrisch imperfekter Stab

Wenn der Stab von vorne herein eine geometrische Imperfektion hat, bei einem Einfeldträger angenommen als sinusförmige Vorkrümmung des Druckgurtes mit dem Stich w_0 , dann weicht der Druckgurt unter Belastung kontinuierlich weiter aus (Vergrößerung der Auslenkung w).

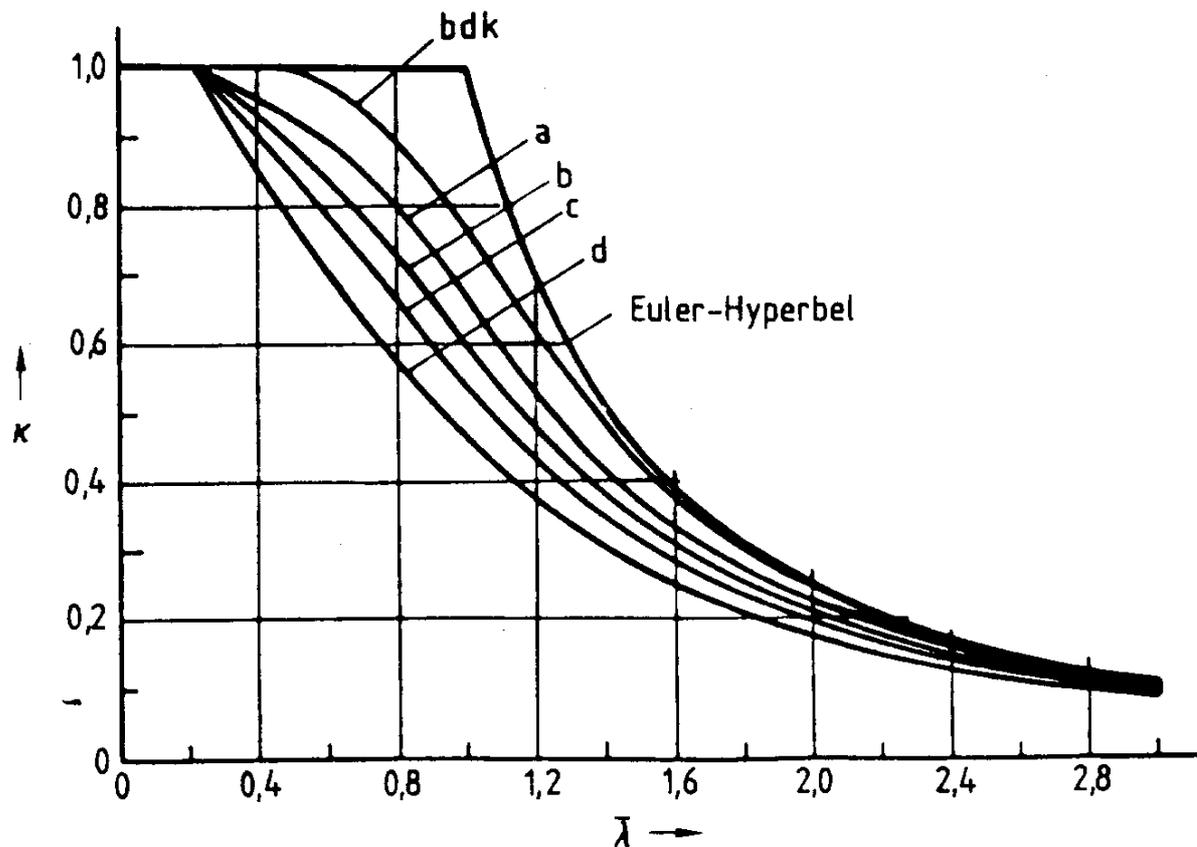
Die maximale Beanspruchung des Stabes in Feldmitte summiert sich aus der Biegespannung durch die Biegung in der Belastungsebene, aus der Biegebeanspruchung des Druckgurtes quer zur Belastungsebene, aus Schubspannungen infolge Torsion sowie aus Wölbnormalspannungen infolge Torsion. Dadurch wird ein „Spannungsproblem II. Ordnung“ beschrieben. d.h. im Gleichgewichtszustand werden die Verformungen und die daraus folgenden Exzentrizitäten berücksichtigt, es werden aber nach wie vor „kleine“ Verformungen vorausgesetzt.

Es ist üblich, das Kippproblem als Knickproblem des Druckgurtes aufzufassen, dadurch stehen einem die besser geläufigen Formeln des Knickens zur Verfügung.

Auf diese Weise kann man sehr einfach z.B. einen Dachträger behandeln, dessen Obergurt in regelmäßigen Abständen durch Pfetten (unverschieblich?) seitlich gehalten wird.

4.3 Plastisches Knicken

Wenn die Streckgrenze nicht unendlich hoch ist, d.h. wenn während des Knickvorganges plastische Dehnungen in den Fasern des Bauteiles eine Rolle spielen können, dann ist die Darstellung in einem κ - λ -Diagramm (kappa-lambda-Diagramm) üblich.



DIN 18800 Teil 2 Bild 10

Die Abkürzungen bedeuten:

$$\kappa = M / M_{pl}$$

mit dem plastischen Moment

$$M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y$$

$$\lambda = \sqrt{M_{pl} / M_{ki}}$$

4.4 Zusätzliche Normalkraft

Eine zusätzliche Normalkraft im Profils kann als zusätzliche Imperfektion gedeutet werden, da sie die Ausbiegung der Stabsehne des Druckgurtes noch vergrößert. Sie macht den Stab weicher und bewirkt ein vorzeitigeres Versagen.

Zusätzliche Biegemomente quer zur Ausknick-Richtung des Profils verstärken ebenfalls die Ausbiegung des Druckgurtes und bewirken daher ebenfalls ein früheres Versagen des Profiles.

4.5 Ersatzstabverfahren

Beim Ersatzstabverfahren löst man einen Stab aus dem Tragwerk, und gibt ihm Eigenschaften, die (vermutlich) denen im Tragwerk genügend genau entsprechen.

Beim Kippen bedeutet das die Beschreibung der Momentenverteilung entlang der Stabachse, die dann durch entsprechende Koeffizienten berücksichtigt wird.

4.6 Konstruktive Empfehlungen

- Randbedingungen beachten
Ist das System wirklich so, wie ich gerechnet habe, liegen meine Modellannahmen auf der sicheren Seite?
- Ist an den Enden des Stabes wirklich eine Gabellagerung vorhanden?
- Sind die Aussteifungen steif genug?

4.7 Begleitende Regelungen

4.7.1 Kippnachweis nach EC3

– wird noch ergänzt –

4.7.2 Kippnachweis nach DIN 18800-2

siehe Rechenbaustein „Kippen“

5. Beispiel

5.1 Knödels Federstahl

Querschnitt 19x1

Länge 700 mm

Kipplast ...

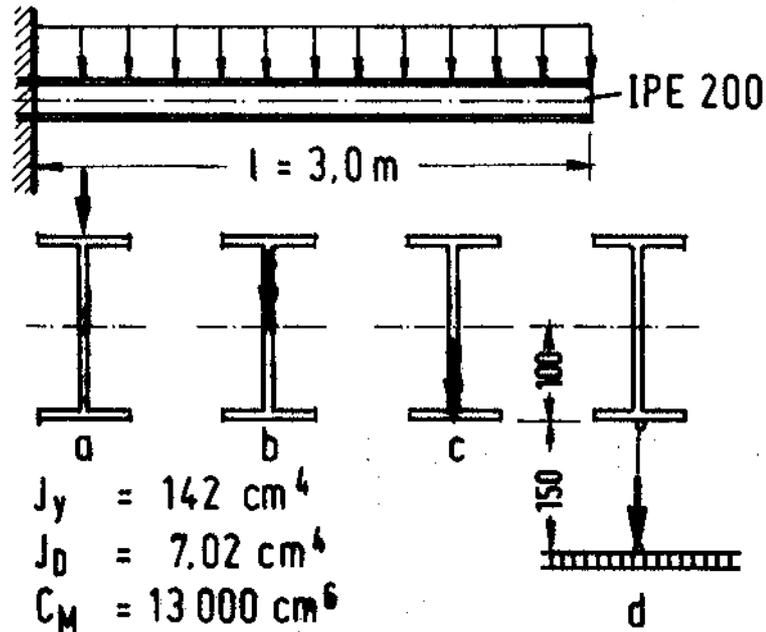
– wird noch ergänzt –

5.2 Parkhausstütze

– wird noch ergänzt –

5.3 Vordachträger

Das folgende Beispiel ist aus Petersen (1982) entnommen.



	χ	γ_{Ki}	q_{Ki}	M_{Ki}
a	+ 0,058	12,5	19,06	85,8
b	0	25	38,13	172
c	- 0,058	37,5	57,19	257
d	- 0,364	50	76,25	343

kN/m
 kNm

Bild 7.49

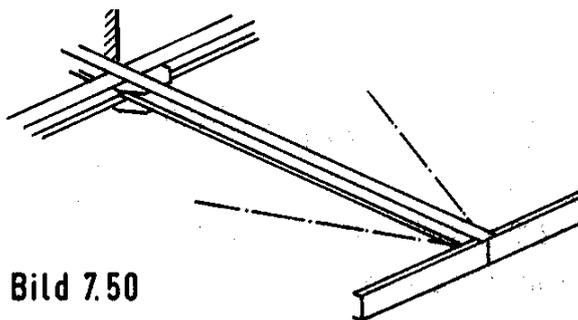


Bild 7.50

- a: $\gamma_{Ki} = 44$; $q_{Ki} = 67,10 \text{ kN/m}$
 b: $\gamma_{Ki} = 60$; $q_{Ki} = 91,51 \text{ kN/m}$
 c: $\gamma_{Ki} = 76$; $q_{Ki} = 115,9 \text{ kN/m}$
 d: $\gamma_{Ki} = 98$; $q_{Ki} = 149,5 \text{ kN/m}$

Durch „richtige“ Modellierung der tatsächlich vorhandenen konstruktiven Ausführung steigt die rechnerische Tragfähigkeit mindestens um den Faktor 2.

6. Ausblick

Im Bauwesen wird üblicherweise mit „schlaffen“ Lasten gerechnet, da dies in der Regel auf der sicheren Seite liegt. Bei genauerem Hinsehen und genauerem Modellieren der Last zeigt sich, daß in manchen Fällen der kippende Träger „selbstrückstellend“ bzw. „selbststabilisierend“ ist.

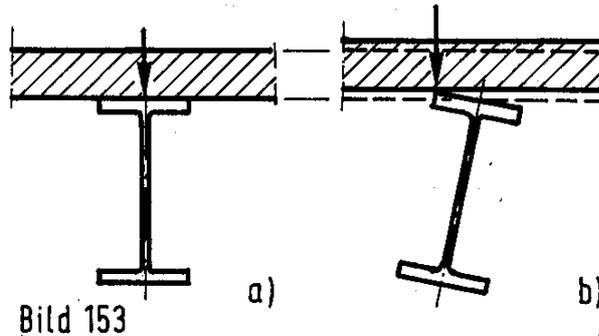


Bild 153
aus Petersen (1988) Abs. 7.6.6

Ein Kippnachweis ist daher möglicherweise von vorne herein entbehrlich oder kann durch geometrische Betrachtungen ausgeschlossen werden.

7. Quellen

- [1] EN 1993 Eurocode 3 (EC3): Design of steel structures
EN 1993-1-1: General rules and rules for buildings. May 2005.
- [2] DIN 18800: Stahlbauten.
Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken. November 1990.
- [3] Knödel, P.: Lehrunterlagen Stahlbau an der Fachhochschule Augsburg, herunterladbar über <http://www.peterknoedel.de/lehre/lehre.htm>, laufend aktualisiert.
Grundaufgaben – Bemessung von Bauteilen – Stabilität – Knicken von Stäben
Rechenblätter:
Grundaufgaben – Knicken von Stäben unter Normalkraft
Grundaufgaben – Knicken von Stäben unter Normalkraft und Biegemoment
- [4] Petersen, Chr.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, 2. Auflage. Vieweg, Braunschweig 1982.
- [5] Petersen, Chr.: Stahlbau. Vieweg, Braunschweig 1988.
(3. Auflage 1997 vorhanden)