Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 22 (1975)

Artikel: Zur Verringerung des Gewichtes von Metallkonstruktionen (methodologische Aspekte)

Autor: Sokolov, A.G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-19368

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 29.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

I

Zur Verringerung des Gewichtes von Metallkonstruktionen (methodologische Aspekte)

Réduction du poids des constructions métalliques (aspects méthodologiques)

Reducing the Weight of Steel Structures (Methodological aspects)

A. G. SOKOLOV
Dr. d. techn. Wiss., Prof.
ZNIIprojektstal'konstrukcija
Moskau/UdSSR

Untersucht man die im Zusammenhang mit der Verringerung des Gewichtes von Metallkonstruktionen auftretenden Probleme, so taucht die Frage der Methodologie auf, welche zum Erreichen eines maximalen Effekts angewandt werden muß. Da die zur Errichtung von Gebäuden und Anlagen verwendeten Metallkonstruktionen die verschiedensten aus der menschlichen Tätigkeit resultierenden Anforderungen zu erfüllen haben, ist eine Klassifizierung der Konstruktionen und Anlagen nach bestimmten Kriterien außerordentlich wichtig.

Grundlegende Kriterien, nach denen eine Klassifizierung der Konstruktionen und Anlagen vorgenommen werden kann, sind:

- Art der aufzunehmenden Lasten bzw. Einwirkungen;
- Konstruktive Ausbildung;
- Eigenschaften - insbesondere mechanische - des verwendeten Metalls
- Physikalische und moralische Nutzungsdauer der Anlagen.

Für die einzelnen Konstruktionen besitzen die genannten Faktoren unterschiedlichen Einfluß, so daß eine Einteilung in Hauptgruppen erforderlich wird.

Die Tabelle 1 zeigt eine derartige Klassifizierung der verschiedenen Konstruktionen und Anlagen, wie sie in der UdSSR-Praxis [5, 6, 7, 11] angewandt wird. Die Tabelle enthält weiterhin den Grad der Beeinflussung durch die angreifenden Lasten und Einwirkungen. Die äußeren Lasten und Einwirkungen haben einen entscheidenden Einfluß auf die Gewichtsveränderung bei den Konstruktionen der ersten Gruppe, welche für technische Aufgaben mit Ausnahme der Gas-, Flüssigkeits- und Schüttgüterlagerung bestimmt sind. In den anderen Fällen, d. h. in der zweiten Gruppe, üben das Volumen der zu lagernden Erzeugnisse, der Druck sowie die Temperatur einen entscheidenden Einfluß auf das Bauwerk aus.

TABELLE 1

ART DER LASTEN UND EINWIRKUNGEN

LFD. NR.	ART DER KONSTRUKT. UND ANLAGEN	SCHWERKRAFT						TECHNOLOG.		METEOROLOG.				ALLGEMEINE			
		KONSTRUKTION			BESCHLEUNIGUNG												
		TRAGKONSTRUKTION	HÜLLKONSTRUKTION	AUSRÜSTUNG	TRAGKONSTRUKTION	HÜLLKONSTRUKTION	AUSRÜSTUNG	DRUCK	TEMPERATUR	WIND	SCHNEE	EIS	TEMPERATUR	ERDBEBEN	FUNDAMENTSETZUNG	UNTERBRECHUNG DES PROD.-PROZ.	ZERSTÖRUNG EINZ. BAUTEILE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.	WOHN- UND VERWALTUNGS-BAUTEN HOCHHÄUSER	●	●							●				●			○
2.	WEITGESPANNTE GEBÄUDE UND ANLAGEN	●	●	●							●						
3.	INDUSTRIE-BAUTEN																
	a) EINGESCHOSSIG	●	●	●			●				●		●		◐		
	b) MEHRGESCHOSSIG	●	●	●			●			●				●			
4.	BLECHKONSTRUKTIONEN																
	a) BEHÄLTER	○	◐	○				●	●	◐				●	●		
	b) ROHRLEITUNGEN	●	●					●	◐	◐				●	●		
	b) ÖFEN	●	●	●				●	●					●	●	○	◐
5.	HEBE- UND FÖRDERMITTEL																
	a) BRÜCKEN	●		●		●				●	○		◐	●	●	○	◐
	b) KRANE ETC.	●		●	●		●			●			○	◐	○	○	
6.	HOCHBAUTEN																
	a) FERNMELDEANLAGEN	○	○	◐						●	○	●	◐	○	○	○	○
	b) ROHRE	◐	●							●			●	●	◐		
	c) FAHNENMASTE	◐	◐							●		◐	○	◐	◐		
7.	WASSERBAUTEN	◐						●							◐		

● STARKER EINFLUSS ◐ MITTLERER EINFLUSS ○ EINFLUSS VORHANDEN

Es ist zweckmäßig, das Gewicht in zwei Anteile aufzugliedern:

- das Gewicht G_{Trag} der Tragkonstruktionen, welche die angreifenden Kräfte aufnehmen;
- das Gewicht G_{Rest} der übrigen Elemente (Hüllkonstruktionen, Ausrüstungen, Personen usw.).

Zahlreiche Untersuchungen zeigten, daß bei einem Gewicht der restliche Elemente $G_{Rest} = 0$ sowie unter der Bedingung, daß alle Konstruktionsteile auf Zug und Druck beansprucht sind und unter Vernachlässigung eines örtlichen Stabilitätsverlustes in den Bauteilen für die Tragkonstruktionen die Gleichung

$$G_{Trag} = \sum F_i \cdot l_i \cdot \gamma_i \cdot K_{Konstr.} \qquad (1)$$

erfüllt ist, wobei dies für beliebige Querschnittsflächen einschließlich des Falls gilt, daß die Fläche und damit das Gewicht gegen Null gehen.

Am deutlichsten wird das Gesagte, wenn man das Gewicht eines Seiles mit konstantem Querschnitt betrachtet:

$$N = \sigma \cdot F = \frac{g \cdot l^2}{8 \cdot f} = \frac{\gamma \cdot F \cdot l^2}{8 \cdot f} \; ; \quad \sigma = \frac{\gamma \cdot l^2}{8 \cdot f} \leq R \qquad (2)$$

Hierbei hängt der Spannungszustand im Seil nicht von der Querschnittsfläche ab, die Gleichung ist auch erfüllt, wenn letztere gegen Null geht. Analoge Schlußfolgerungen lassen sich aus der Untersuchung eines Balkens mit konstantem Querschnitt unter Zugbelastung infolge Eigengewicht erzielen. Bei fehlenden äußeren Lasten auf den Schaft des Balkens gehen die Fläche und das Gewicht gegen Null.

Die Untersuchung von Stabkonstruktionen (Fachwerken) unter ausschließlicher Belastung infolge Eigengewicht zeigt ebenfalls, daß die Spannung in einem beliebigen Element den Wert der nachstehenden Formel besitzt:

$$\sigma_i = \frac{\psi \cdot \sum F_\xi \cdot l_\xi \cdot \gamma_\xi \cdot K_{Konstr.}}{F_i \cdot \varphi_i} \qquad (3)$$

Bei einer Veränderung der Querschnittsfläche aller in das Fachwerk eingehenden Elemente um den Faktor K' durch Verringerung der Wanddicke (Abb.1) unter Beibehaltung der Außenmaße der Bauteile bleibt die Spannung gleich, da in diesem Fall der Koeffizient der Grenzsteifigkeit gleich Null ist. Bei einer Verringerung der Wanddicke in den Elementen kann jedoch ein örtlicher Stabilitätsverlust eintreten, welcher in der Formel (3) nicht berücksichtigt ist. Dies bedeutet, daß bei Vorhandensein von Druckgliedern das Gewicht der Konstruktion bei der Einwirkung

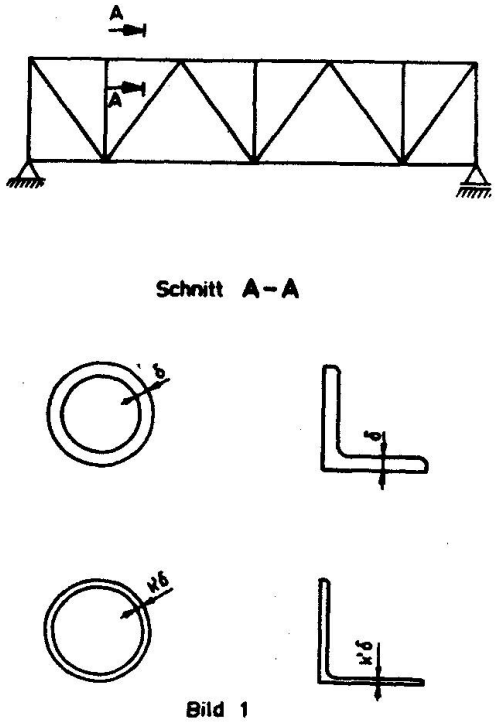

Bild 1

der Schwerkraft nicht Null wird, sondern ausgehend von den kritischen Spannungen beim örtlichen Stabilitätsverlust der einzelnen Elemente bestimmt werden muß. Als Beispiel soll der einfachste Fall betrachtet werden (Abb.2), wo ein waagerechtes röhrenförmiges Bauteil von einem biegsamen Seil gehalten wird und unter der Einwirkung der Schwerkraft steht. Hierbei wird das Rohr gedrückt und gebogen. Ändert man die Parameter l und α, erhält man das mögliche Minimalgewicht der Konstruktion entsprechend Tabelle 2.

Der Nutzen derartiger Untersuchungen besteht darin, daß man ein minimales Bezugsgewicht für eine bestimmte Konstruktionsart erhält, mit dem die bei konkreten Projekten auftretenden Ergebnisse zum Zwecke einer Angleichung an das Bezugselement verglichen werden können.

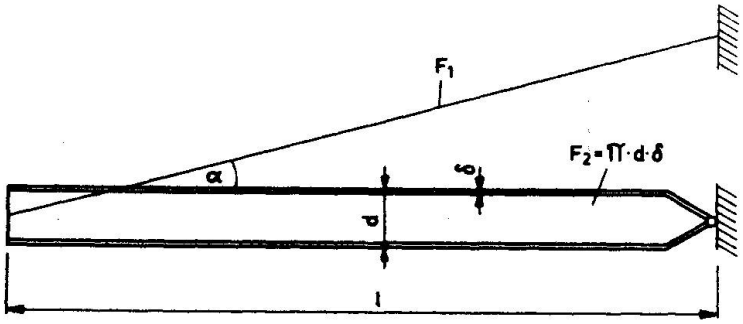

Bild 2

Ist für eine bestimmte Ausführungsart der ersten Konstruktionsgruppe ein optimales Verhältnis erreicht, so läßt sich die Verringerung des Eigengewichtes bei einer Veränderung der rechnerischen Materialfestigkeit R sowie des Raumgewichtes γ nach den Formeln (4), (5), (6) berechnen:

$$A = \frac{1-\eta}{1-K_g \cdot \eta} \qquad (4)$$

mit

$$K_g = \frac{G_{Trag,o}}{G_{Trag,o} + G_{Rest,o}} \qquad (5)$$

K_g = Koeffizient für das Verhältnis zwischen dem Eigengewicht der Tragkonstruktion und dem Gesamtgewicht (Tragkonstruktion und Restanteile) des Bezugselementes

wobei $G_{Trag,o}$, $G_{Trag,i}$ - Gewicht der Tragkonstruktion des Vergleichselementes bzw. Gewicht der Konstruktionen bei veränderten Metallkennwerten

$$\eta = \frac{\gamma_i}{\gamma_o} \cdot \frac{R_o}{R_i} \qquad (6)$$

mit γ_o, γ_i - Raumgewicht des Metalls im Bezugselement sowie des Materials in der Konstruktion mit neuen Kennwerten

R_o, R_i - Rechnerische Festigkeiten

Tabelle 2

l [m]	Gewicht [kg] bei $\alpha°$				
	5	10	20	30	45
1,25	$5,8 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$	$1,68 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-4}$	$0,8 \times 10^{-4}$
2,5	$10,1 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-3}$	$3,12 \times 10^{-3}$	$2,23 \times 10^{-3}$	$1,56 \times 10^{-3}$
5	$18,2 \times 10^{-2}$	$10,3 \times 10^{-2}$	$6,14 \times 10^{-2}$	$4,6 \times 10^{-2}$	$3,4 \times 10^{-2}$
10	3,46	2,04	1,3	1,03	0,82
20	69,75	43,58	30,13	25,77	21,66
40	1580	1031	770	680	616

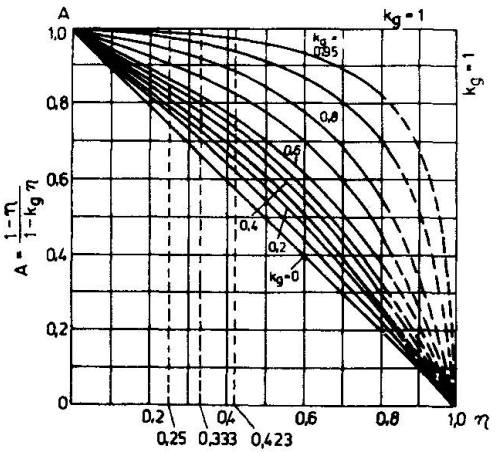

Bild 3

Abb. 3 zeigt den Einfluß der Koeffizienten η und K_g bei der Verringerung des Gewichtes der Konstruktionen im Vergleich zum Bezugselement. Hierbei muß beachtet werden, daß bei Aufstellung dieser Abhängigkeiten der o.g. Einfluß des örtlichen Stabilitätsverlustes in den einzelnen Elementen nicht berücksichtigt wurde; deshalb darf der Bereich $\eta > 0,8$ für praktische Aufgaben nicht ausgenutzt werden. Eine Änderung des Diagramms von Abb. 3 im Bereich $\eta > 0,8$ erfordert von der Konstruktionsart abhängige aufwendige Berechnungen und bedarf noch entsprechender Untersuchungen.

Ändern sich die Konstruktionen bezogen auf das Vergleichselement ähnlich in allen Teilen, so erhält man die Gewichts- und Kostenänderung aus den Formeln:

$$G_i = G_o \cdot K'^3 \qquad (7)$$

$$C_i = C_o \cdot K'^n \qquad (8)$$

mit C_o, C_i – Kosten der Bezugskonstruktion bzw. der um den Faktor K' veränderten Konstruktion

n = 2,5 bis 3 – Exponent entsprechend der Kostenänderung für eine Tonne Konstruktion C' bei einer Änderung des Ähnlichkeitskoeffizienten.

Bei gleichen Kosten pro 1 t Konstruktion gilt $C_o' = C_i'$ und n = 3

Mit Hilfe der Ähnlichkeitsgesetze können Regeln für die Änderung des Gewichts (G), der Querkraft (Q) sowie des Biegemoments(M) für verschiedene Konstruktionen aufgestellt werden. Für Türme mit dreieckigem Grundriß und einer Gurtneigung von 1/20 zur Senkrechten mit einem gleichen Widerstand gegenüber Windbeanspruchung ergibt sich bei einer Windgeschwindigkeit von V = 40 m/s sowie $C_x = 1$

$$G \approx 0{,}6 \times 10^{-5} \cdot N^3 \; [t] \qquad (9)$$

$$Q \approx 1{,}1 \times 10^{-3} \cdot N^2 \; [t] \qquad (10)$$

$$M \approx 0{,}36 \times 10^{-3} \cdot N^3 \; [tm] \qquad (11)$$

Die Formeln lassen eine Gesetzmäßigkeit bei den Änderungen der entsprechenden Parameter erkennen [8, 10] , was mit den weiter oben gemachten allgemeinen Angaben übereinstimmt.

Untersuchungen im Behälterbau [2, 3] ermöglichen ebenfalls Aussagen über die Gewichtsveränderung. Bei Behältern unter Innendruckbelastung ist z.B. der Metallaufwand für 1 m^3 geometrischen Volumens bei einem gegebenen Druck p = const. konstant und hängt nicht vom absoluten Wert der geometrischen Abmessungen ab, sondern lediglich vom Verhältnis der geometrischen Grundmaße.

Bei einer vorgegebenen Konstruktionsform kann der Einfluß des Gewichtes der stationären Ausrüstungen auf die Tragkonstruktionen nicht verändert werden, hingegen kann das Gewicht der Konstruktionen durch Einsatz höherfester Baustoffe verringert werden, wie bereits weiter oben gesagt wurde.

Schlußfolgerung:

Die unaufhörliche Tendenz zur Verringerung des Stahlaufwandes durch eine Erhöhung der mechanischen Eigenschaften des Stahles führt zu einem relativen Anwachsen des Anteiles der restlichen Einflüsse einschließlich der meteorologischen Faktoren. Aus diesem Grund sind die im Zusammenhang mit einer Verringerung dieser Einflüsse stehenden Probleme von größter Wichtigkeit.

Literatur

1. Sokolov, A.G.: Obtekaemye radiobašni bol'šoj vysoty (Stromlinienförmig verkleidete Sendetürme großer Höhe). BST 5, 6/1944
2. Sokolov, A.G.: Opredelenie optimal'nych po vesu razmerov cilindričeskich vertikal'nych rezervuarov, rabotajuščich pod davleniem (Ermittlung der dem Gewicht nach optimalen Abmessungen zylinderförmiger, vertikaler, druckbeanspruchter Behälter). Vestnik inženerov i technikov 6/1951

3. Lessit, E.N.; Lileev, A.F.; Sokolov, A.G.: Stal'nye listovye konstrukcii (Stahlblechkonstruktionen). Gosstrojizdat 1956

4. Sokolov, A.G.: Ob opredelenii optimal'nogo ugla naklona ottjažek v mačtach (Zur Bestimmung des optimalen Neigungswinkels von Mastabspannungen). Materialy po stal'nym konstrukcijam, Gosstrojizdat 4/1959

5. Sokolov, A.G.: Ispol'zovanie metoda podobija pri proektirovanii (Anwendung des Ähnlichkeitsverfahrens bei der Projektierung). Jubilejnyj sbornik "Metalličeskie konstrukcii" posvjaščennyj 75 letiju N. Streleckogo. Gosudarstvennoe naučno-techničeskoe izdatel'stvo literatury po gornomu delu, 1962

6. Oblegčennye nesuščie metalličeskie konstrukcii. Unter d.Red. von A.G. Sokolov, Gosstrojizdat 1963

7. Streleckij, N.S.; Streleckij, D.N.: Proektirovanie i izgotovlenie ekonomičnych metalličeskich konstrukcij (Projektierung und Fertigung ökonomischer Metallkonstruktionen). Strojizdat 1964

8. Sokolov, A.G.: Zakony vesa bašen (Prinzipien für das Gewicht von Türmen). Trudy universiteta Družby narodov im. Patrisa Lumumby Bd. 34, Ausg. 5/1968

9. Sokolov, A.G.: Puti umen'šenija vesa metalličeskich konstrukcij (Wege zur Verringerung des Gewichts von Metallkonstruktionen). Thesen zu den Vorträgen der VII. Wiss.-Techn. Konferenz der Universität für Völkerfreundschaft "Patrice Lumumba".

10. Sokolov, A.G.: Analiz vesa nesuščich konstrukcij vysokich zdanij prizmatičeskoj formy pri svjazevom rešenii (Analyse des Gewichts der Tragkonstruktionen von Hochhäusern in Verbundbauweise). Internationale Vereinigung für den Hochhausbau, USA 1972

11. Mel'nikov, N.P.: Puti progressa v oblasti metalličeskich konstrukcij (Wege zum Fortschritt auf dem Gebiete des Metallbaus). Strojizdat 1974

12. Diduch, B.I.; Kaspe, I.V.: Praktičeskoe primenenie metodov teorii razmernosti i podobija v inženernych stroitel'nych rasčetach (Die praktische Anwendung von Methoden der Maß- und Ähnlichkeitstheorie bei Ingenieurbauberechnungen). Strojizdat 1975

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag behandelt allgemeine Fragen im Zusammenhang mit der Massereduzierung von Metallkonstruktionen. Besondere Bedeutung wird der Festlegung von Minimalwerten für das Gewicht beigemessen, welche für die verschiedenen Konstruktionsarten als Bezugswerte bei Vergleichen dienen können. Es werden der Einfluss verschiedener Faktoren auf das Gewicht dargelegt sowie Beispiele für die Aufdeckung von Gesetzmässigkeiten beim Gewicht verschiedener Konstruktionsarten aufgeführt.

SUMMARY

The paper deals with general questions relating to the reduction of weight on steel structures. Special attention is paid to the establishing of minimum values for different types of construction, values which can be used for reference and comparison. The influence of different factors on the weight is discussed and examples are given.

RESUME

L'article traite de questions générales se rapportant à la réduction du poids de constructions métalliques. Une attention particulière est attribuée à la détermination de valeurs minima des poids qui, pour différents genres de construction, peuvent servir de valeurs de référence et de comparaison. L'influence de différents facteurs sur le poids est discutée et des exemples sont donnés.