

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89 (1971)
Heft: 11: 2. Sonderheft zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. F. Stüssi

Artikel: Aluminiumkonstruktionen im Bauwesen
Autor: Steinhardt, Otto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84799>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

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

Für den grössten Teil des interessierenden Plattenbereiches liefert die numerische Auswertung von Gleichung (7) bereits nach einer kurzen Integrationsstrecke sehr genaue Einflussordinaten. Eine Ausnahme macht zum Beispiel der Punkt ($x = 0,9$; $y = 0,9$).

Nach einem Vorschlag von I. M. Longman [4] spaltet man dafür das uneigentliche Integral zweckmässig wie folgt auf:

$$(8) \quad EFF - q_{yb}(0,9; 0,9) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \hat{w}(\alpha, 0,9) \cdot \cos(\alpha \cdot 0,9) d\alpha$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{0,9}} \dots + \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{0,9}}^{\frac{2\pi}{0,9}} \dots + \frac{1}{\pi} \int_{\frac{2\pi}{0,9}}^{\frac{3\pi}{0,9}} \dots + \frac{1}{\pi} \int_{\frac{3\pi}{0,9}}^{\frac{4\pi}{0,9}} \dots + \dots$$

$$= (V_0 - V_1 + V_2 - V_3 + \dots) \cdot (-1).$$

Zufolge des oszillierenden Integrandenanteiles $\cos(\alpha \cdot 0,9)$ lässt sich aus Gleichung (8) eine unendliche, alternierende Reihe ableiten, deren Glieder V_n aus den angegebenen Teilintegralen gebildet werden. Wie aus Tabelle 2, Spalte 4, zu sehen, erfüllt diese Reihe vom 3. Gliede an die Voraussetzungen $V_n > 0$, $V_n > V_{n+1}$ und $V_{n+1}/V_n > 1/2$, nach denen sich eine Behandlung gemäss Abschnitt 2 anbietet.

Mit den in Tabelle 2 berechneten höheren Differenzen ergibt sich für $i = 2$ gemäss Gleichung (4)

$$-EFF - q_{yb}(0,9; 0,9) = V_0 - V_1 + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Delta^k V_2}{2^{k+1}}$$

$$\cong 0,005223 - 0,023242 +$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot 0,028540 + \frac{1}{4} \cdot 0,000293 - \frac{1}{8} \cdot 0,002310 -$$

$$- \frac{1}{16} \cdot 0,001391 - \frac{1}{32} \cdot 0,000623 - \frac{1}{64} \cdot 0,000250 -$$

$$- \frac{1}{128} \cdot 0,000097 \cong -0,004076.$$

Für $i = 3$ ergibt sich ebenso

$$-EFF - q_{yb}(0,9; 0,9) = V_0 - V_1 + V_2 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Delta^k V_3}{2^{k+1}}$$

$$\cong 0,005223 - 0,023242 + 0,028540 - \frac{1}{2} \cdot 0,028247 -$$

Aluminiumkonstruktionen im Bauwesen

Von Prof. Dr.-Ing. Otto Steinhardt, Inhaber des Lehrstuhls für Stahl- und Leichtmetallbau und Direktor der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (TH)

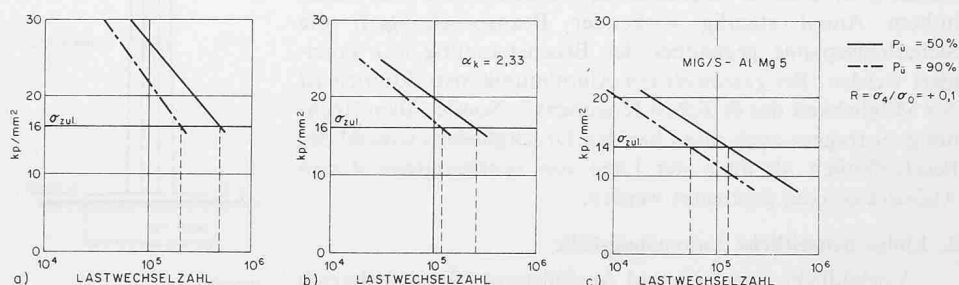
1. Einführung

Die zurzeit wichtigsten Aluminiumlegierungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt; bei der Vorbereitung eines neuen Normblattes DIN 4113 sind die hervorgehobenen drei Hauptarten, die für eine Verwendung für Baukonstruktionen unter «vorwiegend ruhender Belastung» eingehend diskutiert wurden, von besonderer Bedeutung.¹⁾

¹⁾ Der Verfasser dieses Kurzberichtes ist Vorsitzender des Unterausschusses für den Entwurf der Norm DIN E 4113 (Teil I) im Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DAST).

Bild 1. Zeitfestigkeitsverhalten und σ_{zul} -Werte (E DIN 4113) der Aluminiumlegierung Al Zn Mg 1 F36 (nach [1], [2]):

- a) Vollstab
- b) Lochstab
- c) Stumpfnah



$$- \frac{1}{4} \cdot 0,002603 + \frac{1}{8} \cdot 0,000919 + \frac{1}{16} \cdot 0,000768 +$$

$$+ \frac{1}{32} \cdot 0,000373 + \frac{1}{64} \cdot 0,000153 \cong -0,004076$$

In solchen Aufgaben kann also die erforderliche Integrationsstrecke sehr stark verkürzt werden, was bei der zeitaufwendigen numerischen Quadratur von grossem Nutzen ist.

4. Schlusswort

Die beschriebene Transformationsmethode führt bei schlecht konvergierenden, alternierenden Reihen zu einer wesentlichen Konvergenzverbesserung und damit zu einer schnelleren Berechnung ihrer Summenwerte. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die verwendeten Anfangsglieder einer solchen Reihe mindestens die Sollgenauigkeit des gewünschten Endergebnisses aufweisen.

Besondere Bedeutung erlangt diese Methode bei der Auswertung von Reihenlösungen, die bei punktförmig belasteten Platten, Scheiben und Schalen (vgl. z. B. [5]) gefunden werden. Dabei sind es vor allem Momente und Querkräfte, die mitunter aus extrem schleppend konvergierenden Reihen bestimmt werden müssen.

Während auch die in den beiden Anwendungsbeispielen erzielte Genauigkeit der statischen Grössen für die Bemessung eines Tragwerks nicht notwendig ist, kann diese wohl erforderlich werden, wenn bestimmte Schnittkräfte und Verformungen erst als Zwischenergebnisse eines weiteren Rechnungsganges benutzt werden. Dies kann zum Beispiel bei der Berechnung von punktgestützten Platten, Durchlaufplatten u. a. der Fall sein.

Literaturverzeichnis

- [1] Bromwich T. J.: An Introduction to the Theory of Infinite Series. 2nd ed. London, 1959, Macmillan & Co., p. 62.
- [2] Knopp K.: Theorie und Anwendung der unendlichen Reihen. 5. Aufl., Berlin/Göttingen/Heidelberg/New York 1964, Springer Verlag, S. 253 ff.
- [3] Eisenbiegler G.: Operatorenkalkül zur Berechnung von Stab- und Flächentragwerken, Dissertation Universität Karlsruhe 1969.
- [4] Longman I. M.: Note on a Method for Computing Infinite Integrals of Oscillatory Functions. "Proc. Camb. Phil. Soc.", Vol. 52 (1956), pp. 764-768.
- [5] Krimmer H.: Beitrag zur Berechnung von Kreiszyinderschalen unter der Wirkung von Einzellasten an den Binderrändern. Dissertation TH Darmstadt 1968.

DK 546.621:624.07

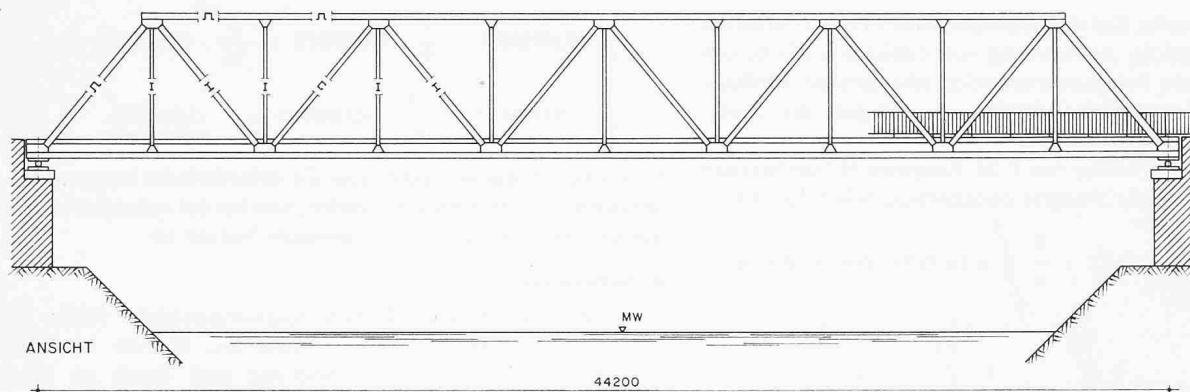
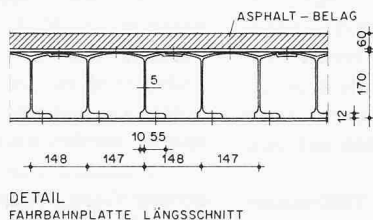
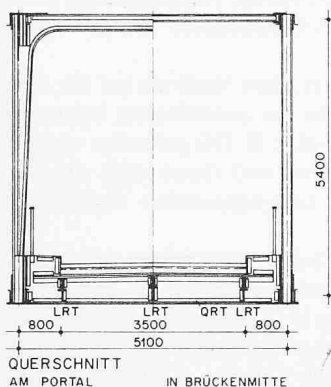


Bild 2. Strassenbrücke über den Datteln-Hamm-Kanal bei Lünen (nach [3]): Werkstoff Al Mg Si (F32); Nietwerkstoff Al Mg Si (F20); Gesamtgewicht 25 t; Verkehrslast nach DIN 1072, Br.-Kl. 12



DETAIL FAHRBAHNPLATTE LÄNGSSCHNITT

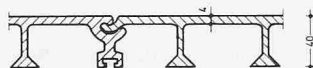
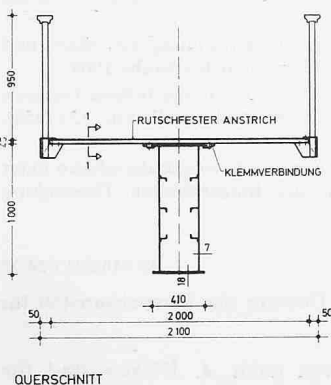
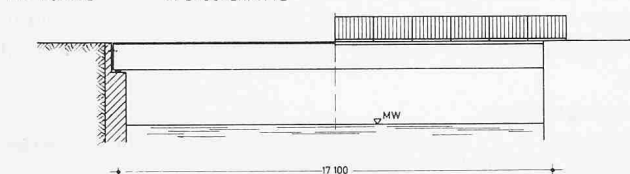
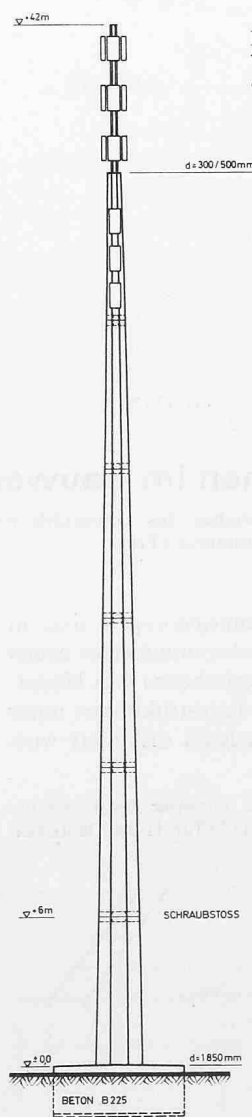


Bild 3. Fussgängerbrücken über die Aach in Singen (Hohentwiel) (nach [4]): Werkstoff Al Mg Si (F32); Konstruktionsgewicht rd. 2,5 t; Gesamtgewicht rd. 3,2 t; Verkehrslast 500 kp/m² (DIN 1072)

ter Häufigkeit führt) für praktische Anwendungsfälle, das heisst auch für gelegentlich, also nicht planmässig schwingungsbeanspruchte Bauglieder, immer eine ausreichende Stand-sicherheit garantiert (Bild 1c zeigt gleichzeitig entsprechende Ergebnisse für eine geschweisste Verbindung). – Bei den *unge-schweissten* Aluminiumkonstruktionen scheint festzustehen, dass ein Kriechen im Bereich von σ_{zul} , also beim Gebrauchs-lastzustand, nicht zu befürchten ist; dennoch sollte (bei relativ hohem Anteil ständig wirkender Beanspruchungen) die Sicherheitsspanne gegenüber der Bruchspannung σ_{Bk} korrigiert werden. Bei *geschweissten* Aluminiumkonstruktionen ist der Möglichkeit des örtlichen Kriechens in Sonderfällen Rechnung zu tragen; auch muss hier bei Druckgliedern sowohl der Beschaffenheit als auch der Lage von «entfestigten» Zonen Aufmerksamkeit geschenkt werden.

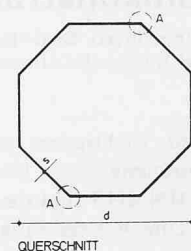
2. Einige neuzeitliche Anwendungsfälle

Vorbildliche Entwürfe und Ausführungen für den Bereich

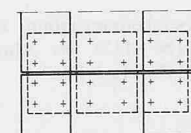
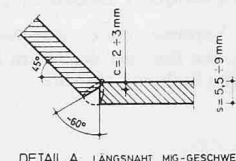


ANSICHT

Bild 6. Antennenträger aus Aluminium: Werkstoff Al Mg 4,5 Mn; Standorte Idar-Oberstein, Altensteig, Freiburg



QUERSCHNITT



DETAIL: MONTAGESTOSS GESCHRAUBT

Bild 4. Verbindungssteg in Karlsruhe ([5]): Werkstoff Al Mg Si (F28); Konstruktionsgewicht 2,7 t; Gesamtgewicht 3,5 t; Verkehrslast 200 kp/m²

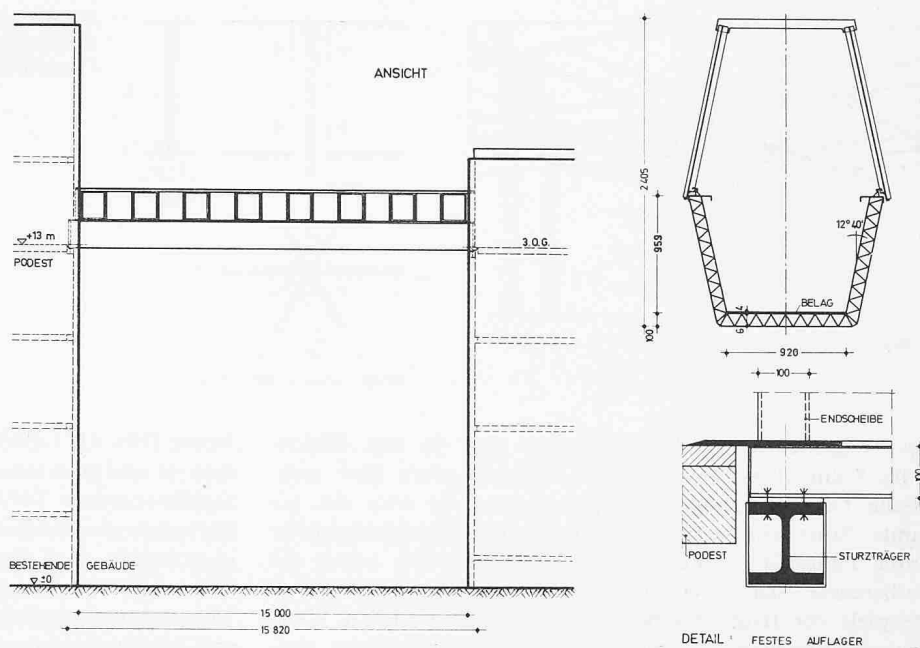


Bild 5. Fussgängerbrücken über die Alb in Karlsruhe ([5]): Werkstoff Al Mg Si (F28); Konstruktionsgewicht rd. 5,1 t; Gesamtgewicht rd. 6,3 t; Verkehrslast 500 kp/m² (DIN 1072)

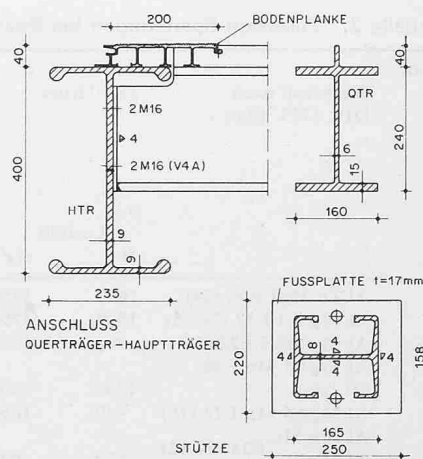
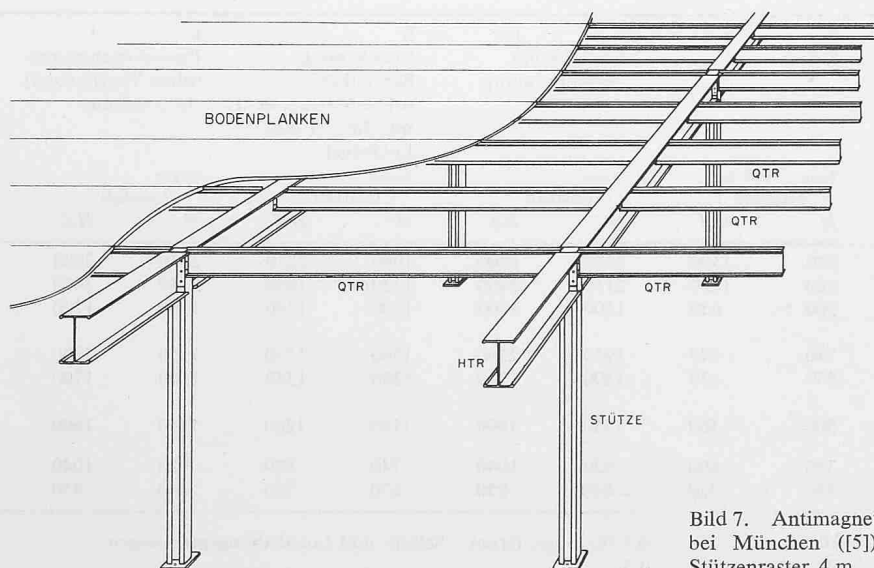
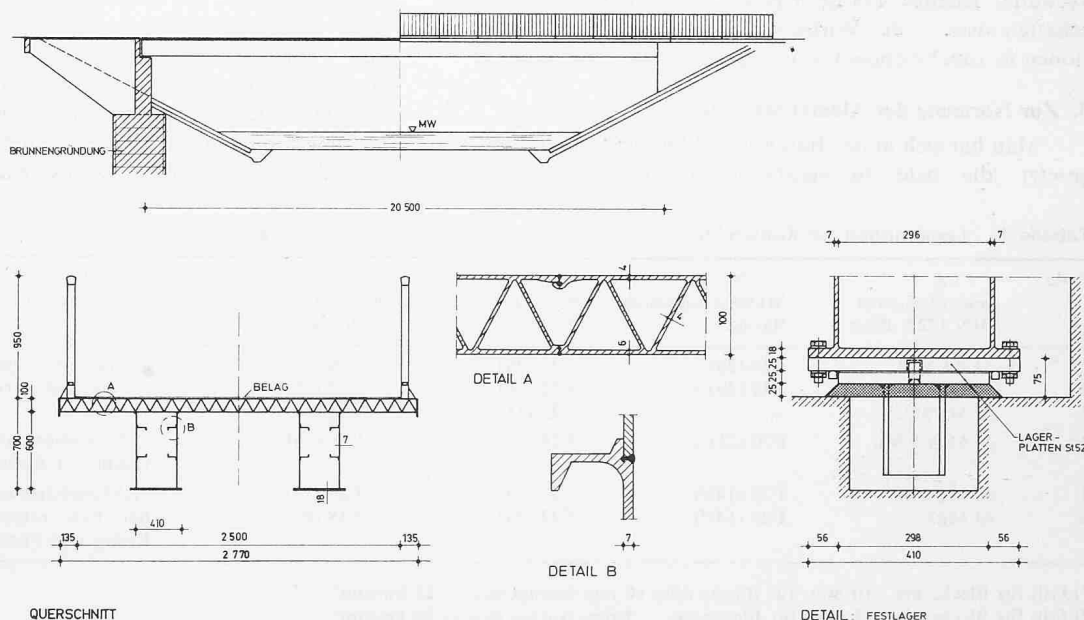
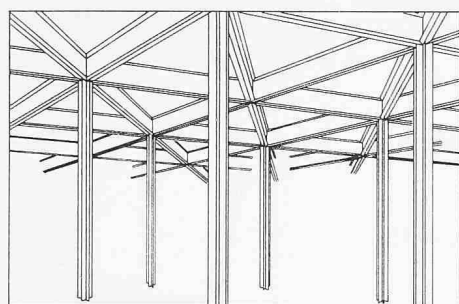


Bild 7. Antimagnetische Decke (Bühne) für ein Institut in Garching bei München ([5]): Werkstoff Al Mg Si (F32) Strangpressprofile; Stützenraster 4 m



TRAGSKELETT PERSPEKTISCHE DARSTELLUNG

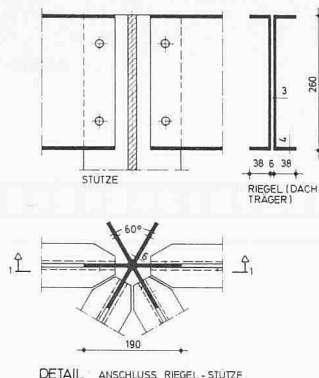


Bild 8. ALCO-Bausystem Trelement;
Werkstoff Al Zn Mg 1 (F36);
Grundrissraster: Dreieckseitenlänge 2,3 m

des «allgemeinen Leichtmetallbaues» sind in den Bildern 2 bis 8 enthalten; die jeweiligen Bildtexte geben über technische Daten Auskunft [3], [4]. Soweit die über die gesamte Stützweite «stranggepressten» Querschnittseinzelteile durch Längsnähte miteinander verschweisst sind, wurde die vorbereitete Fuge in vergrössertem Massstab dargestellt. Diese Beispiele der Baupraxis beweisen, dass bei speziellen Wettbewerbsbedingungen – zum Beispiel bei Forderungen wie: leichte Widerlager, schnelle Montage, geringer Unterhaltungsaufwand, leichtes Transportgewicht, antimagnetische Eigenschaften usw. – die Wirtschaftlichkeit derartiger Konstruktionen in zunehmendem Masse gewährleistet erscheint [5].

3. Zur Normung der Aluminiumbauweise

Man hat sich in der Bundesrepublik Deutschland das Ziel gesetzt, die bald zu verabschiedenden «Richtlinien» zur

Norm DIN 4113 (1958) in Teil I und Teil II so aufzubauen, dass sie inhaltlich einen Rahmen erreichen, der demjenigen der Stahlbaunormen DIN 1050 (nebst «Ergänzungen zum Traglastverfahren» DAST-Entwurf Juli 1970) und DIN 4100 vergleichbar ist. Auf dem Erlass-Weg sollen diese neuen Richtlinien schon kurzfristig der Praxis zur Verfügung stehen. – Neben den allgemeinen Angaben zum *Geltungsbereich*, zu Art und Umfang der Bauvorlagen, zu den Werkstoffen für Konstruktion und Verbindungsmittel sollen vor allem die *Berechnungsgrundsätze*, die «Lastannahmen» und Tragspannungen nebst «Sicherheitszahlen» derartig miteinander verknüpfen, dass – zunächst für die Bauteile – zulässige Spannungen σ_{zul} (für die Gebrauchslastzustände) festgelegt werden können. – Eine Orientierung erfolgt gemäss den legierungsgebundenen σ_{ϵ} -Diagrammen in der Regel nach Massgabe der Sicherheiten ν_H und ν_{HZ} gegenüber $\sigma_{0,2}$. Zusätzlich wird eine Absicherung

Tabelle 1. Legierungen für Konstruktionsteile

Zeile	a Legierung nach DIN 1725, Blatt 1	b Mindestzugfestigkeit und Bleche	c (Mindeststreckgrenze) für Rohre	d Profile	e Bemerkungen
1	Al Zn Mg1	F36 (28)	F36 (28)	F36 (28)	aushärtbare Legierung im Zustand warm ausgehärtet
2	Al Mg Si1	F32 (26) ¹⁾	F32 (26)	F32 (26)	
3	Al Mg Si0,5	—	F22 (16)	F22 (16)	
4	Al Mg4,5 Mn	F30 (21) ²⁾	F28 (16)	F28 (16)	nicht aushärtbare Legierung; für Bleche verfestigt, für Rohre und Profile gepresst
5	Al Mg Mn	F23 (14) ³⁾	F23 (14)	F20 (10)	nicht aushärtbare Legierung im Zustand halbhart bzw. verfestigt für Bleche halbhart, für Rohre und Profile gepresst
6	Al Mg3	F23 (14) ³⁾	F23 (14)	F18 (8)	

¹⁾ Gilt für Bleche bis 10 mm; für Bleche über 10 mm beträgt $\sigma_{0,2} = 25 \text{ kp/mm}^2$

²⁾ Gilt für Bleche über 5 mm; für Bleche bis 5 mm beträgt $\sigma_{0,2} = 24 \text{ kp/mm}^2$

³⁾ Gilt für Bleche bis 10 mm; für Bleche über 10 mm beträgt $\sigma_{0,2} = 12 \text{ kp/mm}^2$

Tabelle 2. Zulässige Spannungen bei Beanspruchung der Bauteile

Zeile	a Werkstoff nach DIN 1725, Blatt 1	b Zug/Druck	c	d Schub	e	f Lochleibung	g Nietverbindung	h Lochleibung Schrauben (ohne Vorspannen) mit $\Delta d \leq 1 \text{ mm}$ Lochspiel	i	k Passschraubenverb. (ohne Vorspannen) $\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$	l
		σ_{zul}						σ_{ezul}		σ_{ezul}	
		Lastfall						Lastfall		Lastfall	
		H HZ						H HZ		H HZ	
1	Al Zn Mg1 F36 (28)	1650	1850	990	1100	2450	2800	1960	2210	2450	2800
2	Al Mg Si1 F32 (26/25)	1500	1700	900	1020	2150	2400	1720	1890	2150	2400
3	Al Mg Si0,5 F22 (16)	940	1050	560	630	1500	1700	1200	1340	1500	1700
4	Al Mg4,5 Mn F30 (21/24)	1230	1400	740	840	1950	2200	1560	1730	1950	2200
5	Al Mg4,5 Mn F28 (16)	940	1050	560	630	1500	1700	1200	1340	1500	1700
6	Al Mg Mn F23 (14/12) Al Mg3	820	940	500	560	1450	1600	1160	1260	1450	1600
7	Al Mg Mn F20 (10)	580	660	350	400	920	1040	740	820	920	1040
8	Al Mg3 F18 (8)	470	530	280	320	840	950	670	750	840	950

Abminderung der zulässigen Spannungen bei $\sigma_{HS}/\sigma_H > 0,5$ bzw. $\tau_{HS}/\tau_H > 0,5$ für Zug-, Druck-, Schub- und Lochleibungspressungen:

$\sigma_{1000zul} = k_{1000} \cdot \sigma_{zul}$; $\tau_{1000zul} = k_{1000} \tau_{zul}$; mit $k_{1000} = 1 - 0,4 (\sigma_{HS}/\sigma_H - 0,5)$

gegenüber der Bruchspannung σ_B beachtet, letzteres einschliesslich Berücksichtigung des «Kriecheinflusses» (Abnahme der Dauerstandfestigkeit), der durch Abminderungsfaktoren k für die Werte von σ_{zul} erfasst wird, sobald der Anteil der «ständigen Last» H_s 50% oder mehr der Gesamtlast H beträgt. Somit erhält man die Zahlenwerte für σ_{zul} , τ_{zul} und $\sigma_{I,zul}$ nach Tabelle 2. Die Werte für σ_{zul} (ab Zeile 3) weisen ν_H - bzw. ν_{HZ} -Werte $\geq 1,7$ bzw. $1,50$ gegenüber $\sigma_{0,2}$ auf, sowie ν_{HZB} -Werte $\geq 2,10$ gegenüber σ_B^2). Für die «neue» Legierung der Zeile 1 liegt letztgenannte «Sicherheitszahl» mit $\nu_{HZB} = 1,95$ immerhin noch ein wenig höher als für die seit 1958 anerkannte Legierung der Zeile 2.

Für die in Aluminiumbauwerken verwendbaren *Verbindungsmittel* (Aluminiumniete, Aluminiumschrauben, Stahlschrauben, hochfeste Schrauben, Schliessringbolzen aus Stahl und Aluminium sowie Sonderniete) wird eine klare Unterteilung in «Verbindungen mit rechnerisch nachzuweisender Scher- bzw. Lochleibungswirkung» und in vollvorgespannte, «gleitfeste Verbindungen» vorgenommen. Analog zur DIN 1050 werden in E-DIN 4113 nur erstgenannte behandelt, für letztgenannte müssen dagegen noch eigene Richtlinien erstellt werden (vgl. z. B. analog die «Vorläufigen Richtlinien für HV-Verbindungen im Stahlbau»). – Die zulässigen Spannungen für Verbindungen mit Scher- bzw. Lochleibungswirkung erfahren in ihrer Vielfältigkeit eine differenzierte Behandlung. Während hinsichtlich der Aluminiumnieten und -schrauben die zulässigen Scherspannungen als bewährte Werte teilweise aus der zurzeit noch gültigen Norm DIN 4113 (Ausgabe 1958) übernommen werden, scheinen hinsichtlich der zulässigen Lochleibungsspannungen anhand von Vergleichen und durchgeführten experimentellen Untersuchungen an Aluminiumver-

²⁾ Die üblicherweise verwendeten Indices bedeuten: k Kriecheinfluss (σ_{Bk} Dauerstandfestigkeit), H Hauptlast, Z Zusatzlasten, ki ideelle Knicklast, kr Traglast, l Lochleibung.

bindungen teilweise Erhöhungen und auch Erweiterungen vertretbar. Dazu kommen als wesentlich neue Verbindungsmittel die hochfesten Stahlschrauben (Qualität 10.9 und 8.8 nach DIN 267) mit Lochspiel $\Delta d \leq 1$ mm sowie mit Lochspiel $\Delta d \leq 0,3$ mm (hochfeste Passschrauben) zur Verwendung. Analog sind hochfeste stählerne Schliessringbolzen (nach SRB-Richtlinien 1970, Mindestqualität 8.8) brauchbar. Bei Verbindungen mit rechnerisch nachzuweisender Scher- bzw. Lochleibungswirkung braucht keine Reibflächenbehandlung zu erfolgen; auf «Abscheren» können dabei die zulässigen Spannungen entsprechend der Festigkeit der jeweiligen Verbindungsmittel eingeführt werden (Tabelle 3).

Hinsichtlich der zulässigen «Lochleibungspressungen» $\sigma_{I,zul}$ findet dagegen eine Differenzierung statt, je nachdem, ob keine, die halbe oder die volle Vorspannung aufgebracht wird (unter voller Vorspannung werden die P_v -Werte nach den einschlägigen «Richtlinien» verstanden). Es ist nämlich nachweisbar, dass erhöhte Querpressungen die kritischen Lochleibungsfestigkeiten wesentlich heraufsetzen. So kann zum Beispiel bei *Stahl* mit einem zulässigen Wert $\sigma_{I,zul}$ gleich der 2,6- bis 3,0fachen zulässigen Zugspannung für Bauteile gerechnet werden (vgl. VR 1963, VR-Erg. 1967, SRB-Ri 1970).

Aufgrund von Versuchen an den drei Legierungen AlZnMg 1 F36, AlMgSi 1 F32 und AlMg 4,5 Mn F28 könnten nach einem Karlsruher Vorschlag als zulässige Lochleibungspressungen für Aluminiumverbindungen mit hochfesten Schrauben und Passschrauben ohne, bei halber und bei voller Vorspannungen sowie für hochfeste, stählerne Schliessringbolzen mit voller Vorspannung die Werte der Tabelle 4 eingeführt werden. Das Verhältnis zwischen $\sigma_{I,zul}$ und $\sigma_{Zug,zul}$ erreicht bei voller Vorspannung maximal den Wert 1,64 (bei Lochspiel $\Delta d \leq 1$ mm) bzw. = 2,12 (bei Lochspiel $\Delta d \leq 0,3$ mm).

Von grossem Interesse ist natürlich die möglichst wirklichkeitsnahe und dabei doch ausreichend sichere *Bemessung*

Tabelle 3. Zulässige Scher- und Zugspannungen in kp/cm^2 für Aluminium-Nieten, -Schrauben und -Passschrauben

Zeile	Verbindungsmittel	Spannungsart	Al Mg Si1 F20		Al Mg Si1 F23		Al Mg5 F24		Al Mg5 F26		Al Mg Si1 F32		Al Cu Mg1 F40		Al Zn Mg Cu0,5 F47		Al Mg Si1 F40	
			H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ
1	Niete	Abscheren	570	650	640	730	660	750	750	850	—	—	(1050)	(1200)	—	—	—	—
2	Schrauben	Abscheren	—	—	—	—	—	—	—	—	640	730	720	820	1000	1120	640	730
		Zug	—	—	—	—	—	—	—	—	1000	1000	1200	1200	1300	1500	1000	1000
3	Passschrauben	Abscheren	—	—	—	—	—	—	—	—	800	910	900	1020	1250	1400	800	910
		Zug	—	—	—	—	—	—	—	—	1000	1000	1200	1200	1300	1500	1000	1000

Die zulässigen Werte für Lochleibungspressungen sind der Tabelle 4 zu entnehmen. Die Klammerwerte sollten nur in Sonderfällen verwendet werden.

Tabelle 4. Zulässige Spannungen in kp/cm^2 infolge Lochleibungsdruck ($\sigma_{I,zul}$) bei hochfesten stählernen Schrauben und Passschrauben der Güten 10.9 und 8.8 ohne, mit halber und mit voller Vorspannung und bei Schliessringbolzen der Mindestqualität 8.8 mit voller Vorspannung

Zeile	Werkstoff nach DIN 1725	Hochfeste Schrauben																Hochfeste Schliessringbolzen			
		ohne Vorspannung ¹⁾				mit halber Vorspannung				mit voller Vorspannung ²⁾				mit voller Vorspannung ³⁾				mit voller Vorspannung ³⁾			
		$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm	$\Delta d \leq 1$ mm	$\Delta d \leq 0,3$ mm
		H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ
1	Al Zn Mg1 F36	1960	2210	2450	2800	2150	2400	2700	3050	2700	3050	3500	4000	2700	3050	3500	4000	2700	3050	3500	4000
2	Al Mg Si1 F32	1720	1890	2150	2400	1900	2080	2400	2700	2400	2700	3000	3400	2400	2700	3000	3400	2400	2700	3000	3400
3	Al Mg Si0,5 F22	1200	1340	1500	1700	1300	1430	1650	1860	1650	1860	2060	2340	1650	1860	2060	2340	1650	1860	2060	2340
4	Al Mg4,5 Mn F30	1560	1730	1950	2200	1700	1860	2150	2420	2150	2420	2680	3040	2150	2420	2680	3040	2150	2420	2680	3040
5	Al Mg4,5 Mn F28	1200	1340	1500	1700	1300	1430	1650	1860	1650	1860	2060	2340	1650	1860	2060	2340	1650	1860	2060	2340
6	Al Mg Mn F23	1160	1260	1450	1600	1260	1420	1600	1800	1600	1800	2050	2360	1600	1800	2050	2360	1600	1800	2050	2360
7	Al Mg Mn F20	740	820	920	1040	810	900	1020	1150	1020	1150	1320	1510	1020	1150	1320	1510	1020	1150	1320	1510
8	Al Mg3 F18	670	750	840	950	730	820	920	1040	920	1040	1200	1370	920	1040	1200	1370	920	1040	1200	1370

¹⁾ Zulässige Spannungen infolge Lochleibungsdruck für normale Niet- und Schraubenverbindungen, vgl. Tabelle 2, Spalten f bis l

²⁾ Volle Vorspannung der hochfesten Schraube bedeutet $P_v = P_{v, \text{sol}}$ nach SRB-Ri 1970, Tafel 6

³⁾ Volle Vorspannung des hochfesten Schliessringbolzens bedeutet $P_v = P_{v, \text{sol}}$ nach SRB-Ri 1970, Tafel 6

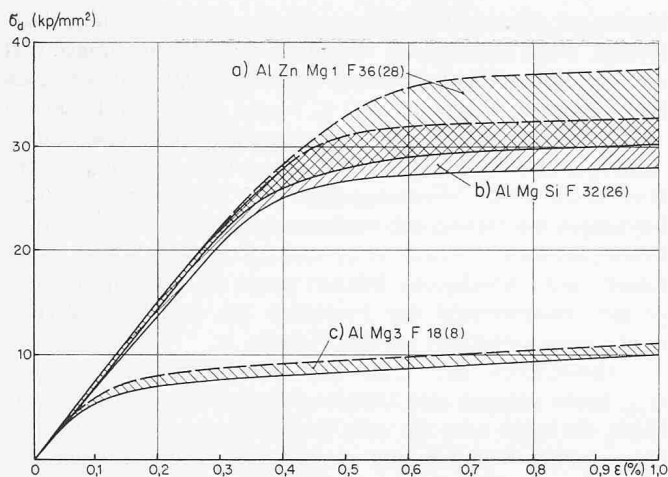


Bild 9. Stauchkurven für Aluminium-Legierungen (Streubereiche)

von tragenden Aluminiumbaugliedern oder von ganzen Tragwerken. Neben den «Druckstäben» – die weiter unten ausführlicher behandelt werden sollen – sind vollwandige Biegeträger bzw. rahmenartige Stabwerke anhand von Traglastermittlungen und Nachweisen unter Gebrauchslast zu behandeln, wobei sich (im Rahmen der Norm) eine Beschränkung auf den symmetrischen I-Querschnitt empfiehlt. Die ν -fachen Gebrauchslasten müssen unterhalb der kleinsten Traglast liegen, und die maximalen Spannungen bei ν -facher Gebrauchslast sollen die $\sigma_{0,2}$ -Grenzen nicht überschreiten. Gesetzmässigkeiten über Querschnittsplastizierungen sowie über Instabilitäten infolge Ausbeulen, Kippen, ausermittigem Druck und Drehknicken gehen von dem nachfolgend erörterten Grundfall aus.

Der «planmässig mittig» gedrückte Stab sollte grundsätzlich als Grenzfall eines «planmässig ausermittigt» beanspruchten Stabes betrachtet werden. Ein an beiden Stabenden gleichgrosser «unvermeidbarer» Angriffshebel u (z.B. $u = 1/500$) bildet dabei eine (praktisch einleuchtende) erste geometrische Voraussetzung. Weiterhin kann der Querschnittseinfluss durch nur zwei Typen-Gruppen genau genug eingegrenzt werden. Zuletzt dürfen für «kaltgereckte» Aluminiumprofile *Eigen*spannungen ausser Betracht bleiben.

Der rechnerischen Ermittlung von *Tragspannungen* σ_{kr} unter Längsbelastung liegen im allgemeinen Stauchkurvenscharen (als σ , ϵ -Diagramme) zugrunde; solche wurden in Karlsruhe zum Beispiel für die Aluminiumlegierungen Al Zn Mg 1 F 36 (28), Al Mg Si 1 F 32 (26) und Al Mg 3 F 18 (8) als «Streubüschel» zusammengestellt (Bild 9). Um jedoch die *Tragspannungen* σ_{kr} leichter systematisch erfassen zu können, wurde das σ , ϵ -Gesetz einerseits (Institut für Statik und Stahlbau, TH Darmstadt) als «Potenzfunktion»

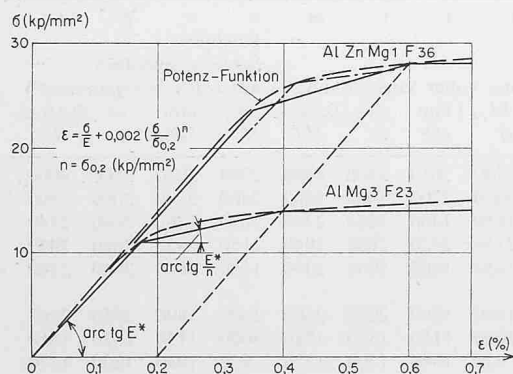


Bild 10. «Potenzfunktion» und «Sekanten-Zug» für die Aluminiumlegierungen Al Zn Mg 1 (F36) und Al Mg 3 (F23)

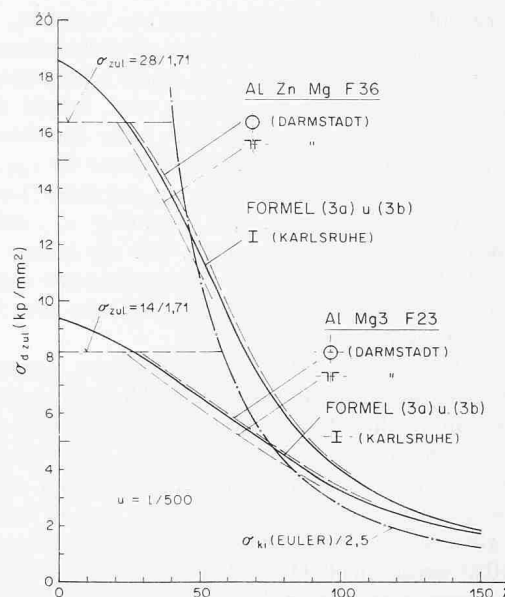


Bild 11. Vergleich der σ_{dzul} -Kurven für Rohre und Doppelwinkel mit Potenzfunktion (Ansatz Darmstadt) und nach den Gln. (3a) bzw. (3b) mit Sekanten-Zug (Ansatz Karlsruhe)

$$(1) \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E} + 0,002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0,2}} \right)^n$$

mit $n = 28,26$ und 8 entsprechend den $\sigma_{0,2}$ -Grenzen der obigen Legierungen, andererseits (Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe) als dreiteiliger angepasster «Sekantenzug» dargestellt: Für die beiden Beispiele der Legierungen Al Zn Mg 1 F 36 und Al Mg 3 F 23 zeigt Bild 10 solche ausgewählten Züge, die einen Genauigkeitsvergleich mit der jeweiligen «Potenzfunktion» zulassen. In diesen «Sekantenzügen» ist zunächst eine Steigung E^* gewählt, sodann folgt ab $\mu \cdot \bar{\sigma}$ die Steigung E^*/n , und zuletzt ist ab $\bar{\sigma} = \sigma_{0,2}$ der Verlauf waagrecht. Tabelle 5 enthält alle hier notwendigen Festwerte für die bei Baukonstruktionen wichtigsten Legierungen.

Nach diesen vorbereitenden Festlegungen kann an die Berechnung der σ_{kr} -Werte und darüber hinaus an die Ermittlung der $\sigma_{dzul} = \sigma_{kr}/\nu_{kr}$ -Werte herangegangen werden. Man kann für dieses Vorgehen die weiter unten angegebenen Gleichungen (3a) und (3b), die für «planmässig-ausermittigten» Druck entwickelt worden sind, benutzen. Bild 11 zeigt für die beiden «Grenzfälle» (nämlich für eine «sehr feste» und eine «sehr weiche» Al-Legierung) des Bildes 10 die entsprechenden σ_{dzul} , λ -Diagramme. Bei diesen Diagrammen, die einerseits (gestrichelt) die «Potenzfunktion» zur Grundlage der Computer-Rechnung haben, andererseits mittels des jeweiligen «Sekantenzuges» und der Gleichung (3) ermittelt worden sind, erkennt man, dass die σ_{kr}/ν_{kr} -Kurven (mit $\nu_{kr} = 1,5$) und die gleichzeitig strichpunktiert eingezeichnete $1/\nu_{ki}$ -fache Eulerkurve (mit $\nu_{ki} = 2,5$) nur unbefriedigend zur Festlegung einer «unteren Grenzlinie» dienen können. Es wurden deshalb von uns, zwecks Erreichung einer einheitlichen Knicksicherheit ν_{kr} , vorab die geometrischen Voraussetzungen – beispielsweise für

Tabelle 5. Kenngrössen für Aluminium-Legierungen zur Berechnung der Werte von σ_K bzw. σ_{dzul}

Legierung nach DIN 1725, Blatt 1	$\bar{\sigma}$ kp/mm ²	E^+ Mp/cm ²	μ	n	E Mp/cm ²
Al Zn Mg 1 F 36 (28)	29	680	0,85 (0,857)	4,0	710 ÷ 760
Al Mg Si 1 F 32	27	680	0,85	4,0	720 ÷ 780
Al Mg 3 F 18	8	550	0,70	6,0	630 ÷ 710
Al Mg 3 F 23 (14)	(650)	(650)	(0,854)	(5,0)	—

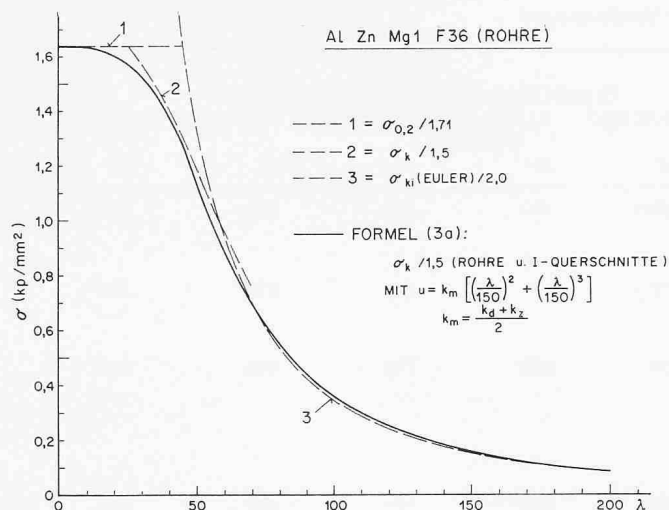


Bild 12a. Rohre und I-Profil ($\nu_{ki} = 2,0$)

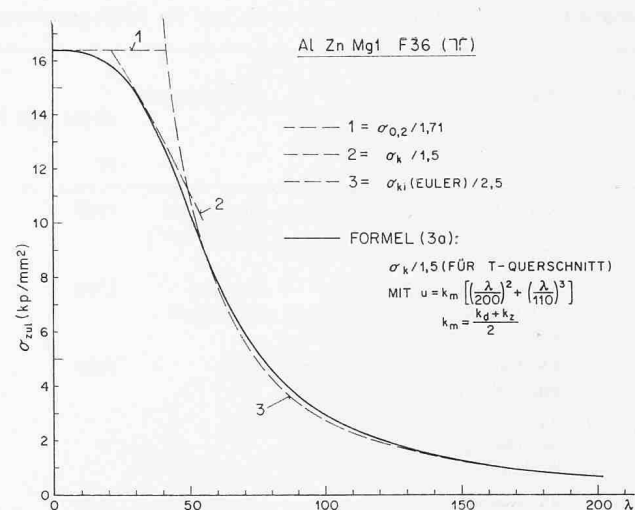


Bild 12b. Doppelwinkel ($\nu_{ki} = 2,5$)

Bild 12. Vergleich der σ_{dzul} -Kurve nach den Gln. (3a) bzw. (3b) mit quadratisch-kubisch veränderlichem Exzentrizitätsmass nach den Gln. (2a) und (2b) und Sekanten-Zug, mit den σ_{dzul} -Kurven (Darmstadt) aus σ_{kr}/ν_{kr} bzw. σ_{ki}/ν_{ki}

die Legierung Al Zn Mg 1 F 36 und für die beiden Querschnittsgruppen Rohre und I- bzw. T-Querschnitte – nach den beiden folgenden Gleichungen gewählt:

$$(2a) \quad u = k_m \left[\left(\frac{\lambda}{150} \right)^2 + \left(\frac{\lambda}{150} \right)^3 \right] \text{ für Rohrquerschnitte}$$

$$(2b) \quad u = k_m \left[\left(\frac{\lambda}{200} \right)^2 + \left(\frac{\lambda}{110} \right)^3 \right] \text{ für T-Querschnitte}$$

Sodann wurden die Werte für σ_{dzul} aus σ_{kr} ermittelt, und zwar zunächst aufgrund der zugehörigen «Potenzfunktion» über drei getrennte Bereiche, und dabei im Eulerbereich mit unterschiedlichen Werten $\nu_{ki} = 2,0$ bzw. $\nu_{ki} = 2,5$ (entsprechend den Querschnittsgruppen); sodann jedoch aufgrund des «Sekantenzuges», ausschliesslich gemäss Gleichung (3) und durchweg mit $\nu_{kr} = 1,5$. Beim zuletzt beschriebenen Vorgehen erreicht man eine sehr befriedigende Anpassung an die «untere Grenzlinie», Bilder 12a und 12b.

Abschliessend sei hier festgestellt, dass bei der hier beschriebenen Untersuchungsweise eine teilweise Anhebung der Werte für σ_{dzul} (d.h. also eine Senkung der $\sigma_{zul}/\sigma_{dzul}$ -Werte, also der ω -Werte) gegenüber der DIN 4113 (1958) nach einheitlicher Meinung der Fachleute im mittleren Schlankheitsbereich bis zu etwa 10% möglich erscheint. Würde man also zum Beispiel die schon früher durch genannte (alte) Norm erfasste Legierung AlMgSi 1 F 32 erneut nach Gleichung (3) für die T-Querschnitte überprüfen bzw. korrigieren, so ergäben sich Anhebungen der Werte σ_{dzul} als Funktion der Schlankheit λ ; diese würden bei λ -Werten von 0, 50, 100, 150, 200 und 250, ausgedrückt in %, betragen: 0, 10, 8, 6, 3 und 0, und zwar würden sie sich in stetiger Weise mit λ verändern.

Bei planmässig aussermittltem Druck können auf Druck und einachsige Biegung beanspruchte Rahmenstützen mit I-Querschnitt gegen Knicken in der Rahmenebene (Biegeknicken) sowie gegen das Ausweichen aus der Rahmenebene heraus (Kippen bzw. Biegedrillknicken) nach folgender Bedingung erfasst werden:

$$(3a) \quad \frac{N_p}{\mu \cdot \bar{N}} + \frac{C_m \cdot M_p}{(1 - N_p/N^*) \mu \cdot M^*} \leq 1$$

Falls $[(n+1)/2] \cdot [N_p/N^*] \leq 1$ ist, darf günstiger nach der Formel

$$(3b) \quad \varphi \cdot \frac{N_p}{\bar{N}} + \frac{C_m \cdot M_p}{(1 - N_p/N^*) \cdot M^*} \leq 1$$

gerechnet werden, wobei

$$\varphi = 1 + \frac{(n-1)}{2} \left(1 - \mu \right) \frac{\bar{N}}{N^* - N_p}$$

In diesen beiden wichtigen Formeln bedeuten: N^* jeweils den kleineren der beiden Werte von $N^*_{E,x}$ (Eulerlast) oder $N_{kvi} = \pi^2 EF / \lambda_{vi}^2$ mit λ_{vi} zum Beispiel gemäss DIN 4114, Bl. 2 (Abschn. 10.1); M^* jeweils den kleineren der beiden Werte von $M^* = \bar{M}_{pl} = \alpha \sigma W_d$ (α = Formbeiwert) oder $M^* = M_{ki}$ = ideales Kippmoment (bei Gabellagerung und $M = \text{konst.}$); $N_p = \nu N$ sowie $M_p = \nu M_2$ (Endmoment $|M_2| > \text{Endmoment } |M_1|$); ferner ist $C_m = 0,6 + 0,4 M_1/M_2$ ($\geq 0,40$), für Rahmen, die in der Momentenebene unverschieblich sind, $C_m = 0,85$ für verschiebliche Rahmen.

Als Ergebnis seiner bisherigen Untersuchungen konnte mein Mitarbeiter, Dipl.-Ing. Fayrouz Labib, nachweisen, dass der von mir vorgeschlagene dreiteilige «Sekantenzug» eine einfach zu erreichende und – insbesondere bei zwei (etwas variierten) Ansätzen – sehr befriedigende Genauigkeit bei der Ermittlung nicht nur von «Traglasten» bei Druck-Biegefällen, sondern auch für die σ_{kr} -Werte des vorher (als Grenzfall) behandelten «mittig» gedrückten Stabes, zu liefern vermag.

Schliesslich ist es im Rahmen der neuen Richtlinien E-DIN 4113, Teil I, nötig, die Querschnittsabmessungen durch Bannung der örtlichen Beulgefahr zu begrenzen. Denn diese spielt sowohl bei vollwandigen Biegeträgern als auch bei Stabwerken aus Aluminium mit meist relativ dünnwandigen bzw. dünnwandigen Querschnitten eine unter Umständen entscheidende Rolle. Für erstgenannte Al-Biegeträger läuft zurzeit in der «Karlsruher Versuchsanstalt» ein IVBH-Versuchsprogramm, das schon bis zum März-Colloquium (London 1971) erste interessante Ergebnisse verspricht (und z. B. für den Gebrauchslastzustand im konstruktiven Regelfall eine Abminderung der Beulsicherheitszahl ν_{kb} zumindest auf 1,0 nahelegt); für stabförmige Al-Querschnitte sollen Mindestdicken t bei abstehenden Flanschen bzw. bei Winkelstählen mit jeweiligen Kraglängen b , sowie bei Stegen mit Höhe $h = b$ sowie $\sigma_{dzul} - (b/t)$ -Diagrammen mit dem Sicherheitsfaktor nach Engesser.

$$\nu_k = \omega \cdot \bar{\sigma}_k / \sigma_{zul}$$

berechnet werden können; (hierzu liegen zurzeit schon einige brauchbare Vorschläge bereit). – Zuletzt noch sind für die Kipp-Stabilität von biegebeanspruchten Al-Stäben Kriterien

Tabelle 6. Zulässige Spannungen in kp/cm² für MIG-geschweisste Verbindungen

Zeile	a Nahtart	b Nahtgüte	c Spannungsart	Grund-(Fügeteil)-Werkstoff/Zusatzwerkstoff					
				Al Zn Mg1 F36/S-Al Mg5		Al Mg4,5 Mn F28 und F30/ S-Al Mg5		Al Mg Si1 F32/S-Al Si5	
				H	HZ	H	HZ	H	HZ
1	Stumpfnah, K-Naht mit Doppelkehlnaht	alle Nahtgüten	Druck und Biegedruck ¹⁾	1300	1450 ²⁾	830	940	870	980 ²⁾
2	K-Stegnaht mit Doppelkehlnaht	Nahtgüte nachgewiesen	Zug und Biegezug ¹⁾	1300	1450 ²⁾	830	940	870	980 ²⁾
3	hV-Naht mit Kehlnaht	Nahtgüte nachgewiesen	Zug	1000	1130	650	730	670	750
4	hV-Stegnaht mit Doppelkehlnaht	alle Nahtgüten und	Biegezug ¹⁾						
5	hV-Stegnaht mit Kehlnaht Kehlnaht alle Nähte		Druck und Biegedruck ¹⁾ Zug und Biegezug ¹⁾ Schub	830	940	540	610	560	630
6	hV-Stegnaht mit Kehlnaht, Kehlnaht		Vergleichs- spannung	1420	1600	830	940	930	1050

¹⁾ Spannungen σ senkrecht zur Nahtrichtung²⁾ $\sigma_{zul} = \sigma_{BW}/1,95$

vorgesehen, die eine Begrenzung des jeweiligen Wertes von M_{max} bei einem vorhandenen $1/i_y$ -Wert vornehmen sollen; vgl. hierzu jedoch auch Gleichung (3).

Teil II der neuen «Richtlinien» zur DIN 4113 (1958) wird sich mit geschweissten Aluminiumkonstruktionen befassen. Die Schweissverbindungen und ihre Berechnung werden analog zur DIN 4100 (Stahlbau) behandelt, doch werden die Fragen der «zusammengesetzten Beanspruchung» sowie des möglichen Systemwandels durch «querschnittsweise» oder «faserweise» Plastizierungen in materialgerechter Weise geklärt werden müssen. Bei einem Teil der «aushärtbaren» Al-Legierungen muss, insbesondere bei Druckstäben, in diesem Zusammenhang der «Aufweichung» (Absenkung der $\sigma_{0,2}$ -Grenze) als Folge des Schweißens Rechnung getragen werden.

Eine erste Zusammenstellung der zulässigen Spannungen (Tabelle 6) für MiG- (oder auch WiG-)geschweisste Verbindungen der drei für das Bauwesen wichtigsten Al-Legierungen: AlZnMg 1, AlMgSi 1 und AlMg 4,5Mn gibt Tabelle 6. Sie zeigt, dass es heute möglich erscheint, schweissgerecht entworfene Konstruktionen planmässig sicher auszuführen. Vorwiegend auf Schub beanspruchte Nähte werden, auch gegenüber längsverlaufenden, die grössere Biegebeanspruchungen erfahren, den Vorzug verdienen, es sei denn, dass bei diesen Längsnähten die durch örtliche Plastizierungen eingeleitete Stützwirkung durch die Nachbarfasern des Materials anhand spezieller Untersuchungen noch nachgewiesen werden kann.

4. Zusammenfassung

Aluminiumkonstruktionen im Bauwesen sind technisch einwandfrei erstellbar, sie sind in besonderen Anwendungsfällen in zunehmendem Masse auch wirtschaftlich. Nach Verabschiedung der hier behandelten neuen «Richtlinien» zur DIN 4113 (1958), welche voraussichtlich im Jahre 1971 erfolgen wird, könnte das Interesse für diese Leichtbauweise sowohl in den Bereichen des Hochbaus, des Industriebaus und des Brückenbaus als auch für Sonderkonstruktionen merklich zunehmen. – Fortschritte sind in den letzten Jahren bezüglich der Bereitstellung neuer Al-Legierungen (z.B. AlZnMg 1), der Berechnungsverfahren und der Verbindungen festzustellen.

Literaturverzeichnis

- [1] a) Steinhardt O.: Dauerfestigkeitsuntersuchungen an stumpfgeschweissten Aluminiumstäben. Haus der Technik Essen, «Techn. Mitteilungen», 62 (1969) H. 9.
- b) Kosteas D.: Methodik der Auswertung von Dauerschwingversuchen. Haus der Technik Essen, «Techn. Mitteilungen», 62 (1969) H. 9.
- [2] Steinhardt O., Kosteas D.: Systematik der Auswertung von Schwingfestigkeitsuntersuchungen an geschweissten Aluminiumproben mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen. Haus der Technik Essen, «Technische Mitteilungen», 63 (1970) H. 11.
- [3] a) Bleicher W.: Aluminium als Werkstoff im Brückenbau. «Aluminium», 32 (1956) H. 8.
- b) Westhaus K.H., Pantel R., Hintz W.: Die erste deutsche Strassenbrücke aus Aluminium. «Aluminium», 32 (1956) H. 8.
- [4] Gönner P.: Geschweisste Fussgänger- und Fahrbahnbrücken aus Aluminium. «Schweissen und Schneiden», 20 (1968) H. 9.
- [5] Steinhardt O.: «Aluminium» 47 (1971), H. 2 ff.

Umschau

Der Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik (SVMT) hat die Schaffung einer Arbeitsgruppe «Umformtechnik» gemäss Ankündigung im Heft 1 dieses Jahrganges, S. 34, beschlossen. Vorgängig des Kolloquiumvortrages von Prof. Panknin versammelten sich am 13. Januar 1971 über 70 Interessenten an einer vertieften Facharbeit im Bereiche Umformtechnik (davon 57 Vertreter aus Industrie und Wirtschaft) zu einer Aussprache über die in einem Fragebogen vorgängig bekanntgegebenen und weiteren, aus dem Teilnehmerkreis stammenden Themen. Die Frage, ob ein ausreichendes Interesse an einer vertieften Facharbeit bestehe, fand ihre Antwort in der überraschend hohen Teilnahme. Ein Drittel der Anwesenden war vornehmlich an den Problemen der Primärumformung (Walzen, Schmieden, Strangpressen, Drahtziehen), zwei Drittel eher an der Sekundärumformung (Blechumformung, Teilefertigung, Feintechnik) interessiert. Hinsichtlich der Form der Tätigkeit neigte die Hälfte der Teilnehmer eher zum Erfahrungsaustausch und zur Pflege des persönlichen Kontaktes, die andere eher zur Stellungnahme zu konkreten fachlichen Aufgaben. Die Versammlung beschloss, einen