

Probleme der Kaltverfestigung im Stahleichtbau

Autor(en): **Marx, S. / Goeben, H.E. / Schröder, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **8 (1968)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-8759>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Probleme der Kaltverfestigung im Stahlleichtbau

Problems of Cold-Forming in Light-Gage Steel Structures

Problèmes du durcissement à froid dans la construction légère en acier

Dr.-Ing. S. MARX, Dipl.-Ing. H. E. GOEBEN,
Dipl.-Ing. H. SCHRÖDER, Dipl.-Ing. G. RICHTER,
Dipl.-Ing. W. BADER
DDR

1. Einleitung

Für einige Tragwerke des konstruktiven Ingenieurwesens aus Baustahl werden im Trend zum Leichtbau immer mehr faltwerk- und schalenartige Stab- und Flächenelemente als kaltgewalzte Profile verwendet. Gegenüber den warmgewalzten Profilen haben sie durch eine bessere Möglichkeit der Optimierung im Querschnitt einen hohen wirtschaftlichen Effekt. Infolge der zweiten walztechnischen Verarbeitungsstufe (Band-Profil) sind sie jedoch teurer als warmgewalzte Profile.

Durch den Kaltverformungsprozeß entstehen indirekte (nicht-gezielte oder direkte (gezielte) Qualitätsverbesserungen, die zur Steigerung des wirtschaftlichen Effektes der kaltgewalzten Profile unter Ausnutzung der heute verbesserten Eigenschaften von Bandstahl mit Verfestigungseffekten ohne zusätzliche metallurgische Forderungen genutzt werden können. Voraussetzung dazu sind die exakte Erfassung der Einflüsse der Verformungsprozesse auf die mechanischen Größen für die Bemessung, deren unterschiedliche Verteilung im Profilquerschnitt und damit die Veränderung des Tragverhaltens bei den einzelnen Belastungsarten oder Belastungskombinationen. Infolge der Veränderung der Verhältnisse zwischen den einzelnen mechanischen Größen und der Alterungserscheinungen sind gesonderte Sicherheitsbetrachtungen erforderlich.

Der Abfassung einer allgemeingültigen Bemessungsvorschrift zur Berücksichtigung der Kaltverfestigung müssen eingehende

statistische und experimentelle Versuche vorausgehen. Winter und Karren [1], [2] entwickelten aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen allgemeingültige Bemessungsregeln. Sie bauen auf zwei Verfestigungsmodellen und einem – von Buelfinger und Bach als nichtlineares Elastizitätsgesetz bekannten – Potenzansatz für die Verfestigungsfunktion auf, der keine echte rheologische Gleichung sondern nur eine Interpolationsformel der logarithmischen, rheologischen Spannungs-Verformungskurve darstellt. Er hat jedoch gegenüber anderen Ansätzen für die schon komplizierte mathematische Behandlung Vorteile und wurde deshalb auch von Norton und Odqvist in der angewandten Kriechmechanik eingeführt [3]. Durch umfassende Werkstoffprüfungen und statistische Auswertungen muß ein ausreichender Genauigkeitsgrad für den Spannungskoeffizienten und Verfestigungsexponenten erreicht werden.

2. Einfluß auf die mechanischen Größen

Für tragende Konstruktionen aus kaltgewalzten Profilen werden vorrangig U-, Z-, Winkel-, Hut- und Hohlprofile verwendet. Ausgangsmaterial sind Bänder der Güte St 38 u-2 ($\sigma_F = 24 \text{ kp/mm}^2$, $\sigma_B = 38 \text{ kp/mm}^2$, $\sigma_5 = 24 \%$) und St 35 u bzw. St 35 hb ($\sigma_F = 24 \text{ kp/mm}^2$, $\sigma_B = 35 \text{ kp/mm}^2$, $\sigma_5 = 25 \%$). Die Fertigung erfolgt in ein oder zwei Stufen mit jeweils mehreren Profilwalzgerüsten. Bei Hohlprofilen wird zunächst ein offenes Rundrohr hergestellt, das längs verschweißt und durch weitere Walzgerüste zum Endquerschnitt verformt wird.

Zur Ermittlung der Kaltverfestigung wurden Profile nach natürlicher Alterung von 2 Monaten in Streifen zerschnitten bzw. als Gesamtquerschnitt unter Zug- und Druckbelastung geprüft. Die wesentlichen Ergebnisse nach [4], [5], [6] sind:

Das Kaltwalzen führt zu stark veränderten mechanischen Gütewerten über den Querschnitt. Die Höhe der Kaltverfestigung ist von der Größe, Form und den Biegeradien der Profile und der Anzahl der Verformungsstufen abhängig. Charakteristisch ist bei offenen Profilen das Ansteigen der Festigkeitswerte an den freien Schenkeln, während in Stegen unbedeutende Veränderungen erfolgen. In den mittleren Bereichen der Stege von Profilen mit Steghöhen größer als 65 mm ist keine Kaltverfestigung vor-

handen. Abb. 1 zeigt die typischen Veränderungen der Festigkeitswerte bei einem U-Profil. Die $\sigma_{0,2}$ -Dehngrenze steigt am stärksten an, während die Zugfestigkeit geringfügig angehoben wird. Die Bruchdehnung fällt nicht unter $\delta_{10} = 10\%$ ab.

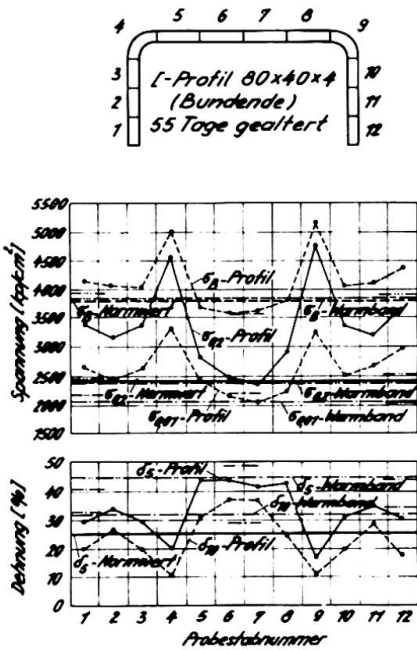


Abb. 1

Die größte Kaltverfestigung bei gleichmäßigerer Verteilung über den Querschnitt tritt bei Kastenprofilen auf. Die günstigen Werte werden darauf zurückgeführt, daß die Kaltverformung den ganzen Querschnitt erfaßt und in Querrichtung eingetragen wird.

In Abb. 2 werden die Spannungs-Dehnungs-Linien im unteren Verformungsbereich von herausgeschnittenen Zugproben eines U-Profiles 100x50x3 (Kurve 1a - Stegmitte, 1b - Schenkelrand, 1c - Ecke), eines Rohres 48,3x3 (Kurve 2) und eines Kastenprofiles 88x45x3 (Kurve 3a - Seitenmitte, 3b - Ecke) gegenübergestellt.

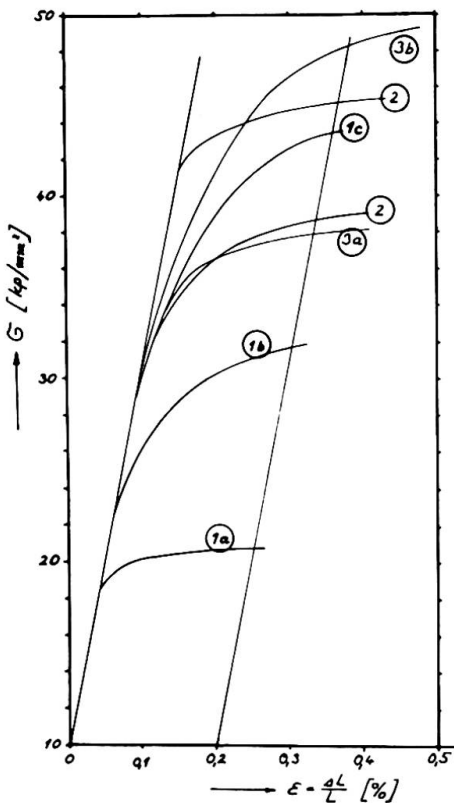


Abb. 2

Der Einfluß der Beanspruchungsrichtung auf die Festigkeitswerte (Bauschinger-Effekt) ist unbedeutend. Abb. 3 zeigt den Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Kurven verschiedener Proben bei Zug- und Druckbelastung. Bei Gesamtquerschnittsproben von Hohlprofilen verursachen die durch das Kaltwalzen entstandenen Eigenspannungen ein zeitigeres Auftreten plastischer Verformungen als bei den herausgeschnittenen Einzelproben, wo nach Abb. 2 und 3 mit dem Grad der Kaltverformung auch ein Anstieg der technischen Elastizitätsgrenze im allgemeinen festgestellt wird.

Die absolute Höhe der Festigkeitswerte ist teilweise beträchtlich von der Ausgangsfestigkeit des Bandmaterials abhängig.

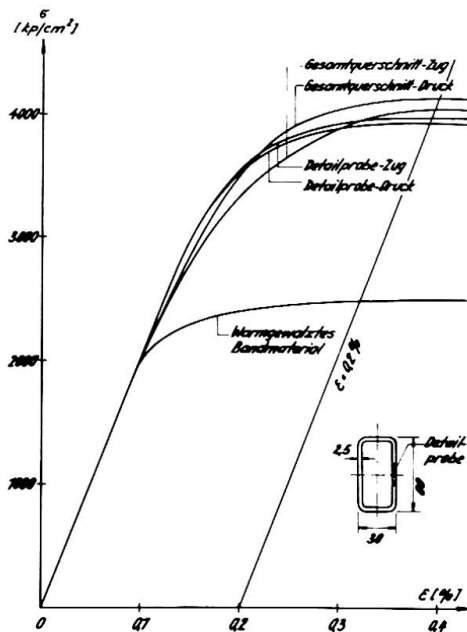


Abb. 3

gehoben. Typisch ist das Wiederauftreten einer wieder ausgeprägteren Fließgrenze. Teilweise wurde ein geringes Absinken der Zugfestigkeit gegenüber dem unverzinkten Material beobachtet.

3. Einfluß der Verformungstechnologie

Jede Art von Kaltverformung, wie Recken, Biegen, Ziehen, verändert die Festigkeitseigenschaften von Stahl. Die Höhe der Festigkeitszunahme ist in gewissen Grenzen durch die Profilform und das Verformungsverfahren beeinflussbar. Beim Kaltwalzen sind die wesentlichen Parameter Biegewinkel, Seiten- oder Hilfsrollen, die Anzahl (z. B. 6 oder 3) und der Abstand der Profiliergerüste und die Anzahl der Profilierstufen die das Band nacheinander durchläuft.

Untersuchungen an U-Profilen 63x50x3 aus Warmbandgüte St 38 u-2 ergaben, daß bei 3 Gerüsten die Verfestigung in den abstehenden Schenkeln geringfügig gleichmäßiger, während sie bei 6 Gerüsten in den abstehenden Schenkeln nur an den Rändern ansteigt. Ein wesentlicher Unterschied ($\leq 6\%$) für den Gesamtquerschnitt ist jedoch nicht zu erkennen. In beiden Fällen sind die Ver-

Als Ursachen sind die unterschiedliche Abkühlung des warmgewalzten Bandes (gegebenenfalls Wärmebehandlung - Abb. 2 normalisiertes und Abb. 3 nicht normalisiertes Band), ein Walzen mit Kaltstich, das Wickeln der Bänder zu Bunden und die Stahlzusammensetzung zu nennen. In der Regel liegen die Festigkeitswerte der Proben vom Bundanfang geringfügig über den Werten vom Bundende.

Durch Verzinken von kaltgewalzten Profilen (Zinkbad 460 °C, Haltezeit 2-5 Min.) werden die technische Elastizitätsgrenze und Fließgrenze im Sinne einer künstlichen Alterung an-

festigungen in den Schenkeln größer als im Steg.

Als Haupteinflüsse für die Kaltverfestigung in den ebenen Schenkeln der Profile werden angesehen: Infolge Querkontraktion treten in den exzentrisch liegenden Biegezonen Kräfte auf, die zu plastischen Verformungen in den außenliegenden Teilen der Schenkel führen, weil durch die Walzgerüste eine gerade Stabachse erzwungen wird. Wegen der schrittweisen Verformung von Walzgerüst

zu Walzgerüst werden die freien Schenkel mehrfach hin- und zurückgebogen, was plastische Verformungen infolge Biege- und Axialbeanspruchung zur Folge hat. Der Einfluß der Walzendrücke ist unbedeutend, da diese zur Vermeidung eines hohen Walzenverschleißes im allgemeinen gering gehalten werden.

Ein Einfluß weiterer Profilierparameter – bis auf die Anzahl der Stufen (z. B. Hohlkasten) – wurde nicht festgestellt.

Zur Erhöhung der Gesamtverfestigung im Profilquerschnitt wurden im Hinblick auf eine gezielte ¹⁾ Kaltverfestigung für den Profiliervorgang zwei weitere Umformstufen – Sicken und Glätten – vorgeschaltet (Abb. 4 b, 4 c). Der Einfluß unterschiedlicher Sickenformen wurde an zwei Varianten untersucht (Abb. 5 mit 4 b und Abb. 6 mit 4 c).

Bei Verwendung des vorverfestigten Ausgangsbandes für das U-Profil wurde eine mittlere Streckgrenzen-

erhöhung des Gesamtquerschnittes von ca. 38 % (6 Gerüste) bis ca. 45 % (3 Gerüste) und ein mittlerer Anstieg der Zugfestigkeit von ca. 12 bis 18 % erreicht (Abb. 7 mit 5 und Abb. 8 mit 6).

1) ähnliche Versuche sind von der Hoesch AG und aus der VR Ungarn bekannt geworden.

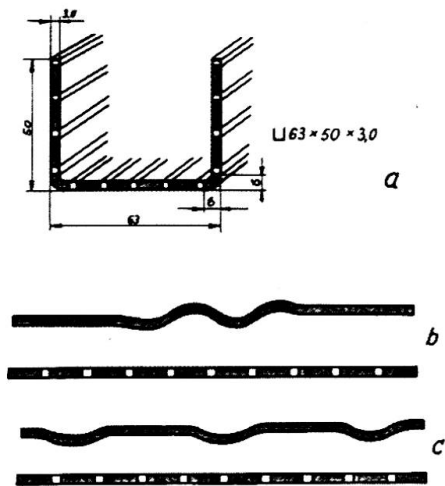


Abb. 4

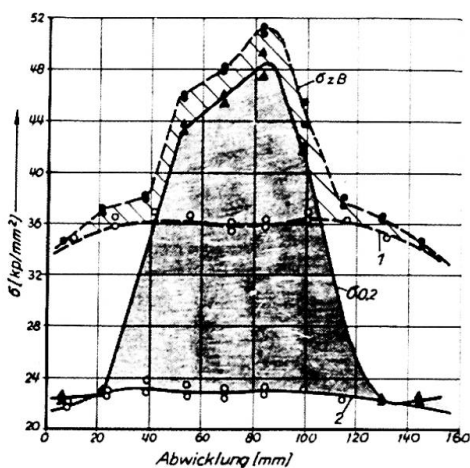


Abb. 5

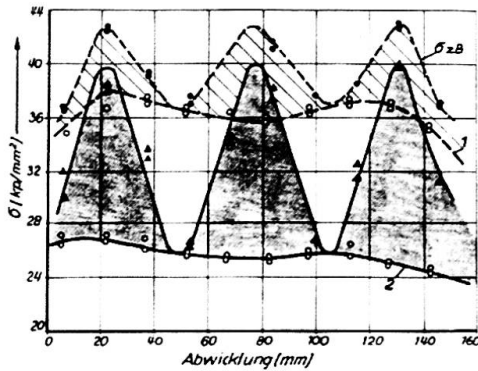
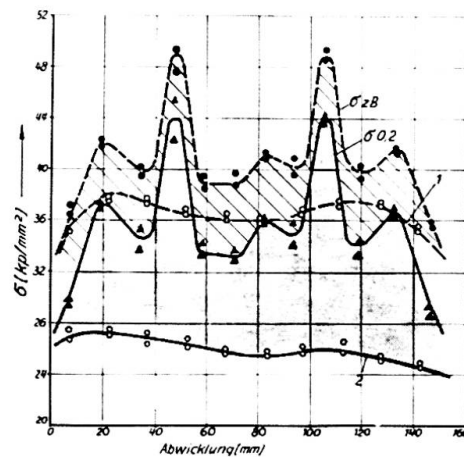
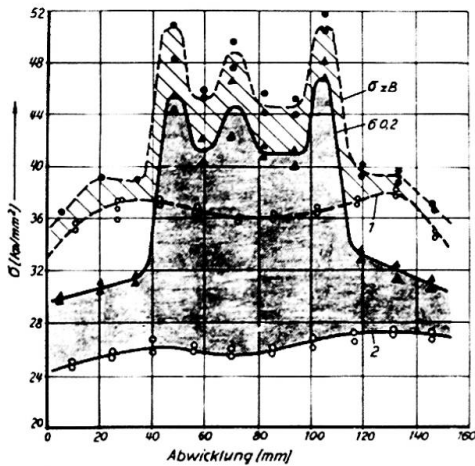


Abb. 6

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß vor allem die Festigkeit der inneren ebenen Teile des Profiles im Vergleich zu Abb. 1 wesentlich erhöht werden kann.

Durch die Unterteilung der Sickenprofilierrollen ist ein Aufbau nach dem Baukastensystem und damit eine weitgehende Anpassung an alle vorkommenden Stahlleichtprofile möglich.



4. Theoretische Ermittlung der Kaltverfestigung

Für den als Kaltverfestigungsfunktion von Karren gewählten Potenzansatz

$$\bar{\sigma}_e = k (\epsilon_e)^n \quad (1)$$

wurden die in Abb. 9 und 10 angegebenen Beziehungen des Spannungskoeffizienten k (2) und Verfestigungsexponenten n (3) zur Fließgrenze $\bar{\sigma}_F \equiv \bar{\sigma}_{0,2}$ und Bruchfestigkeit des Ausgangsbandmaterials aus den als Streuband dargestellten Versuchsergebnissen abgeleitet. Geringe Versuchsergebnisse lagen dabei besonders im Bereich $\bar{\sigma}_B/\bar{\sigma}_{0,2} > 1,6$ vor [1]. Die Mittelwerte aus jeweils 3 an Normzugproben ermittelten Fließkurven für 12 normalisierte Bän-

der der Güten St 38 u-2 (•1,•4,•5,•6), St 35 u (•2) und St 35 hb (•3) bestätigen in diesem Bereich den Streubereich und die lineare Beziehung der Gl. (2) und (3). Da Festigkeits-Querschnittsanalysen von Profilen in den

meisten Fällen an einfachen Flachzugproben durchgeführt werden, sind für das gleiche Bandmaterial aus gleichen Versuchen die nach den Gl. (2) und (3) ermittelten Größen (•1 - 6) angegeben.

Für die Größe der Streckgrenze in dem Krümmungsbereich von Abkantungen kaltgewalzter Profile hat Karren in [1] die Beziehung (4) in Abb. 11 abgeleitet. Mit einigen zusätzlichen Ergebnissen aus den Abb. 9 und 10 wurden die Beziehungen zwischen

$\sigma_{0,2}$ E und dem Verhältnis a/t (Innenradius zur Banddicke) nach Gl.(4) als Kurven eingetragen. Es ergibt sich ein verhältnismäßig grosser Streubereich aus den Größen k und n .

Bei den Verhältnissen $a/t = 1$ sind die Mittelwerte und Streubereiche von je 12 Zugproben aus den Ecken von Kästen 88x45x3 (Band 1) und 63x63x4 (Band 2), bei $a/t = 5,8$ von 48 Zugproben aus Rohren 48,3x3,5 (Band 3) und bei $a/t = 11$ bzw. 12 von 60

bzw. 76 Zugproben aus den flachen Teilen der Kästen eingetragen. Das Verhältnis a/t für die flachen Teile der Kästen entspricht dabei einem dem Umfang der Kästen äquivalenten Rohr. Der Ver-

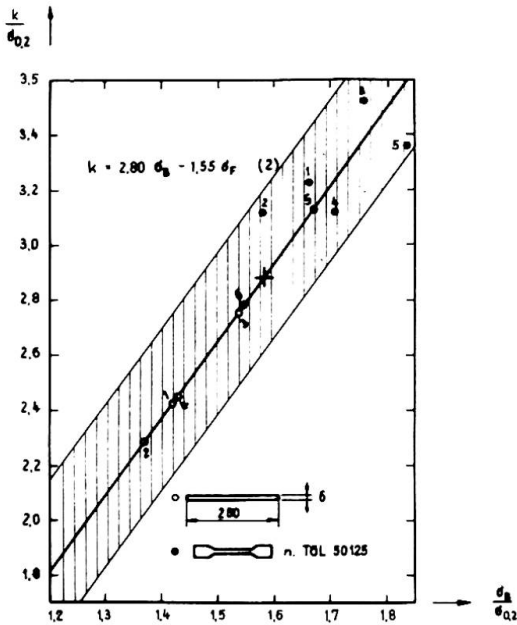


Abb. 9

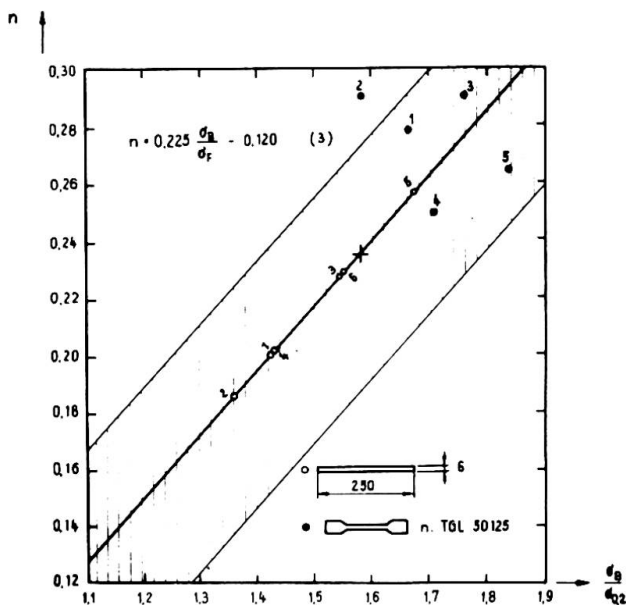


Abb. 10

gleich der theoretischen Kurven mit den Versuchswerten zeigt, daß die theoretischen Werte schon bei Verhältnissen größer als 3 nicht mehr voll die Verfestigung nutzen lassen. Damit ist Gl. (4)

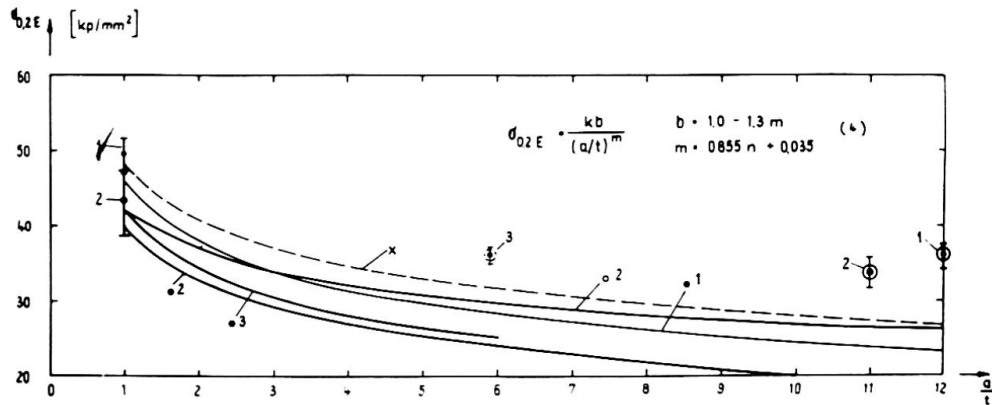


Abb. 11

für geschlossene – über 2 Stufen hergestellte – Profile nicht geeignet. Sie muß theoretisch und empirisch so ergänzt werden, daß sie sich mit $a/t \rightarrow \infty$ nicht $\sigma_{0,2} E \rightarrow 0$ sondern $\sigma_{0,2} E \rightarrow \bar{\sigma}_{0,2}$ des Bandmaterials asymptotisch nähert. Dazu kann die Membranstreifentheorie bei physikalischer Nichtlinearität mit genutzt werden [3].

5. Möglichkeiten der Ausnutzung im Profilquerschnitt

Die Frage der höheren Auslastung von kaltgewalzten Profilen steht in engem Zusammenhang mit der Art und Weise der Ermittlung der mechanischen Gütewerte. In [2] wird vorgeschlagen, die Spannungs-Dehnungs-Linie und damit die Streckgrenze ($\bar{\sigma}_{0,2}$ - Grenze) als Mittelwerte der auf die Flächen bezogenen theoretisch oder experimentell ermittelten Einzelfestigigkeiten von Profilstreifen zu berechnen. Gute Übereinstimmung zwischen dem theoretisch ermittelten und dem im axialen Zug- und Biegeversuch an Gesamtquerschnittsproben festgestellten Spannungs-Dehnungs-Verhalten liegt vor, wenn die kaltverfestigten Querschnittsbereiche etwa symmetrisch zu den Schwerachsen in den Hauptbeanspruchungszonen angeordnet sind. Dabei liegen die Versuchsergebnisse bei Biegebeanspruchung etwas höher als bei Zugbeanspruchung. Im übrigen verlaufen die Versuchskurven mit Gesamtquerschnittsproben tiefer, weil zunächst Bereiche mit geringer Kaltverfestigung plastiziert werden und damit keine zentrische Belastung mehr

erfolgt (z. B. U-Profil).

Die o. a. Methode zur Ermittlung der Streckgrenze des Gesamtquerschnittes hat z. Z. noch mehrere Nachteile. Die experimentelle oder theoretische Ermittlung der Einzelfestigkeiten an Streifen des Querschnitts ist sehr aufwendig bzw. entsprechend der Angaben zu Abb. 11 noch nicht für alle Profilarten möglich. Die Prüfung von Gesamtquerschnittsproben erfordert bei Zugbelastung zentrische Einspannmöglichkeiten und bei Druckbelastung einwandfrei ebene Stirnflächen, da sonst wegen außermittiger Lasteintragung der Wert der Fließgrenze verfälscht wird [7]. Die notwendigen Feindehnungsmessungen bedeuten ebenfalls einen erheblichen Aufwand. Legt man die im axialen Zug- oder Druckversuch bestimmte gemittelte Fließgrenze der Bemessung zugrunde, kann bei Belastungen, die die größte Randspannung in Bereichen mit geringer Kaltverfestigung bewirken (z. B. Biegung, zweiachsige Biegung, Biegung mit Axialkraft) die erforderliche Sicherheit unterschritten werden. Richtig wäre deshalb die Festlegung der für die Bemessung maßgebenden Festigkeitswerte in Abhängigkeit von der Art der Beanspruchung eines bestimmten Profils zur Lage der kaltverfestigten Bereiche.

Bei einer allgemeingültigen Festlegung müßte im Bemessungsfall die Sicherheit gegen Fließen, gegen Bruch und der Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Linie in der Nähe der Fließgrenze mit Werten entsprechend etwa den festgestellten niedrigsten Festigkeiten in den Schenkeln von U- und Winkelprofilen bzw. den Stegen von Kastenprofilen berücksichtigt werden. Damit gewinnt die Verformung über mehrere Stufen wie beim Hohlprofil oder entsprechend Bild 4 aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten an Bedeutung, wenn man nicht wie bei Serienprodukten die Kaltverfestigung über beanspruchungsgerechte Traglastversuche nutzen kann.

Knickversuche zeigten, daß bei der Ermittlung der Traglast von der mittleren Fließgrenze des Profilquerschnittes ausgegangen werden kann. Die Tangentenmodulgleichung [2]

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2}{AL^2} \int_A E_t \cdot x^2 dA \quad (5)$$

welche einen ideal geraden Stab und doppelte Querschnittssymmetrie voraussetzt, lieferten hohe Werte. In Abb. 12 sind neben

den Mittelwerten aus ca. 6 Versuchsstücken je Länge (ausgezogene Kurven) rechnerisch ermittelte Werte $\bar{\sigma}_{0,2} \cdot S/\omega$ eingetragen (gestrichelte Kurven). Hierbei ist

$$\bar{\sigma}_{0,2} \cdot S = A^{-1} \int_A \bar{\sigma}_{0,2} \cdot dA \quad (6)$$

die mittlere Fließgrenze, wobei für $\bar{\sigma}_{0,2}$ die Ergebnisse von einzelnen aus dem Profilquerschnitt herausgeschnittenen 6 mm breiten Zugproben (Abb. 2) eingesetzt wurden. (Kurve 1: Kasten 88x45x3 mm aus St 38; Kurve 2: Kasten 63x63x3,5 mm aus St 35; Kurve 3: Rohr 48,3x3,5 mm aus St 35; Kurve 4: U 100x50x3 mm; Kurve 5: Z 125x40x3 mm; Kurve 6: L 63x63x4 mm, alle St 38).

Als ω -Wert (TGL O-4114) wurde ein durch Interpolieren zwischen den Stahlmarken St 52 und St 38 gefundener ω -Wert genommen. Die Profilproben waren um die kleine Hauptträgheitsachse gelenkig gelagert und rechtwinklig hierzu voll eingespannt.

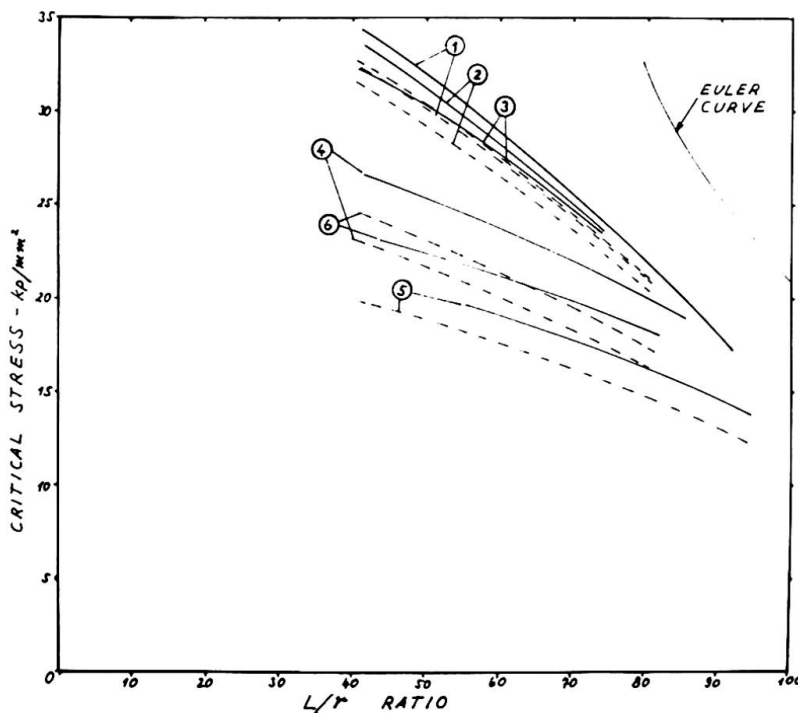


Abb. 12

In allen Fällen lag reine Biegeknicke vor, also kein Biegedrill- oder Drillknicken. Bei Hohlprofilen als Rohr oder als Kasten über die Vorstufe als Rohrgewalzt, liegt die kritische Spannung infolge der größeren Streckgrenzenerhöhung in den flachen Teilen (s. Abb. 12)

in der Nähe des

St 52, während bei offenen Profilen nur eine geringe Erhöhung gegenüber der des St 38 zu erkennen ist. Bei der Kurve 6 erfolgte eine Abminderung der mittleren Fließgrenze infolge Beuleinfluß. Liegen die verfestigten Zonen vorwiegend in der Nähe der neutralen Achse, liefert die Kurve $\bar{\sigma}_{0,2} \cdot S/\omega$ zu hohe Werte.

Bei Anordnung der Tangentenmodulgleichung ist unbedingt ein vom Schlankheitsgrad L/r abhängiger Sicherheitsfaktor wie bei der Absicherung nach der Engesserkurve (TGL O-4114) zu verwenden.

6. Schweißeinfluß

Für Schweißverbindungen an kaltgewalzten Profilen des Stahlleichtbaues sind besonders Kenntnisse über das Tragverhalten stumpfgeschweißter- und in Knoten eingeschweißter Stäbe bei statischer und dynamischer Belastung von Bedeutung. Dazu sind in der Arbeit [8] Versuche durchgeführt worden.

Als Stäbe wurden die aus längsnahtgeschweißten Rohren hergestellten Kastenprofile 40x40x3 und 60x30x2,5 ohne und mit einer einseitigen CO_2 -Stumpfnahht geprüft.

Für statische Beanspruchung auf Zug sind aus Querschnittsanalysen nach Abb. 1 die Spannungsergebnisse an Streifen aus den Kastenprofilen mit den Maxima in den Ecken und den Minima in den Flachstreifen nach dem Vorschlag von Winter gemittelt worden [2]. Die Werte sind in der Tafel 1 unter Nr. 1.1 angegeben.

Bei dynamischer Beanspruchung auf Biegung wurden die Kastenprofile mit einer Spannweite von 1300 mm mittels Umwuchtschwingern bei einem Verhältnis Unter- zu Oberspannung von $\alpha = -0,75$ geprüft. Aus jeweils 12 Proben wurden die Wöhlerlinien entwickelt, deren σ_D -Werte in der Tafel 1 unter Nr. 1.2 eingetragen sind. Der 6 %-Abfall beim Profil ohne Quernaht gegenüber dem Warmband ist zurückzuführen auf die größere Höhe des Profils, gegebenenfalls auch auf Kerbeeinflüsse der Längsnaht, die in der Zone der höchsten Beanspruchung gelegt war.

Als Fachwerkknoten sind K-förmige Knoten aus verschiedenen Profilen und in unterschiedlicher Gestaltung geprüft worden. Der bisher beste Wert ist mit früheren Ergebnissen an Knoten gleichen Systems, mit Rohren auch als Untergurt, verglichen (Tafel 2). Ähnlich wie bei den Rohrkonstruktionen ist die Tragfähigkeit eines Fachwerkes aus Leichtprofilen sehr von der Gestaltung abhängig. Als Kriterium dient dabei die Festigkeit der Zugdiagonalen bzw. ihres Anschlusses. Der Grundwerkstoff der Zugdiagonalen hatte eine Streckgrenze von 38 kp/mm^2 [8].

Tafel 1

Nr.	Beanspruchung [kp/mm ²]	Warmband St 35 hb	Kaltverfestigte Kastenprofile	
			ohne Quernaht	mit Stumpfnaht
1.1	$\sigma_{S 0,2}$	25,5	42,1 (+ 65 %)	39,2 (+ 53 %)
	σ_B	37,5	45,9 (+ 22 %)	48,0 (+ 27 %)
1.2	$\sigma_{w-0,75}$	± 16,0	± 15,0 (- 6 %)	± 7,0 (- 56 %)

Für statische Beanspruchung sind die Ergebnisse in Tafel 2 unter Nr. 2.1 angegeben. Die Brüche gingen jeweils von der Schweißnaht der Zugdiagonalen aus, bis auf den Wert 42 kp/mm² in dem Versuch, bei dem die Zugdiagonale im Grundwerkstoff brach.

Bei dynamischer Beanspruchung ergab sich der in Tafel 2 unter Nr. 2.1 eingetragene Bestwert aus 3 unterschiedlichen Gestaltungen aus dem Wöhler-Versuch mit 5 Proben. Da der Bruch auch hier stets von der Anschlußnaht der Zugdiagonalen ausging, werden jetzt Schweißversuche mit einem Zusatzwerkstoff höherer Qualität vorbereitet, um zu überprüfen ob bei diesen Verbindungen die Kerbwirkung dominiert und die Kaltverfestigung der Stäbe wegen der schlechten Anschlußwerte keinen Nutzen bringt.

Tafel 2

Nr.	Beanspruchung [kp/mm ²]	Rohrkonstruktion (mit Anpassung)	Leichtprofil- knoten
2.1	σ_B	34 - 42	33,5
2.2	$\sigma_{sch + 0,2}$	7 - 8	8,0

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Schweißverbindung die Festigkeitserhöhung bei kaltgewalzten Stäben unter statischer Beanspruchung nicht aufhebt, während die Erhöhung unter dynamischer Beanspruchung im Bereich der Wechselfestigkeit unwirksam wird. Offen bleibt der Einfluß des geringen Abfalles der $\sigma_{0,2}$ -Grenze bei der Bemessung von Knickstäben und der Einfluß der Kaltverfestigung auf die Tragfähigkeit im Schwellbereich.

7. Literaturhinweise

- [1] Karren, K. W.: „Corner Properties of Cold-Formed Shapes" Proc. A.S.C.E. Vol. 93, No St 1, 1967
- [2] Karren, K. W. and Winter, G.: „Effects of Cold-Forming on Light-Gage Steel Members" Proc. A.S.C.E. Vo. 93, No St 1, 1967, S. 433
- [3] Marx, S.: „Ein Beitrag zur Beurteilung des Kriechverhaltens einer biegsamen dünnen Rechteckplatte aus Metall" Diss. H.f.V. Dresden, 1967
- [4] Goeben, H.-E. und Loos, W.: „Kaltverfestigung in Stahlleichtprofilen des VEB Walzwerk Finow, Wiss. Zeitsch. d. HfB Leipzig 1967/H. 3, S. 187
- [5] Schröder, H.: „Einfluß der Kaltverfestigung auf die Knickstabilität kaltgeformter Stahlprofile" F.u.E.-Bericht des IfL Dresden 1967
- [6] Marx, S. und Berger, P.: „Kaltverfestigte Stähle I" F.u.E.-Bericht des ISL Leipzig, 1968
- [7] Handbuch für die Berechnung von Bauteilen aus kaltgewalztem dünnwandigem Stahlblech. Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf 1964
- [8] Bader, W.: „Einfluß des Schweißens auf das Tragverhalten kaltverfestigter Profile" F.u.E.-Bericht des ZIS Halle, 1967
- [9] Richter, G.: „Kaltverfestigung von Stahlleichtprofilen" F.u.E.-Bericht des ZIF Karl-Marx-Stadt 1967 im Auftrag des VEB Walzwerkes Finow.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Beitrag werden in Ergänzung zu den Veröffentlichungen [1], [2] und [7] als Ergebnis der von den Verfassern durchgeführten Untersuchungen [4-6], [8-9] die theoretischen, technologischen und experimentellen Einflüsse auf die Berücksichtigung der Verfestigung von kaltgewalzten Profilen bei der Bemessung von Stahlleichtkonstruktionen beschrieben. Es werden dabei Vorschläge für die weitere Behandlung des Problemes Kaltverfestigung zur Aufbereitung einer allgemeingültigen Bemessungsvorschrift aufgezeigt. Durch spezielle Walztechnologien ist ein hoher Nutzungsgrad der Verfestigung möglich.

SUMMARY

In completion of the publications [1], [2] and [7] as the result of the conducted investigations [4-6], [8-9] the theoretical, technological and experimental influences on the consideration of the strengthening of cold-rolled sections at dimensioning of light-gauge steel constructions are described in the article. Thereby proposals are made for the further discussion of the problem „strain-hardening“ for the statement of a universal proportioning specification. By means of special rolling technologies a high call fill of strengthening is possible.

RÉSUMÉ

Dans l'article qui représente le supplément des publications [1], [2] et [7], sont décrites, en tant que résultats des études [4-6] et [8-9] effectuées par les auteurs, les influences théoriques, technologiques et expérimentelles sur la prise en considération du durcissement des profilés laminés à froid lors du dimensionnement des constructions métalliques légères. En outre, des problèmes sont faites pour le traitement ultérieur du problème „durcissement à froid“ pour l'élaboration d'une directive de dimensionnement de valeur universelle. Des technologies de laminage spéciales permettent un haut degré d'utilisation du durcissement.