

bare Verbesserung nimmt wegen des Tiefpaßcharakters der benutzten Systeme mit steigender Frequenz ab [15].

Bild 16.2. zeigt für den Regelkreis, der dem hinteren Pflugkörper zugeordnet ist, die spektrale Dichte der Regelabweichung für zwei verschiedene Werte der Totzone. Man sieht, daß der Leistungspegel der Regelabweichung mit der Totzone abnimmt. Wenn die den beiden Regelkreisen entsprechenden spektralen Dichten der Regelabweichung der Beziehung $\Phi_{x_{wv}} \approx \Phi_{x_{wh}}$ genügen sollen, dann muß für die effektiven Totzonen die Ungleichung $2\epsilon/CK_{vh} < 2\epsilon/CK_{vv}$ erfüllt sein. Beim untersuchten System ist $\Phi_{x_{wv}} \approx \Phi_{x_{wh}}$ für $2\epsilon/CK_{vh} = 1$ cm und $2\epsilon/CK_{vv} = 3$ cm.

* * *

Anbaupflüge mit großen Abmessungen, die mit dem beschriebenen System zur Zwei-Größen-Tiefenregelung ausgerüstet sind, haben ein wesentlich besseres Regelverhalten als Pflüge mit herkömmlichen Regelungs-Systemen. Eine Untersuchung zeigte, daß dies sowohl für sprungförmige als auch für regellose Störungen gilt. Bei regellosen Störungen beträgt die Verbesserung der Tiefenhaltung des hinteren Pflugkörpers eines vierscharigen Anbaupfluges – bei einem System zur Zwei-Größen-Regelung gegenüber einem solchen zur Ein-Größen-Regelung – etwa 60%, wenn man beim Bewerten den Betragsmittelwert der Regelabweichung als Kriterium benutzt. Die Dynamik der Regelungs-systeme reichte für die bei den Feldversuchen gewählten Fahrgeschwindigkeiten aus; diese müßte jedoch noch verbessert werden, wenn man auch bei höheren Fahrgeschwindigkeiten eine befriedigende Regelgüte erreichen will.

Bei Anbaupflügen mit großen Abmessungen muß vor allem eine Verbesserung der Tiefenführung der hinteren Pflugkörper angestrebt werden. Bei Aufsattelpflügen hingegen ist das Erreichen

einer optimalen Triebachslasterhöhung – die ein Anbaupflug ohnehin bewirkt – besonders wichtig. Deshalb werden gegenwärtig im Institut für landtechnische Grundlagenforschung Systeme untersucht, die dazu dienen, bei Aufsattelpflügen eine optimale Triebachslasterhöhung zu erreichen [16; 17].

Schrifttum

- [10] *Skalweit, H.*: Über die Kräfte am Dreipunktanbau bei regelnden Krafthebern auf Grund von Feldmessungen mit Pflügen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 14 (1964) Nr. 20, S. 53/57.
- [11] *Kuczewski, J.*: Meßgeräte und Verfahren zum Beurteilen der Gleichmäßigkeit der Furchentiefe beim Pflügen ohne und mit Kraftheberregelung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 21 (1971) Nr. 2, S. 45/49.
- [12] *Giloi, W., u. R. Lauber*: Analogrechner. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1963.
- [13] *Wendeborn, J.O.*: Ein Beitrag zur Verbesserung des Fahrkomforts auf Ackerschleppern. *Fortschr.-Ber. VDI-Z.* Reihe 14 Nr. 8. Düsseldorf: VDI-Verlag 1968.
- [14] *Braun, H.*: Untersuchungen von Fahrbahnunebenheiten und Anwendung der Ergebnisse. Diss. TH Braunschweig 1969.
- [15] *Özemir, Y., u. R. Möller*: Ermittlung des dynamischen Verhaltens eines nichtlinearen elektrohydraulischen Regelungs-systems. *Grundl. Landtechnik* Bd. 19 (1969) Nr. 6, S. 197/201.
- [16] *Hesse, H., u. R. Möller*: Möglichkeiten der Triebachslasterhöhung bei Ackerschleppern. *Grundl. Landtechnik* Bd. 19 (1969) Nr. 4, S. 119/22.
- [17] *Hesse, H., u. R. Möller*: Untersuchung eines Servoventils für Druck- oder Kraftregelung. *ölydraulik u. pneumatik* Bd. 15 (1971) Nr. 3, S. 104/07. L 155b

Beitrag zur Konstruktion eines T-förmigen Anschlusses eines Rundrohres an ein Rechteckrohr mit Torsionsbelastung

Von Gerhard Vellguth, Braunschweig-Völkenrode*)

DK 531.232:539.414.014.1:629.118.7.011.38:631.3

Torsionsbeanspruchte Teile von Landmaschinen und Fahrzeugen fertigt man oft aus Rohrprofilen. Dabei kann ein T-förmiger Anschluß eines runden Rohres an ein rechteckiges Rohr erforderlich sein. Eine torsions- und biegesteife Verbindung erhält man, wenn das runde Rohr durch die Seitenwände des Kastenprofils hindurchgeführt und dort angeschweißt wird. Experimentelle Spannungsanalysen ergaben, daß man die kreisförmigen Ausschnitte in den Seitenwänden innerhalb des Querrohres nicht mit „Ronden“ oder besonderen Formkörpern auszufüllen braucht.

Beim Bau vieler Landmaschinen verwendet man Rohrprofile und Rohrrahmen, so z.B. für die Schwingen von Frontladern (um bei unsymmetrischer Last oder schiefer Stellung des Laders ein Verkippen der Schwingenlager zu vermeiden und um den Gleichlauf der Hydraulikzylinder zu unterstützen) oder für die Rahmen angehängter oder aufgesattelter Werkzeuge. Verwindungssteife Rohrrahmen bieten auch bei selbstfahrenden Landmaschinen und bei den landwirtschaftlichen Anhängern, die mit Arbeitsorganen ausgerüstet sind (z.B. Dungstreuern, Pickup, Rollboden) Vorteile, weil sie verhindern, daß sich Lager und Führungen dieser Arbeitsgeräte verklebmen.

Geschlossene Aufbauten von Möbel-, Sanitäts-, Funk-, Konferenz-, Ausstellungs-, Kühl- und Tankwagen kann man durch solche Rahmen von Verwindungskräften entlasten, und das Absetzen und Aufnehmen von Wechselaufbauten auf unebenen Standflächen erleichtern.

1. Aufgabenstellung

Die Rohrrahmen stellt man vielfach aus Rechteckrohr-Längsträgern und Rundrohr-Querträgern her. Das Rechteck-Rohrprofil wird dabei bisher meist aus zwei gepreßten oder kaltgewalzten U-Profilen durch Längsnahtschweißung gebildet. Solche Rohre gestatten es, den Querschnitt, z.B. über dem Drehschemel von Anhängern, zu verjüngen oder ihn in Gebieten erhöhter Belastungen zu vergrößern.

*) Dipl.-Ing. Gerhard Vellguth ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Da in letzter Zeit auch gewalzte Rechteck-Rohrprofile zu vergleichbaren Preisen angeboten werden und bei ihnen die nachträglichen Kosten für die Längsschweißnähte fortfallen, wird das Herstellen von Rohrrahmen aus Trägern gleichbleibenden Querschnitts wirtschaftlicher, und man wird sie in Zukunft häufiger verwenden.

Die Berechnung solcher Rahmen ist möglich und kann durch Benutzung der vorhandenen Rechenprogramme für elektronische Datenverarbeitung (z.B. STRESS) erleichtert werden. Die errechneten Steifigkeits- und Beanspruchungswerte und eine ausreichende Haltbarkeit lassen sich jedoch nur erreichen, wenn die konstruktive Ausbildung die Voraussetzungen der Rechnung erfüllt, d.h. vor allem, wenn die Anschlüsse der Querträger an die Längsträger ausreichend biege- und verdrehungsfest sind, um ohne Spannungsspitzen die auftretenden Kräfte und Momente übertragen zu können.

Dies bedeutet, daß ein einfacher Anschluß nach Bild 1 nicht ausreicht. Wie das Bild zeigt, kann die Wand des Längsträgers beim Auftreten von Biegemomenten im Querträgerrohr bzw. Torsionsmomenten im Längsträgerrohr die Kräfte nicht aufnehmen. Die Wand hat nahezu die Eigenschaften einer Membran, d.h., sie ist empfindlich gegen senkrecht auf ihre Fläche einwirkende Kräfte.

Der Anschluß wird dagegen biege- und torsionssteif, wenn man das Querrohr durch das Rechteckrohr hindurchsteckt und auch am gegenüberliegenden Steg befestigt. Dafür muß das Rechteckrohr ausgeschnitten werden, so daß nach Bild 2 an der Stelle der Rohrdurchführung aus dem geschlossenen Querschnitt zwei offene U-Profile entstehen. Der bei Torsion im geschlossenen Rohr vorhandene Schubfluß ist dann jedoch unterbrochen und eine Voraussetzung der Berechnung – nämlich ein torsionssteifer Rohrquerschnitt – ist nicht mehr erfüllt. Das Torsionsträgheitsmoment vermindert sich durch den Ausschnitt auf ein Hundertstel bis ein Tausendstel.

Es liegt nun nahe, den Querschnitt nach dem Durchstecken des Querrohres durch Einschweißen von Ronden wieder zu schließen, wie dies schematisch in Bild 3 gezeigt ist. In der Praxis muß der

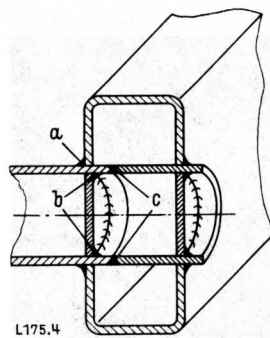


Bild 4. Ausführung für durchgehenden Querträger mit im Bereich des Kastenprofils verschweißtem Rohr.
a, b, c Schweißnähte

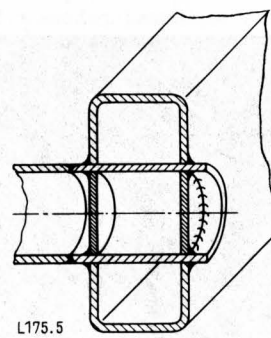


Bild 5. Ausführung für durchgehenden Querträger; Rohr außerhalb des Kastenprofils verschweißt.

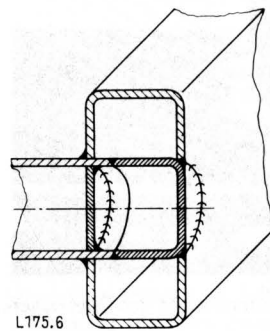


Bild 6. Ausführung mit tiefgezogenem Endstück.

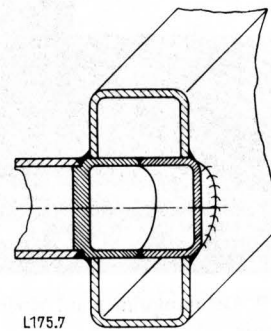


Bild 7. Ausführung mit Formstück.

Anschluß etwas anders ausgebildet werden, weil nur die äußere Seite für eine Schweißung zugänglich ist. Man kann entweder das Querrohr zunächst in eine Wand des Rechteckrohres einführen, bei a in Bild 4 verschweißen, bei b die Ronde einsetzen und darauf ein Stück des gleichen Rohres von der anderen Seite des Rechteckrohres einbringen und mit einer V-Naht die beiden Rohre bei c verbinden; der weitere Arbeitsgang ist dann einfach. Man kann aber auch eine Verbindung nach Bild 5 oder mittels vorgefertigter Teile (Tiefzieh-, Guß- oder Schweißteile), Bild 6 und 7, herstellen. Abgesehen von den höheren Kosten dieser Konstruktionen ist die Anhäufung von Material nachteilig, die ein Verformen des Rohres behindern und dadurch zusätzliche Spannungen hervorrufen kann.

2. Experimentelle Spannungsanalyse

Um nun entscheiden zu können, welche der beiden grundsätzlichen Möglichkeiten – nämlich mit oder ohne eingeschweißte Ronden – besser ist, und um sie mit dem unbeeinflussten Rohr vergleichen zu können, wurden Spannungsanalysen mit Reißlack und mit Feindehnungsgebern ausgeführt, und zwar an zwei Modellen eines T-förmigen Anschlusses und einem Abschnitt eines Längsträgers ohne Anschluß.

Bild 8 zeigt die am unveränderten Träger (Modell 1) bei Torsionsbelastung im Reißlack entstehenden typischen, unter 45° zur Längsachse verlaufenden Dehnungslinien. Auch beim Modell 2 – dem Anschluß mit Querträger ohne eingeschweißte Ronden nach Bild 9 und 10 – und beim Modell 3 – dem Anschluß mit in den Querträgern eingeschweißten Ronden nach Bild 11 und 12 – zeigen sich auf dem Längsträger sowohl an der Außenseite als auch auf der der Rahmenmitte zugewandten Seite Dehnungslinien unter 45°. Auf den in den Bildern nicht sichtbaren Außenseiten ragen die Querträgerrohre nur um etwas mehr als die Schweißnahtdicke vor. Rohr, Ronde und Schweißnähte beeinflussen hier den Verlauf der Linien kaum. Auf der Rahmeninnenseite jedoch, auf der sich der längere Abschnitt des Querträgerrohres als mittragendes Teil des Knotens

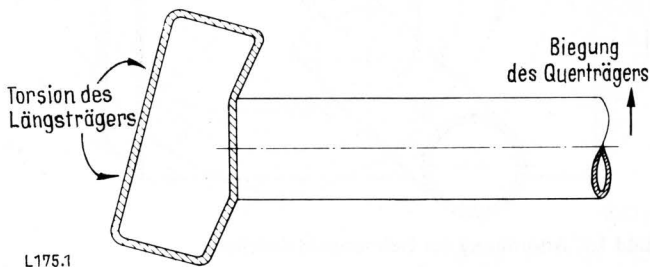


Bild 1. Einfacher Anschluß eines runden Rohrquerträgers an einen rechteckigen Rohrlängsträger mit Beulerscheinungen (übertrieben dargestellt).

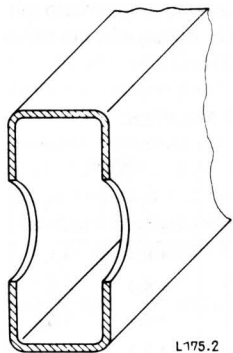


Bild 2. Offenes Profil des Längsträgers nach dem Ausschneiden der Ronden für das Durchstecken des Querträgers.

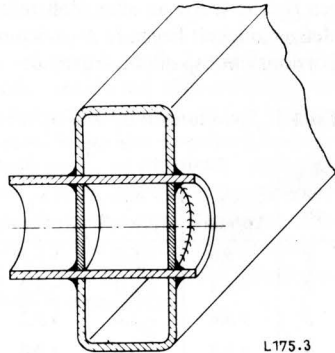


Bild 3. Durch eingeschweißte Ronden wiederhergestellter Rohrquerschnitt (nur möglich für den Zweck der Untersuchung mit Querträgerstumpf).

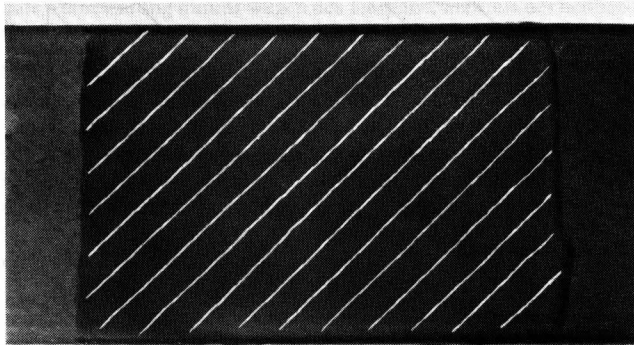


Bild 8. Dehnungslinien auf Modell 1.

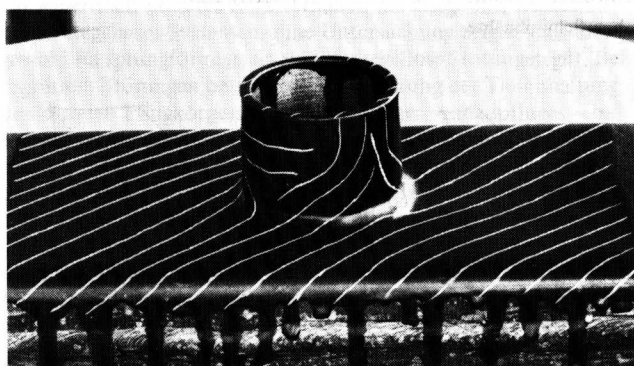


Bild 9. Dehnungslinien auf Modell 2, Seitenansicht des Querträgerstumpfs.

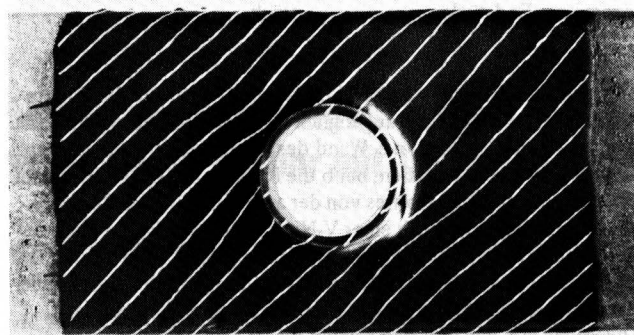


Bild 10. Dehnungslinien auf Modell 2, Draufsicht.

befindet, sind Lackrisse parallel und senkrecht zur Rohrachse zu sehen (Bild 9; 11). Sie kennzeichnen eine Verteilung von Zug- und Druckbeanspruchungen, die eine ovale Verformung des Rohres bewirken, wie bei starker Torsion augenscheinlich beobachtet werden konnte. Zugleich sind die Diagonalrisse auf der Längsträgerwand in der Nähe der Anschlußstelle zum Querrohr hin abgelenkt.

Die Dehnungsmessstellen wurden auf den Längsträgern der Modelle 2 und 3 nach Bild 13 kreisförmig rings um die Querträger, möglichst nahe der Schweißnaht angeordnet; auf Modell 1 – ohne Querträgerrohr – in einem entsprechenden Kreis von 70 mm Dmr. Hier hätten weniger Meßstellen genügt, doch läßt sich so die Genauigkeit des Verfahrens und die Zuverlässigkeit der Messungen abschätzen.

Aus den gefundenen Dehnungswerten ϵ_1 und ϵ_2 in den beiden Hauptrichtungen, d.h. senkrecht und parallel zu den Lackrisen, wurden nach dem Hookeschen Gesetz für den zweiachsigen Spannungszustand die Hauptspannungen

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\epsilon_1 + \mu \epsilon_2) \text{ und}$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\epsilon_2 + \mu \epsilon_1)$$

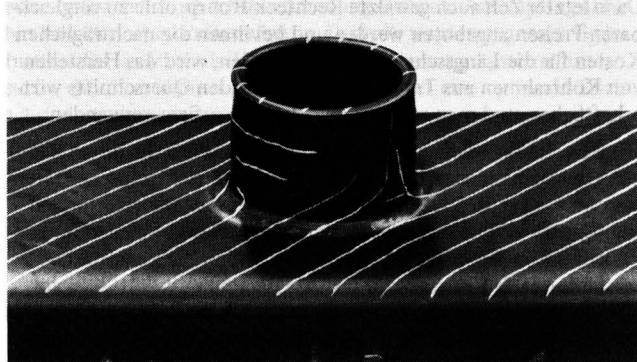


Bild 11. Dehnungslinien auf Modell 3, Seitenansicht des Querträgerstumpfs.

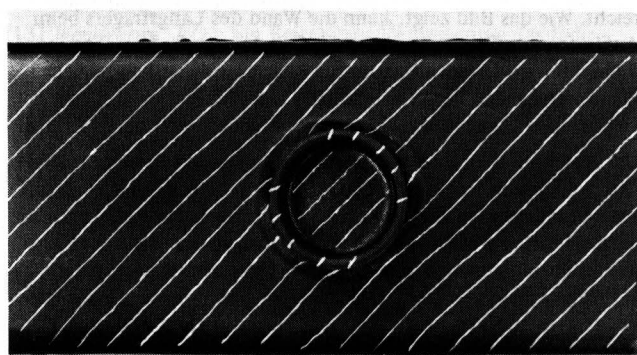
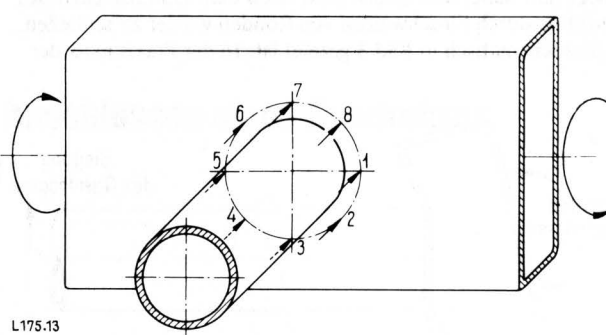


Bild 12. Dehnungslinien auf Modell 3, Draufsicht.



L175-13

Bild 13. Anordnung der Dehnungsmessstellen.

mit dem Elastizitätsmodul E und der Querszahl μ errechnet. Sie sind in der Tafel 1 für die drei Modelle aufgeführt und in den Kreisdiagrammen der Bilder 14 bis 16 dargestellt.

Für das Modell 1 zeigt das Diagramm in den beiden Hauptrichtungen gleiche Werte an allen Meßstellen bis auf kleine, innerhalb der Meßgenauigkeit liegende Abweichungen, d.h. es herrscht ein reiner Torsionsschubspannungszustand.

Tafel 1. Spannungen σ_1 und σ_2 an den drei Modellen.

Meßstelle Nr.	Modell 1		Modell 2		Modell 3	
	σ_1 kp/mm ²	σ_2 kp/mm ²	σ_1 kp/mm ²	σ_2 kp/mm ²	σ_1 kp/mm ²	σ_2 kp/mm ²
1	+5,6	-6,0	+5,6	-5,3	+8,6	-5,7
2	+5,4	-5,4	+3,3	-2,5	+8,9	-1,7
3	+5,6	-5,4	+5,2	-4,9	+6,4	-6,4
4	+6,3	-5,6	+3,4	-1,6	+2,7	-7,5
5	+5,8	-6,0	+5,9	-4,7	+6,9	-5,1
6	+6,0	-6,2	+2,1	-3,5	+6,0	-1,8
7	+6,1	-5,9	+4,8	-5,5	+5,2	-5,0
8	+5,7	-6,0	+3,2	-1,7	+1,7	-6,1

Bild 14. Hauptspannungen σ_1 und σ_2 auf dem Längsträger von Modell 1.

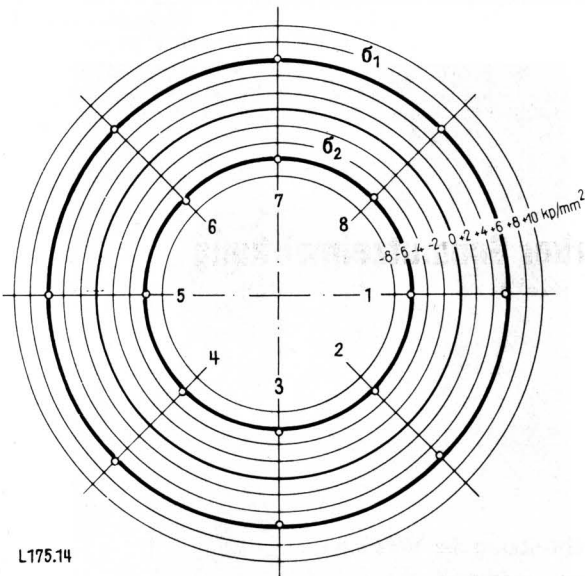


Bild 16. Hauptspannungen σ_1 und σ_2 auf dem Längsträger von Modell 3.

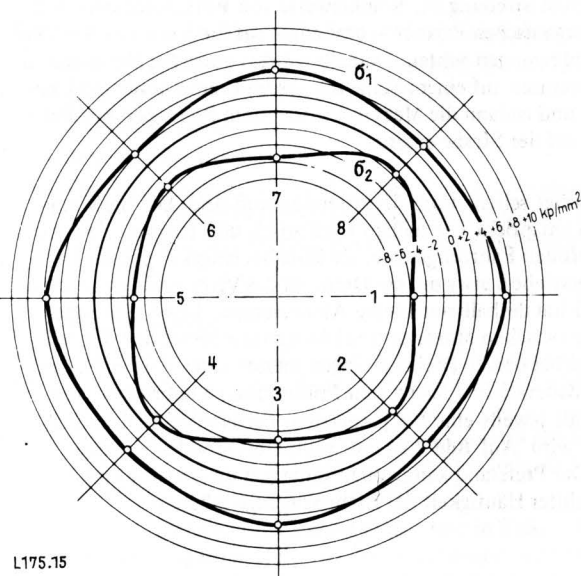
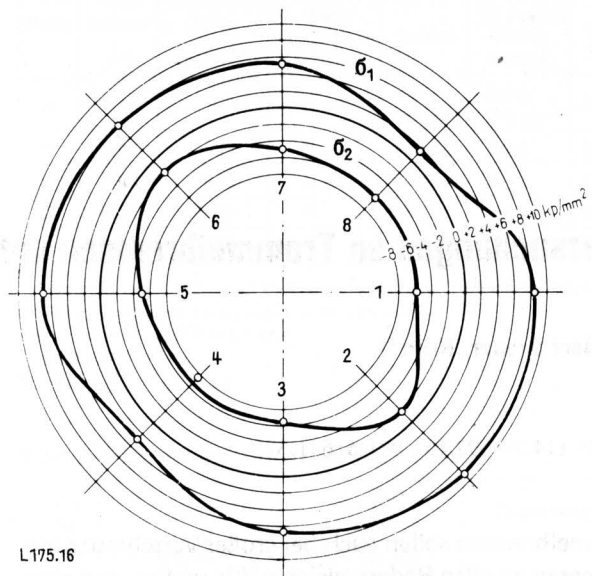


Bild 15. Hauptspannungen σ_1 und σ_2 auf dem Längsträger von Modell 2.

Für die mit dem Querträger versehenen Modelle 2 und 3 ist der Zustand dagegen quadratisch oder annähernd ellipsenförmig verzerrt. Die Ursache hierfür sind Zusatzspannungen aus der Verformungsbehinderung. Die absoluten Werte der Spannungen an Modell 2 liegen dabei dem Ausgangszustand (Modell 1) näher als die an Modell 3. Für einen solchen Längsträger-Querträger-Knotenpunkt mit wechselnden Beanspruchungsrichtungen bedeutet dies, daß die Ausführung nach Modell 2 in bezug auf die Haltbarkeit günstiger ist als nach Modell 3. Sie beeinflußt die Festigkeit des Längsträgers weniger und ist deshalb vorzuziehen.

3. Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse sind auf größere und kleinere Knotenpunkte als die untersuchten übertragbar, so daß sie für die derzeit im Landmaschinenbau und in der Fahrzeugtechnik gebräuchlichen Abmessungen gültig sind. Dabei muß jedoch die Ähnlichkeit der Form gewahrt bleiben, d.h. die Verhältnisse der Abmessungen müssen gleich bleiben. Dies gilt insbesondere für das Verhältnis des Querträgerdurchmessers D zur Längsträgerhöhe H und der Rohrwanddicke s_Q des Querträgers zur Rohrwanddicke s_L des Längsträgers. Bei den untersuchten Modellen war $D/H = 0,4$ und $s_Q/s_L = 1$. Diese Werte brauchen noch nicht das erreichbare Optimum zu sein, sie stellen aber eine gute Lösung dar. Wird von ihnen abgewichen, so müssen die dadurch eintretenden Veränderungen abgeschätzt und entsprechend berücksichtigt werden. Ändert sich z.B. das Verhältnis D/H durch die Wahl eines anderen Querträgerdurchmessers D , so sind die Veränderungen der Steifigkeit am Längsträger und am Querträger nicht proportional. Ein kleineres D , d.h. ein kleinerer Ausschnitt am Längsträger beeinflußt dessen Verhalten nur unwesentlich, es führt aber am Querträgerrohr bei gleicher Wanddicke s_Q zu einer wesentlich höheren radialen Belastbarkeit. Um die gleiche Tragwirkung zu erreichen und Störungen des Verformungsvorgangs zu vermeiden, muß also mit kleinerem D/H auch die Wanddicke s_Q vermindert werden.

4. Zusammenfassung

Es gibt im Landmaschinen- und Fahrzeugbau viele Fälle, in denen man verwindungssteife Rahmen aus rechteckigen Rohrlängsträgern und runden Rohrquerträgern mit Vorteil verwendet. Um eine gute Kraftein- und -überleitung zu bewirken, sollten die Knotenpunkte dieser Rahmen als vollständige Durchdringung ausgeführt werden.

Wie die experimentelle Spannungsanalyse an drei Modellen zeigt, tritt keine Schwächung des Längsträgers durch die für das Durchstecken der Querträger erforderlichen Ausschnitte ein, wenn der Längsträger etwa 2,5mal so hoch ist wie der Durchmesser des Querträgers und wenn beide die gleiche Wanddicke aufweisen. Ein Wiedereinschweißen der ausgeschnittenen Teile aus Festigkeitsgründen erübrigt sich.

L 175