

Festigkeitsgerechtes Konstruieren

(2. Bericht)

Von **W. Kloth**, Braunschweig-Völkenrode

Beobachtungen auf Ausstellungen¹⁾ geben einmal einen Überblick über den Stand der Konstruktionstechnik, zum anderen aber auch eine Gelegenheit, festigkeitsmäßige Überlegungen an Hand ausgeführter Konstruktionen anzustellen. Da dies bei einem solchen Streifgang nur nach dem äußeren Eindruck geschehen kann, d. h., ohne den jeweiligen Konstrukteur nach seinen Gesichtspunkten zu fragen, sind die nachstehenden Angaben mit einem gewissen Vorbehalt aufzunehmen. Wie nicht anders zu erwarten ist, ist die technische Höhe der Konstruktionen recht unterschiedlich. Ein allgemeiner Unterschied im Konstruktionsniveau zwischen den drei genannten Ausstellungen ist nicht festzustellen.

Zone des Rohres angeschweißt. Auch die Befestigung des Rohrrüssels an der Platte in **Bild 4** ist einwandfrei. Schon daß das Rohr gebogen und nicht durch Schweißungen zusammengestückelt wurde, ist positiv zu bewerten. Bei dem unteren Rohr ist der Rüssel durch ein Gußstück gebildet, das stumpf an das Rohr angeschweißt ist. Auch dies ist ästhetisch und kostengünstig vorteilhafter als etwa eine aus Blechteilen zusammengesetzte Konstruktion. Auch die in **Bild 5 und 6** wiedergegebenen Ausführungen zeigen Gußteile für verwickeltere Formen in Verbindung mit Rohren. Es kann dadurch viel teure Schweißarbeit gespart werden. Die Gußteile dürfen keinen hohen Kohlenstoffgehalt haben, da sich sonst an den Schweißstellen Ver-

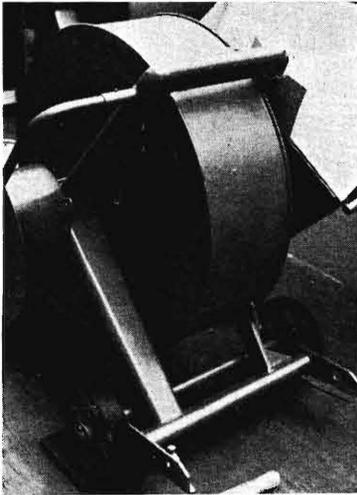


Bild 1.

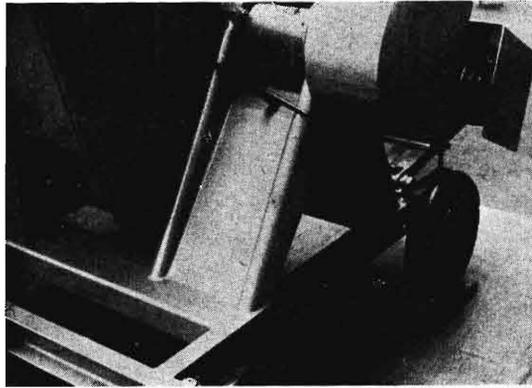


Bild 2.

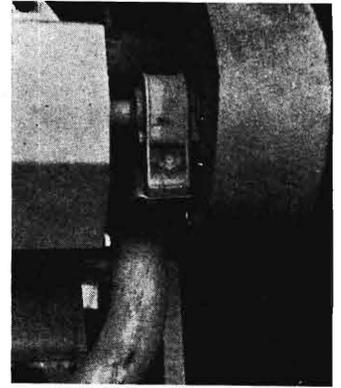


Bild 3.

Eine Begrenzung der Haltbarkeit wird bei den meisten Konstruktionen durch die Dauerfestigkeit gegeben sein, hiernach erfolgte auch im allgemeinen die Beurteilung, d. h., ob in den im Betrieb auftretenden Spannungsfeldern Spannungsspitzen zu erwarten sind [1]. Die Wirkung von Spannungsspitzen kann oft auch durch größere Abmessungen ausgeglichen werden. Es ist also nicht gesagt, daß Bauteile, in denen Spannungsspitzen zu erwarten sind, nun immer brechen müssen. Solche Konstruktionen können aber nicht den Anspruch erheben, besonders wirtschaftlich zu sein.

Auch auf Schönheit der Form wird in vielen Fällen offensichtlich Wert gelegt [2], z. B. zeigen die **Bilder 1 und 2** Blechkonstruktionen, die in dieser Hinsicht gut gelungen sein dürften, auch festigkeitsmäßig dürfte gegen sie nicht viel einzuwenden sein. **Bild 3** zeigt die Befestigung eines leichten Lagers auf einem runden Rohr. Wenn man bedenkt, daß vor nicht zu langer Zeit noch vielfach der Einwand erhoben wurde, daß man Lager usw. an runden Rohren nur schlecht befestigen könne, so zeigt dieses Bild deutlich den inzwischen erreichten Fortschritt. Das U-förmig gebogene Blech ist durchaus korrekt in der neutralen

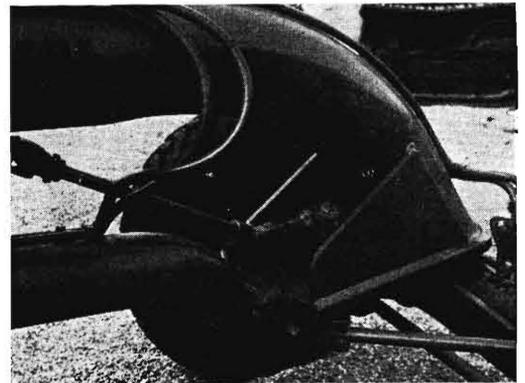


Bild 4.

sprödungen zeigen werden. In **Bild 7** ist ein Lagerkörper in reiner Schweißkonstruktion durchgebildet; da er verhältnismäßig einfach ist, dürften die Kosten erträglich sein.

In **Bild 8 und 9** ist zu beanstanden, daß die Rohre bzw. die Blechtaschen an den Enden offen sind. Dadurch wird ein inneres Rosten in den Hohlräumen ermöglicht. Es ist immer vorteilhafter, Rohre und andere Hohlkörper ringherum dicht zu schweißen, damit keine Feuchtigkeit in das Innere eindringen kann. Umfangreiche Untersuchungen der Bundesbahn haben erwiesen, daß in solchen Fällen ein innerer Rostschutz vermieden werden kann, da sich kein Rost bildet. In Bild 8 ist außerdem die schräge, muldenförmige Strebe unvorteilhaft, da sich unten Wasser ansammeln kann.

Eckstreben sollten niemals senkrecht auf dünne Blechwände aufstoßen, wie es z. B. in **Bild 10** zu ersehen ist. Wie **Bild 11** zeigt,

¹⁾ Es handelt sich um die DLG-Ausstellung 1960 in Köln, die Technische Messe Hannover 1960 und die Baumaschinenausstellung in München 1961. Der erste Ausstellungsbericht ist in Heft 12 auf Seite 13 bis 17 zu finden.

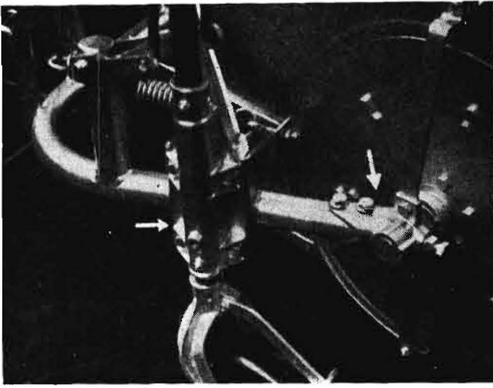


Bild 5.



Bild 6.

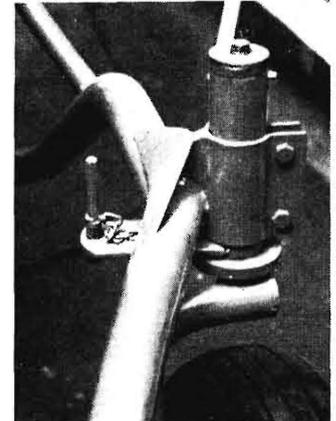


Bild 7.

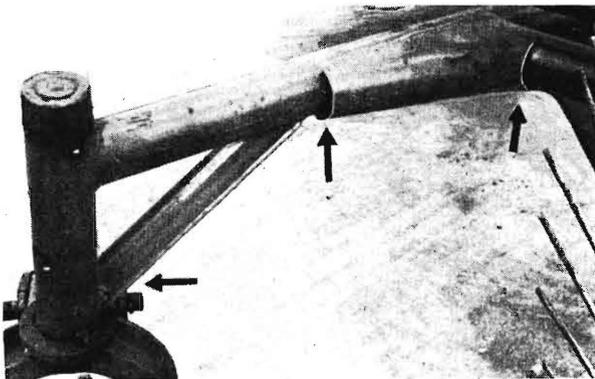


Bild 8.

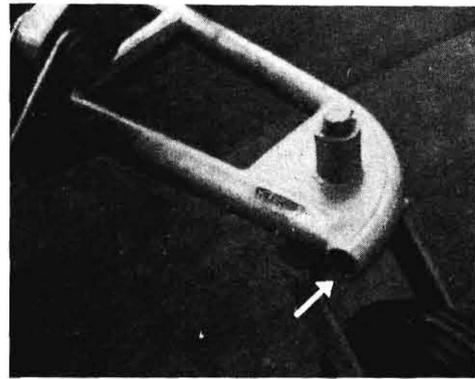


Bild 9.

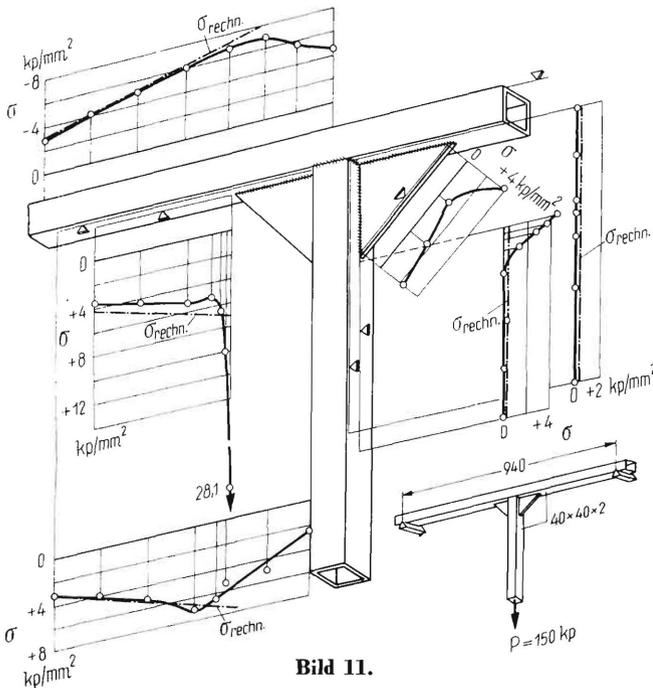


Bild 11.

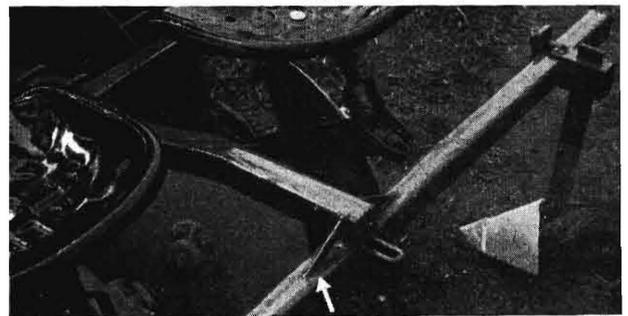


Bild 10.

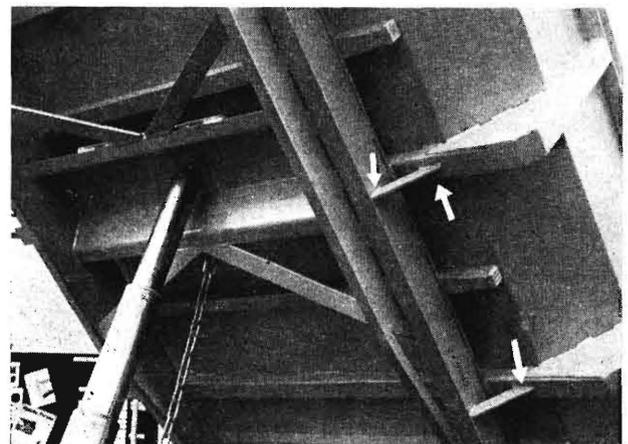


Bild 12.

drücken sich die Ecken derartiger Streben in die dünnen Blechwände ein und erzeugen dort sehr hohe Spannungsspitzen [1]. Es ist vorteilhafter, derartige Streben um 90° zu drehen, so daß die Kräfteinleitung dann nicht punktförmig, sondern linienförmig erfolgt. Auch in **Bild 12** ist dieser Fehler bei der Abstützung der in Blechkonstruktion durchgebildeten Spanten des Wagenkastens zum Längsträger hin festzustellen. Wenn die Streben um 90° gedreht befestigt wären, würde die Konstruktion günstiger sein.



Bild 13.

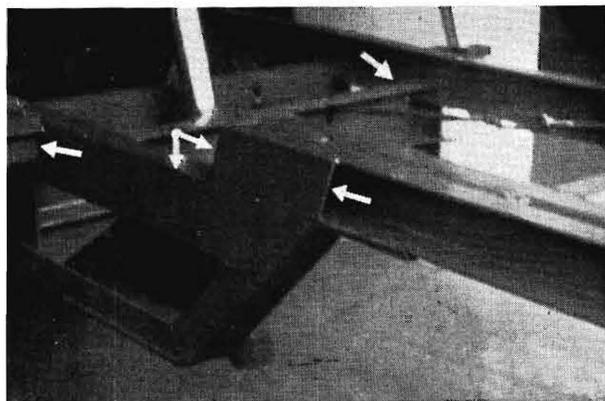


Bild 14.

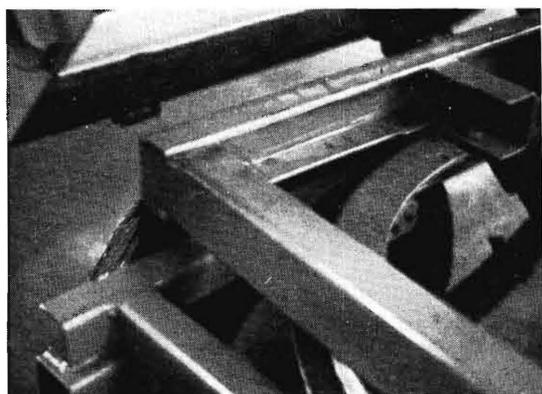


Bild 15.

Ein immer noch wiederkehrender Fehler ist das Aufschweißen von Blechlaschen auf offene Profile [2], so daß an der betreffenden Stelle ein Hohlprofil entsteht, **Bild 13**. Die letzteren haben bekanntlich eine sehr große Drehsteifigkeit, während sie bei offenen Profilen besonders klein ist. Es wird also an der Übergangsstelle von dem steifen zum weichen Teil ein großer Steifigkeitssprung mit Spannungsspitzen entstehen, der leicht zu Dauerbrüchen führen kann. Auch in **Bild 14** ist dies zu beanstanden. Das Übereinanderlegen von U-Profilen, wie es hier bei den Längsträgern des Fahrzeuges geschehen ist, um eine Kröp-

fung zu vermeiden, bringt in der Regel ungünstige Beanspruchungsverhältnisse. Dies gilt auch für die Querträger des Fahrzeuges, die tiefer zu den Längsträgern gesetzt sind, und für die kurzen Hutprofile, die seitlich an die Längsträger geschweißt sind. Kraftüberleitungen sollten immer organisch erfolgen, so wie es dem besonderen Charakter der Profile entspricht. Besonders bei dünnwandigen Profilen sollte immer die ganze Querschnittsfläche herangezogen werden [1]. Dabei dürfen jedoch keine örtlichen Versteifungen oder Steifigkeitssprünge entstehen.

Ineinander geschachtelte U-Profile, die ringsherum verschweißt sind, geben in der Regel kein günstiges Spannungsfeld. **Bild 16** zeigt aus einer Untersuchung von Trost [4] die hohen Spannungsspitzen, welche an den Übergangsstellen auftreten. **Bild 17** zeigt aber auch einen Weg, wie man die Spannungsspitzen vermeiden kann. Es ist hier durch Auskehlen des Steges des Querträgers erreicht. Bei der Verwindung des Rahmens wird der Querträger auf Biegung beansprucht, aber an der entsprechenden Verformung an den Anschlußstellen zum Längsträger hin behindert. Wenn man, wie in diesem Beispiel, den Steg an den Enden auskehlt, so wird der Träger wesentlich biege-weicher und es entstehen keine Spannungsspitzen. Interessant ist in **Bild 18**, wo in der rechten Darstellung der Querträger nicht durch Schweißen, sondern durch Schrauben verbunden ist, daß auch bei Schraubverbindungen keine Spannungserhöhungen eintreten. Die Schraubverbindung gestattet kleine Nachgiebigkeiten, welche im Gegensatz zur Schweißverbindung Spannungsspitzen nicht entstehen lassen. Nietverbindungen haben eine ähnliche Wirkung.

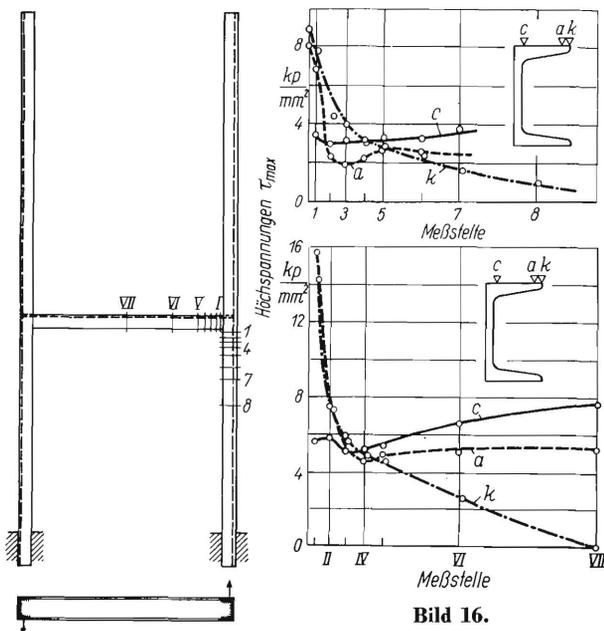


Bild 16.

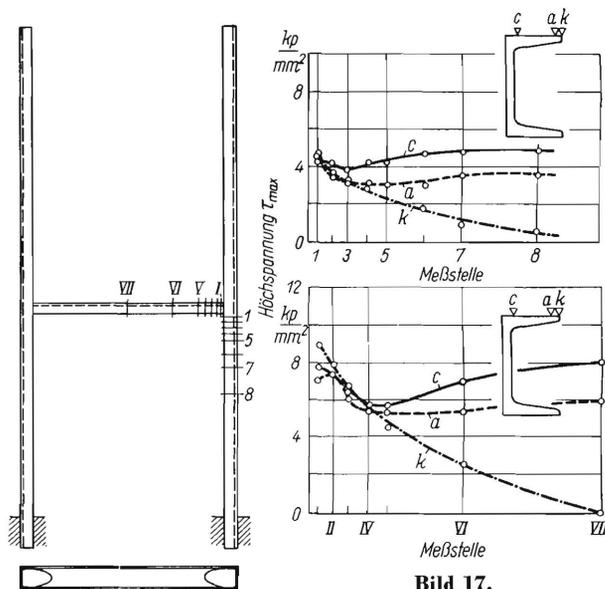


Bild 17.

Bild 19 soll daran erinnern, daß Verformungsbehinderung von torsionsbeanspruchten offenen Profilen, deren Schenkel sich axial verschieben möchten, immer zu Spannungsspitzen führt [5]. Hier ist ein Winkeleisen gegen eine steife Platte geschweißt, und man sieht sehr eindringlich, daß an der Befestigungsstelle die Spannungen sehr steil in die Höhe gehen. Sie betragen ein Vielfaches der Spannungen im übrigen Teil des Winkelprofils. Be-

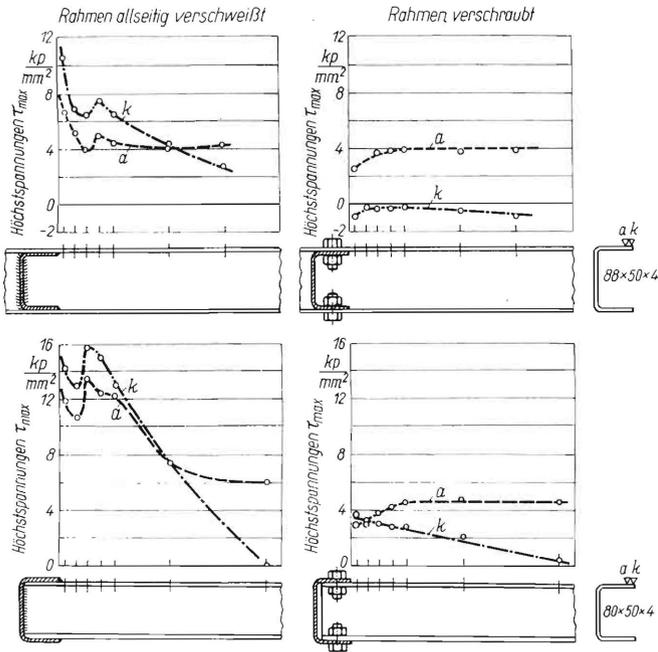


Bild 18.

sonders ungünstig ist noch, daß diese Spannungsspitzen an der Schweißnaht und insbesondere an dem Ansatz der Schweißnaht auftreten, wo die Festigkeit sowieso verringert ist. Solche Verformungsbehinderungen entstehen nicht nur beim Schweißen gegen eine steife Platte, sondern auch bei einem kastenförmigen Anschluß an andere Profile.

Bild 20 zeigt zwei Konsolen, die zur Verbindung zweier U-Profile dienen. Die Konsolen sind an den Steg der U-Profile geschweißt, so daß sich, besonders beim unteren, die Enden der Profilstützen in den Steg eindrücken. Kräfte, die senkrecht zu dünnwandigen Blechebenen wirken, sollten jedoch vermieden werden. Vorteilhaft ist es, wenn derartige Konsolen bis an die Flanschen geführt werden [1]. Dabei ist aber eine andere Erscheinung zu beachten. Wenn die U-Träger auf Biegung beansprucht werden, so wollen sich die äußeren Fasern, welche Zug- bzw. Druckspannungen führen, dehnen oder stauchen. Wenn sie durch ein angeschweißtes Konsol daran gehindert werden, entsteht eine Verformungsbehinderung mit entsprechenden Spannungsspitzen. Dies ist besonders bei dem oberen Konsol in Bild 20 der Fall,



Bild 20.

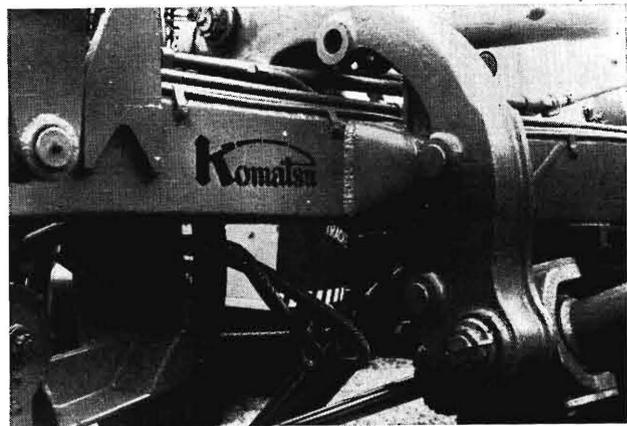


Bild 21.

weniger bei dem unteren. Auch die oben auf den Träger geschweißte Lasche wird durch die Verformungsbehinderung, die sie darstellt, Spannungsspitzen an den Enden hervorrufen. Dies würde nicht der Fall sein, wenn die Lasche unterbrochen wäre. Eine japanische Konstruktion eines Konsol zeigt **Bild 21**. Das angeschweißte Konsol ist wegen seiner Hohlkörperform sicher sehr widerstandsfähig. Es erstreckt sich auch bis an die Flansche des Längsträgers. Das Entstehen von Spannungsspitzen an den Enden der Schweißnähte in der Zugzone ist aber möglich, wenn der Längsträger auf Biegung beansprucht wird. Bei der an der linken Bildseite ersichtlichen Lasche, die auf den Steg des Längsträgers geschweißt ist und etwa in der Mitte zackenförmig endigt, ist es ungünstig, daß sie nicht bis an den unteren Flansch des U-förmigen Längsträgers herangeführt ist.

Der schwere Pressenkörper in **Bild 22** hat taschenförmige Abstützungen der Befestigungsplatten, die an die ebene Seitenwand des Pressenkörpers angeschweißt sind. Da der Pressen-

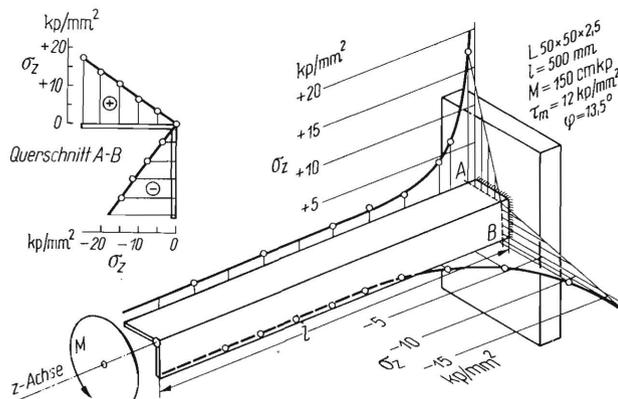


Bild 19.

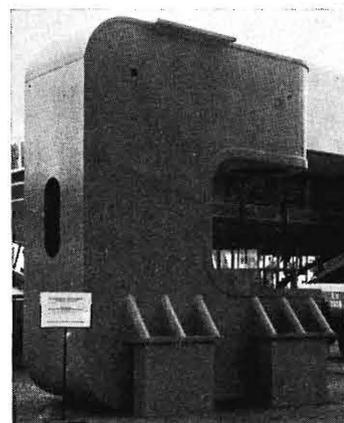


Bild 22.

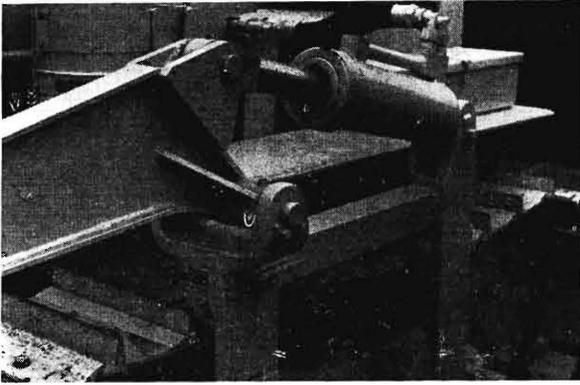


Bild 23.

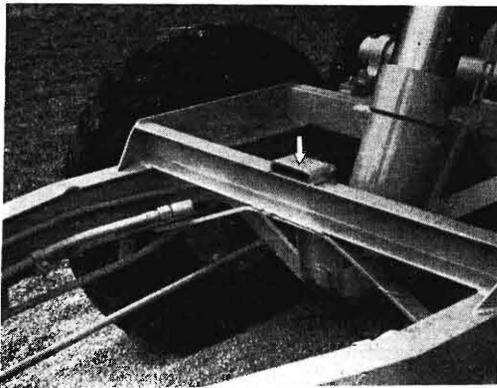


Bild 24.

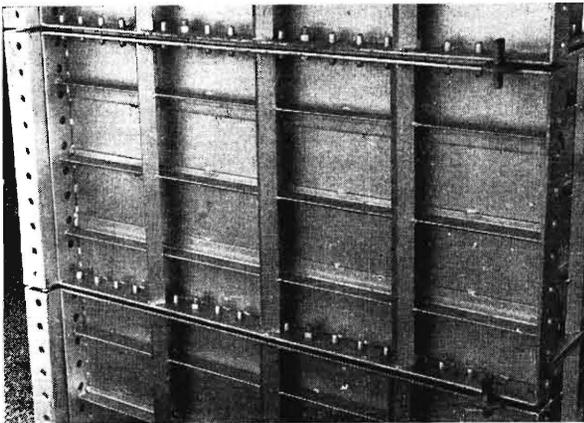


Bild 25.

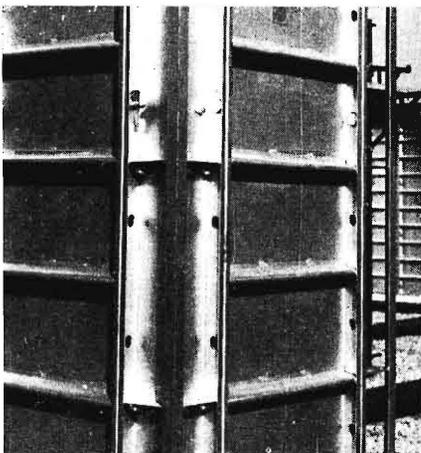


Bild 26.

körper wohl in erster Linie durch Aufbiegen bei der Arbeit beansprucht wird, könnte es sein, daß die Seitenwand in ihrer Verformung durch die angeschweißten Blechtaschen behindert wird und daß dementsprechend Spannungsspitzen an den Enden auftreten. Ob dies nun bei der gezeigten Ausführung tatsächlich der Fall ist und ob die Spannungsspitzen eine gefährliche Größe haben, kann nicht gesagt werden. Der Konstrukteur sollte sich aber bewußt sein, daß auch bei solchen Verformungsbehinderungen Spannungsspitzen auftreten.

In **Bild 23** muß man sich fragen, ob das schräge Eckblech, das das Lager gegenüber dem Steg des U-Profiles abstützt, sehr glücklich gewählt wurde, da der Steg Kräfte senkrecht zu seiner Ebene schlecht aufnehmen kann. Es wäre vielleicht vorteilhafter gewesen, wenn die beiden Flansche des U-Profiles zu dem Lager hin vorgezogen worden wären.

In **Bild 24** fällt auf, daß die Abstützung des schweren Druckzylinders durch ein durchhängendes U-Profil erfolgt, bei dem die Kraftübertragung zu den Querträgern des Fahrzeugrahmens nur auf den oberen Flansch hin erfolgt. Dieser Flansch wird sich nach oben hin aufbiegen wollen, und der ganze Querträger will umkippen. Auch die weitere Kraftübertragung auf den Längsträger des Fahrzeuges ist ungünstig. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß Kraftübertragungen nach Möglichkeit im ganzen Querschnitt erfolgen sollen und daß der Charakter der jeweils verwendeten Profile dabei berücksichtigt werden muß. Es kann durchaus sein, daß die vorliegende Konstruktion ausreichend widerstandsfähig ist; dies dürfte aber nur durch einen beträchtlich überhöhten Werkstoffaufwand erreicht worden sein.

Bild 25 und 26 zeigen Ausführungen zweier Behälter. Die Blechwand des Behälters, **Bild 25**, ist durch horizontale Winkel-eisen versteift, auf deren freien Flansch noch einmal Winkel-eisen dachförmig aufgeschweißt wurden. Die Werkstoffausnutzung ist in beiden Winkel-eisen nicht gut, da an der Stelle der höchsten Spannungen infolge der Biegung keine großen Querschnittsteile vorhanden sind. Auch die Schweißverbindung der dachförmigen Winkel-eisen läßt zu wünschen übrig. Besser ist die Werkstoffausnutzung in **Bild 26**, wo die Versteifung der Blechwände durch hutförmige Blechprofile erreicht wird. Bei einer Verbindung durch Strichschweißen besteht die Gefahr, daß durch den Spalt zwischen Profil und Blechwand Wasser eindringt und zur Unterrostung führt. Bei einer durchlaufenden Rollennaht oder auch durch Grundieren der Profile ließ sich dies vermeiden.

Diese kurzen kritischen Bemerkungen zu einigen Beobachtungen auf Ausstellungen können dem Konstrukteur vielleicht einige Hinweise geben, worauf er achten sollte. Sie können natürlich niemals eine gründliche Beschäftigung mit den inneren Zusammenhängen zwischen Spannungen und Gestalt ersetzen. Die Konstruktionslehre müßte auf den technischen Schulen eingehender behandelt werden, als es im allgemeinen bis heute geschieht, so daß die Konstrukteure von vornherein so gestalten, daß keine ungünstigen Spannungsfelder entstehen.

Schrifttum

- [1] *Kloth, W.*: Atlas der Spannungsfelder in technischen Bauteilen. Düsseldorf: Verlag Stahleisen m.b.H. 1961, 572 Seiten DIN A 4.
- [2] *Kloth, W.*: Gedanken zur Formgestaltung. In: 16./17. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1959, S. 122/29 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 11).
- [3] *Bergmann, W.*: Steifigkeit sperriger Bauteile. In: 9. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1951, S. 61/67 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 1).
- [4] *Trost, W.*: Spannungen und Werkstoffausnutzung in Fahrzeugrahmen. VDI-Z. **87** (1943) S. 467/72.
- [5] *Bergmann, W.*: Neue Erkenntnisse über beanspruchungsgerechte Gestaltung insbesondere bei Behinderung der Querschnittsverwölbung offener Profile. In: 10. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1952, S. 12/23 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 3).