

Aus der Praxis des Fahrzeug-Leichtbaues

Von Dietrich Spangenberg

Je geringer das Eigengewicht eines Fahrzeuges bei gleichbleibender Tragfähigkeit ist, umso geringer sind die Radlasten und damit die notwendige Zugkraft oder Antriebskraft, was bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen beim Fahren auf unbefestigter Fahrbahn von besonderer Bedeutung ist. Kloth [1] hat an Hand von zahlreichen Konstruktionsbeispielen gezeigt, wie man durch geeignete Formgebung, durch richtige Wahl der Werkstoffe, durch Verwendung von Hohlprofilen, Blechschalen oder Abkantprofilen, dem Leichtbau der Fahrzeuge näherkommt.

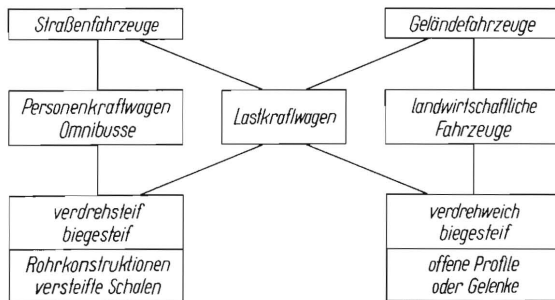


Bild 1. Die Konstruktionsart eines Fahrzeuges ist abhängig vom Verwendungszweck. Alle Fahrzeuge müssen biegesteif sein. Langsamfahrende Lastfahrzeuge in unebenem Gelände müssen verdrehweich sein; schnellfahrende, reine Strassenfahrzeuge können auch verdrehsteif sein, wobei die verhältnismässig geringen Unebenheiten der Fahrbahn von der Federung aufgenommen werden. Konstruktionselemente sind: Rohre und versteifte Schalen für verwindungsstarre Bauweise, offene Profile oder Gelenke für verwindungsweiche Bauweise.

Die Erfahrung zeigt jedoch, daß bei ausgeführten Fahrzeugkonstruktionen noch sehr häufig Brüche auftreten, die bei Beachtung einiger grundsätzlicher Konstruktionsrichtlinien zu vermeiden gewesen wären. Diese Schäden treten hauptsächlich infolge der Verwindungsbeanspruchung der Fahrgestelle auf unebener Fahrbahn auf.



Bild 2. Verwindung eines Ackerwagens im Gelände. Spitzenbeanspruchungen treten z.B. beim Fahren über schlechte Feldwege mit tiefen Radschienen und beim Durchfahren von Gräben und Furchen auf [2].

In **Bild 1** ist der Zusammenhang zwischen dem Verwendungszweck eines Fahrzeuges und den daraus sich ergebenden konstruktiven Folgerungen schematisch dargestellt. Man sieht, daß die Gruppe der Lastkraftwagen sowohl zu den Straßenfahrzeugen als auch zu den Geländefahrzeugen zu rechnen ist, während Personenkraftwagen als reine Straßenfahrzeuge und landwirtschaftliche Wagen und Maschinen als reine Geländefahrzeuge bezeichnet werden, obwohl die letzteren auch auf Straßen fahren können. Von allen Fahrzeugen wird verlangt, daß sie eine Nutzlast tragen; sie müssen also zwischen den Achsen biegesteif sein. Während aber die schnellfahrenden Personenkraftwagen außerdem verdrehsteif sein können, müssen alle Fahrzeuge, die auch unter schweren Lasten in unebenem Gelände fahren, verdrehweich gebaut sein. Eine Ausnahme können bei den Lastkraftwagen die Fahrzeuge mit geschlossenen Kastenaufbauten bilden, wie Möbelwagen, Kühlfahrzeuge u.ä.; hier wird der verdrehsteife Aufbau meistens federnd auf einen Rahmen gesetzt. Ebenso werden kleine Lieferwagen wie z. B. der VW-Transporter, meistens verdrehsteif gebaut. Die Unebenheiten müssen bei diesen Fahrzeugen von der Federung aufgefangen werden. Bauelemente für die verdrehsteife Konstruktion sind Rohre und versteifte Schalen, Bauelemente für die verdrehweiche Konstruktion sind offene Profile oder Gelenke.

Bei schnellen Straßenfahrten sind in erster Linie die Biegebeanspruchungen maßgebend, bei langsamen Fahrten im unebenen Gelände dagegen die Verdrehbeanspruchungen [2, 3, 4, 5]. Die Verwindung kann unter Umständen beträchtlich sein, wie aus **Bild 2** zu erkennen ist. Über die Häufigkeit der Verwindungsbeanspruchung an landwirtschaftlichen Fahrzeugen wurden von Stoppel [6] umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Diese Untersuchungen können sinngemäß auch für die Beanspruchung von Lastkraftwagen angewendet werden. In der Praxis werden nun häufig gerade die Verwindungsbeanspruchungen bei der Konstruktion der Fahrgestelle nicht ausreichend berücksichtigt. Über solche grundsätzliche Konstruktionsfehler soll im folgenden an Hand einiger Beispiele berichtet werden. Die Folgerungen daraus werden als Konstruktionsrichtlinien angegeben.

Zunächst soll an Hand von zwei Beispielen gezeigt werden, wie man durch Anordnung von Gelenken auch ein Fahrgestell aus geschlossenen

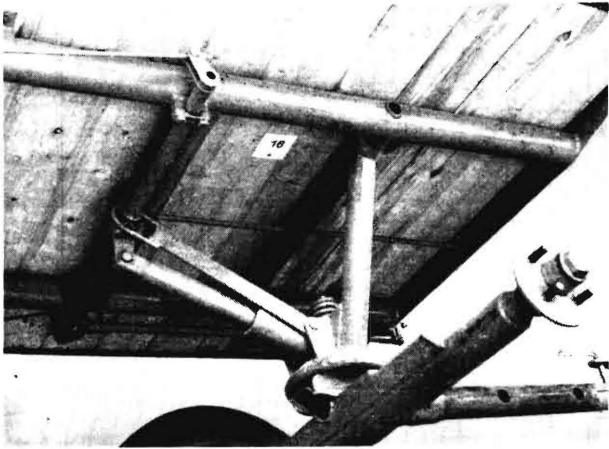


Bild 3. Eine verdrehsteife Rohrkonstruktion erfordert ein Gelenk. Im Bild wird die Anpassung der Räder an Bodenunebenheiten durch ein Pfannengelenk (Pendelachse) ermöglicht, das gleichzeitig als Drehschemel dient.

Profilen verdrehbar konstruieren kann. **Bild 3** zeigt das Fahrgestell eines Ackerwagens in Rohrkonstruktion. Die Vorderachse ist in einem Pfannengelenk befestigt, das sowohl die Verwindung des Fahrgestelles aufnimmt, als auch gleichzeitig den Lenkkranz ersetzt. Allerdings müssen die gesamten Zugkräfte durch dieses Gelenk geleitet werden. **Bild 4** zeigt eine andere Lösung, bei der die Drehstelle im Zentralrohrträger liegt. Dieser Träger besteht aus zwei ineinandergesteckten Rohren, die sich frei verdrehen können. Die Zugkräfte werden durch einen Bolzen übertragen, der in einem Schlitz mit verdreht wird. Die Achsen sind als Leichtbauträger ausgebildet und aus verschweißten Blechen hergestellt. Das Eigengewicht dieses Fahrzeuges ist sehr gering. Die Verwendung von geschlossenen Hohlprofilen und Schalen gestattet zwar meistens eine leichte Bauweise, jedoch muß für geländegängige Fahrzeuge ein Gelenk zwischengeschaltet werden. Dieses Gelenk ist aber unter den landwirtschaftlichen Verhältnissen einem erheblichen Verschleiß unterworfen, weil eine Wartung nicht gewährleistet ist.

Es ist daher besser, die Konstruktion aus verdrehweichen, offenen Profilen herzustellen, die fest miteinander verbunden sind. Diese Konstruktionsart wird für schnellfahrende Fahrzeuge fast ausschließlich angewendet. Ein Beispiel ist in **Bild 5** gezeigt, das einen Anhänger mit verdrehweichem Fahrgestell aus offenen Profilen zeigt. Die Schwierigkeiten für den Konstrukteur bestehen bei dieser Bauart erfahrungsgemäß darin, alle Knotenpunkte und Eckverbindungen so auszubilden, daß sie neben der notwendigen Biegefestigkeit auch genügend verdrehweich sind. Auch müssen die Krafteinleitungen sorgsam gewählt werden; so sollen die offenen Profile möglichst im Schubmittelpunkt belastet werden (wichtig z. B. für die Anlenkung der Achsfedern am Längsträger).

Oberster Grundsatz für ein verdrehweiches Fahrgestell aus offenen Profilen ist: Die Verwindung und die damit verbundene Querschnittsverwölbung [7] darf an keiner Stelle behindert werden, da sonst sehr hohe Spannungsspitzen auftreten können [8]. Diese Spannungsspitzen sind bei geschweißten Konstruktionen besonders gefährlich. Daher wird heute vielfach wieder die genietete Konstruktion verwendet, da die Verbindungsstelle etwas „atmen“ kann und die Niete bei zu hoher Beanspruchung sich dehnen oder abreißen. Risse in den Trägern treten daher seltener auf als bei geschweißten Konstruktionen.

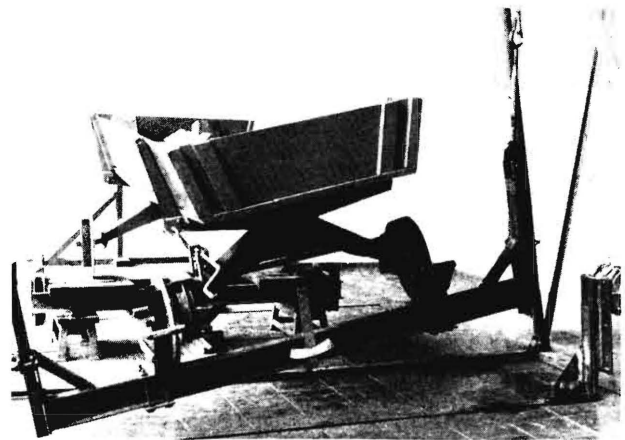
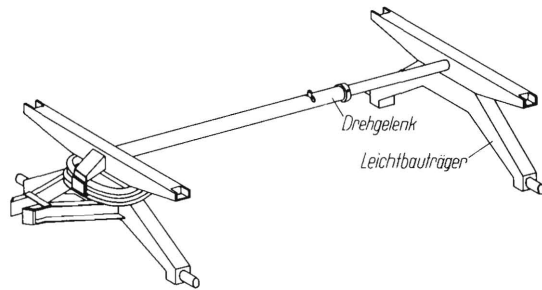


Bild 4. Ackerwagen mit Zentralrohrträgern, die ineinandergesteckt sind und so ein Drehgelenk bilden. Der Aufbau muss verdrehweich sein. Die Achsen sind als Leichtbauträger ausgebildet.

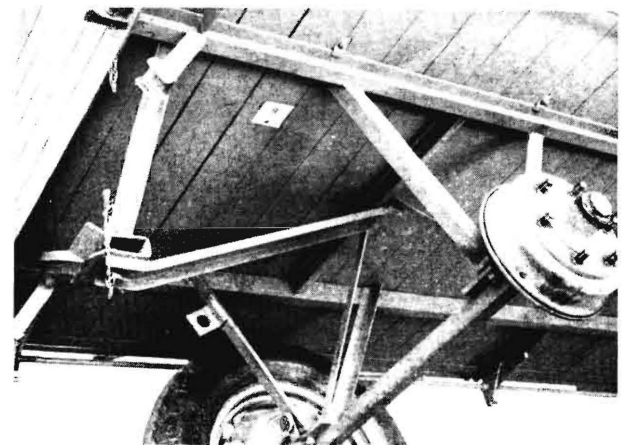


Bild 5. Verdrehweicher Ackerwagen aus offenen Profilen. Knotenpunkte müssen verdrehweich, aber biegefest sein. Krafteinleitung im Schubmittelpunkt des Hauptträgers.

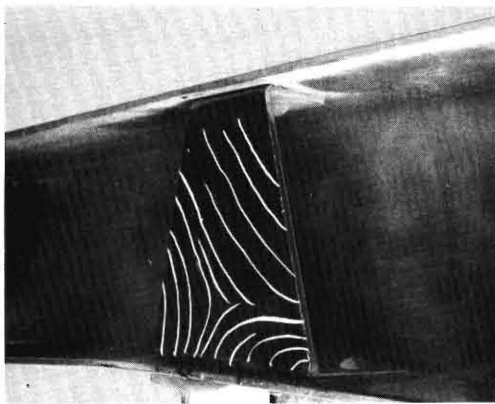


Bild 6. Längsträger eines Lastkraftwagens mit eingienieteter Versteifung der Flansche wegen der Kräfteinleitung am Federschuh der Achsfederung. Aus dem verdrehweichen U-Profil entsteht örtlich ein verdrehsteifes Rohr. Der Steifigkeitssprung hat hohe Spannungsspitzen zur Folge. Dieser Steifigkeitssprung ist noch gefährlicher bei angeschweißten Blechen.

Ein häufiger Fehler ist in **Bild 6** dargestellt. In den Längsträger eines Lastkraftwagens wurde ein Versteifungsblech eingienietet, um die Kräfte vom Federschuh in den Längsträger besser einzuleiten. Hierbei wurde aber nicht bedacht, daß damit örtlich aus dem verdrehweichen U-Profil ein Stück verdrehsteifes Rohr geschaffen wurde. Der Steifigkeitssprung ist hierbei besonders groß. Entsprechend groß sind auch die örtlichen Beanspruchungen und damit die Spannungen. An den Dehnungslinien ist zu erkennen, daß in der Ecke unten rechts Zugspannungen herrschen. Dabei ist die Nietung noch weich im Verhältnis zu einem entsprechend eingeschweißten Blech. Ein Bruch bei einer Verwindung des Fahrgestelles bzw. Verdrehung des Längsträgers ist wahrscheinlich. Eine Versteifung sollte daher nur im Steg erfolgen, oder aber man setzt ein Versteifungsblech senkrecht zur Längsrichtung und befestigt es ausschließlich an den Flanschen (und nicht am Steg).

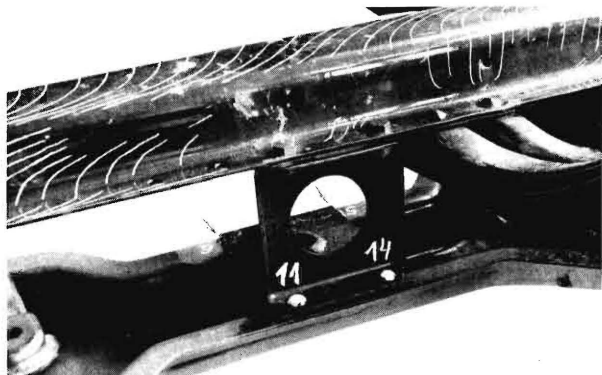


Bild 8. Querträger eines Lastkraftwagen-Rahmens aus zwei Hutprofilen. Senkrechter Verbindungssteg zwischen den Hutprofilen behindert die gegenläufige Kantenverschiebung bei Verdrehung. Niete 11 und 14 wurden bei Verwindung des Fahrgestelles abgeschert. Unterer Träger wurde durch aufgeschweißtes Blech örtlich in ein Rohr verwandelt. Verformungsbehinderung führte zum Bruch 5 und 6 an der hinteren Kante des unteren Trägers (siehe Pfeile!).

Der gleiche Fehler wurde bei der in **Bild 7** gezeigten Versteifung eines Längsträgers gemacht. Obwohl das Versteifungsblech weit ausgeschnitten wurde, um den Übergang sanfter zu gestalten, waren die Spannungen am ersten Niet so groß, daß an dieser Stelle im Längsträger ein Dauerbruch entstand. Dieser Bruch wäre vermieden worden, wenn man einfach beide Träger ineinander geschachtelt hätte, so daß der Charakter des U-Profiles bewahrt blieb. Obendrein müßte man dann die Flansche des Verstärkungsprofils an den Enden noch schräg schneiden, so daß ein sanfter Übergang entsteht. Die Vernietung sollte nur im Steg erfolgen, damit die Flansche frei verschiebbar bleiben.

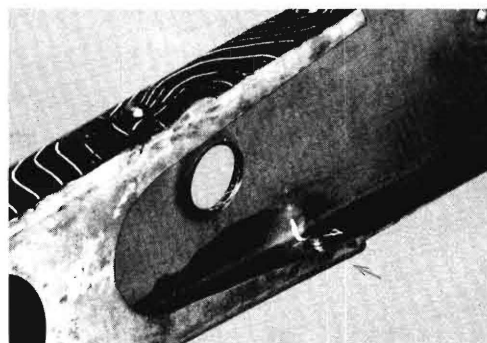


Bild 7. Versteifung eines Fahrzeuglängsträgers durch ein aufgenietetes, U-förmiges Blech. Trotz grosser Aussparung dieses Bleches sind noch hohe Spannungsspitzen vorhanden, die zum Dauerbruch führten. Bruch am unteren Flansch, da hier Zugspannungen infolge Biegung überlagert sind. Versteifung muss so erfolgen, dass Charakter des U-Profiles erhalten bleibt. Verbindungen möglichst nur im Steg.

Der gleiche Grundsatz gilt für die Querträger eines Fahrzeuges. So ist in **Bild 8** ein Verbindungssteg zwischen zwei übereinander liegenden, hutförmigen Querträgern eingienietet. Die Kantenverschiebung an den beiden Trägern ist bei Verdrehung des Rahmens gegenläufig, sie wurde aber durch den Steg behindert. Die Niete 11 und 14 waren der hohen Beanspruchung nicht gewachsen und brachen. Der untere Querträger war außerdem durch ein aufgeschweißtes Blech (hinter dem senkrechten Steg sichtbar) örtlich in ein Rohr verwandelt worden. Auch hier traten hohe Spannungsspitzen im Übergang vom offenen Profil zum Rohr auf, die zum Bruch führten (Bruchstellen 5 und 6 an der hinteren Kante des unteren Trägers). Hieraus kann man folgern: Niemals aus einem verdrehbeanspruchten, offenen Profil örtlich ein Rohr durch angeschweißte Bleche herstellen [9].

Die Querschnittsverwölbung eines verdrehbeanspruchten, offenen Profils wird auch behindert, wenn man es stirnseitig auf eine Platte schweißte. Dies ist z. B. bei dem geschlitzten Rohr in **Bild 9** geschehen. In den Ecken des Schlitzes werden daher hohe Spannungsspitzen auftreten, die umso gefährlicher sind, als sie mit den Einbrandkerben der Schweißnähte zusammenfallen.

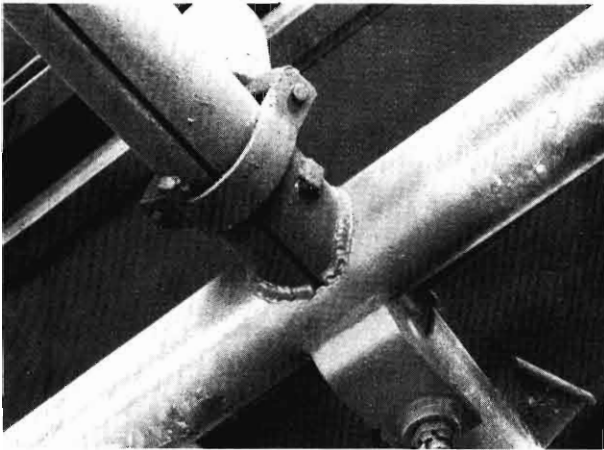


Bild 9. Aufgeschweisste Endplatten behindern die Verformung eines offenen Profils (geschlitztes Rohr) bei Verdrehbeanspruchung. Bruchgefahr in den Ecken, da hier gleichzeitig die Einflüsse der Schweissnähte wirksam werden.

In **Bild 10** wird ein ähnlicher Fall gezeigt. Der Querträger, bestehend aus einem U-Profil, wurde stirnseitig mit dem Längsträger verschweißt. Infolge der Verformungsbehinderung traten hohe Spannungsspitzen in den Ecken auf, die beim Dauerversuch zum Bruch führten. Der Anriß erfolgte am Beginn der Schweißnaht. Der weitere Bruch verlief längs der Kante der Schweißnaht und endete am Steg des U-Profiles.

Der verdrehweiche Anschluß eines solchen Querträgers muß so erfolgen, daß man die Flansche des U-Profiles schräg abschneidet und nur den Steg mit dem Längsträger verschweißt [10]. Zur Versteifung in der Rahmenlängsrichtung kann man in der Mitte der Stege noch eine Dreieckverstärkung aus Blech anbringen.

Man soll in einer gelenkfreien, verdrehweichen Konstruktion die Verwendung von Rohren möglichst vermeiden, da im Bereich des Rohres die Konstruktion sehr steif wird. Die Übergangszone zwischen dem weichen und starren Bauteil wird bei dieser Beanspruchungsart sehr hoch beansprucht. In **Bild 11** ist der Anschluß eines Querträgers aus Rohr in einer verdrehbeanspruchten Konstruktion zu sehen, wobei die Beanspruchungen noch dadurch erhöht wurden, daß dieser Querträger nicht in der Rahmenebene lag, sondern an vorspringenden Konsolen befestigt war. Dieser Anschluß brach im Dauerversuch; der Rißverlauf ist im Bild gut zu erkennen. Im weiteren Verlauf des Versuches brach die Verbindung in der Schweißnaht vollständig aus. Dieses Beispiel zeigt besonders deutlich, daß verdrehweiche und verdrehsteife Bauelemente in verwindungsbeanspruchten Fahrgestellen nie miteinander verbunden werden sollten.

In **Bild 12** ist nun der Bruch eines gegossenen Hinterachstrichters eines Schleppers mit rechteckiger Aussparung zu sehen. Der Bruch beginnt in den Ecken der Aussparung und verläuft genau

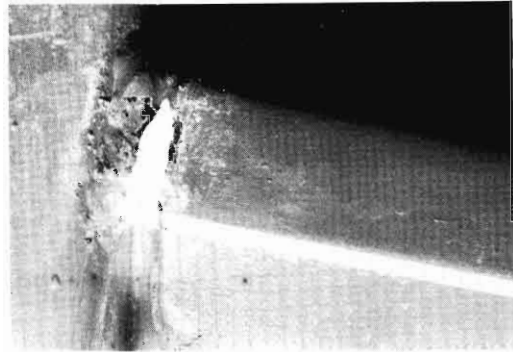


Bild 10. Querträger aus U-Profil (14) ist stirnseitig mit Längsträger verschweisst. Spannungsspitzen in den Ecken infolge Verformungsbehinderung und Schweißnaht-einfluss führten zum Dauerbruch bei Verwindung des Rahmens. Bruch verläuft nur bis zum Steg des U-Profiles.

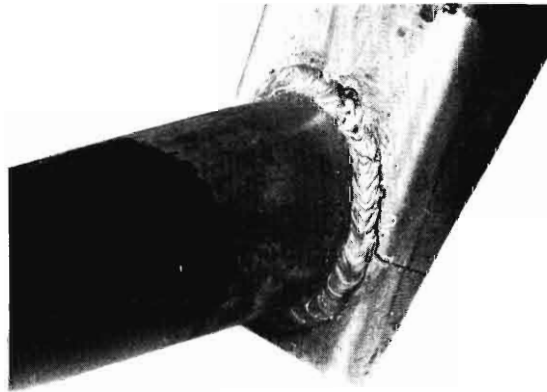


Bild 11. Verdrehsteifer Querträger (Rohr) eines verwindungsbeanspruchten Fahrzeuges. Dauerbruch entstand bei Verwindung des Fahrzeuges infolge der starken Verformungsbehinderung durch das Rohr. Rohre sollen in verdrehweichen Konstruktionen möglichst nicht verwendet werden.

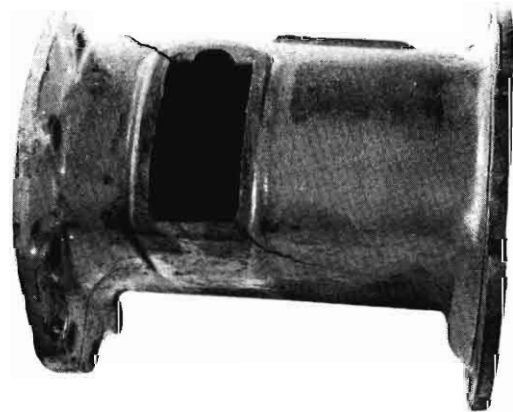


Bild 12. Dauerbruch an der Aussparung eines Hinterachstrichters eines Schleppers bei Verdrehbeanspruchung. Infolge der grossen Aussparung besteht der Trichter aus zwei Rohrstücken mit einem dazwischenliegenden verdrehweichen U-Profil. Hohe Spannungsspitzen in den Ecken führten zum Bruch. Wenn Aussparungen in verdrehbeanspruchten Rohren notwendig sind, müssen die Querschnittsübergänge gut ausgerundet sein (Ellipsenform). Hier entscheidet nicht die Wandstärke, sondern die Form.

unter 45° zur Trichterachse. Man könnte einwenden, daß dieses Beispiel mit den vorherigen Ausführungen nichts zu tun habe, da es sich hier um ein starres Bauteil handele. Dem ist entgegenzuhalten, daß der Trichter infolge des großen, rechteckigen



Bild 13. Dauerbruch an einem biegebeanspruchten Rohrrahmen infolge einer unvermittelten Querschnittsverstärkung des Rohres. Bruchbeginn genau in der Ecke der angeschweissten Nase. Daher soll man keine örtlichen Verstärkungen in hochbeanspruchten Biegezonan anbringen. Die Anschlüsse sind möglichst in die neutrale Biegezone zu legen.

Ausschnittes praktisch aus drei verschiedenen Baukörpern besteht: links und rechts aus zwei verdrehstarrten Rohren, die in der Mitte durch ein verdrehweiches U-Profil verbunden sind. Bei Verdrehbeanspruchung möchte sich dieses (offene) Mittelstück verformen, wird aber durch die beiderseits anschließenden Rohre daran gehindert. In der verhinderten Querschnittsverwölbung erkennt man die Parallelität zu den vorherigen Beispielen. In den Ecken der Querschnittsübergänge treten bei Verdrehung sehr hohe Spannungsspitzen auf, die bei dem Achstrichter auch tatsächlich zum Bruch führten. Selbst die Verstärkung des Randes der Aussparung konnte diese hohen Spannungen nicht aufheben. Also nicht die zu geringe Wandstärke (das Gewicht) war für den Bruch entscheidend, sondern die Form. Wenn eine solche Aussparung konstruktiv notwendig ist, soll man daher besonde-

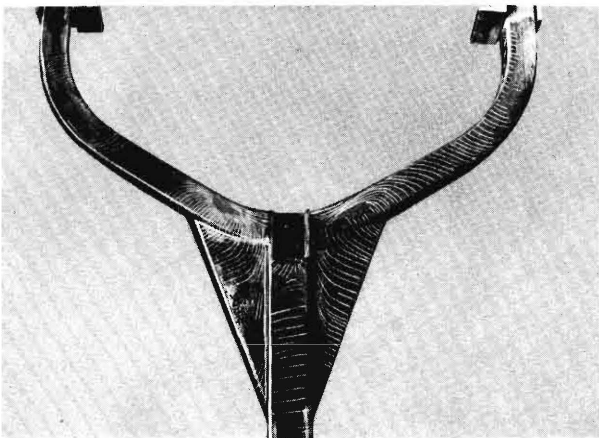


Bild 14. Dehnungslinienbild einer Zuggabel mittels Reisslack bei Zugbeanspruchung. Die Zugbeanspruchung in den Gelenkarmen wird durch Biegung überlagert. Bei seitlichen Kräften an der Zugöse, z. B. infolge einseitigen Überfahrens eines Hindernisses, wird der vordere Teil der Gabel, dort wo die dreieckigen Verstärkungen angeschweisst sind, hoch beansprucht. Daher ist es zweckmässig, die Verstärkungen in der neutralen Biegezone anzuschliessen.

ren Wert auf sanfte Übergänge legen. Bei einer ellipsenförmigen Öffnung wären die Beanspruchungen, vielleicht sogar ohne Randversteifung der Aussparung, von dem Achstrichter ertragen worden.

Es wurde gezeigt, daß bei der Konstruktion eines verwindungsweichen Fahrzeuges gewisse grundsätzliche Richtlinien beachtet werden müssen. Aber auch für die Konstruktion von Biegeträgern gelten ähnliche Regeln für die Anschlüsse und Eckverbindungen. Große Steifigkeitssprünge an Querschnittsübergängen führen auch hier stets zu Spannungserhöhungen. Liegen diese Querschnittsübergänge in hochbeanspruchten Teilen, so werden auch die Spannungsspitzen sehr hoch sein [11].

In **Bild 13** ist ein Dauerbruch eines Rohrrahmens bei Biegebeanspruchung zu sehen. Aus konstruktiven Gründen war in der hochbeanspruchten Zugzone des Biegeträgers ein Blechhaken angeschweißt. Durch diesen aufgeschweißten Haken wird das Widerstandsmoment des Rohrträgers plötzlich vergrößert. Erschwerend kommt neben der Einbrandkerbe der Schweißnaht noch die mögliche Versprödung des Grundwerkstoffes infolge der Schweißung hinzu, wodurch die Formempfindlichkeit vergrößert wird. Infolge der örtlichen hohen Biegespannungsspitze begann der Dauerbruch genau in der Ecke der Querschnittsvergrößerung. Der Bruch verlief zunächst senkrecht zum Träger, dann aber längs der nächsten Versteifung, also längs der ringförmigen Schweißnaht. Auch dieser Bruch wäre zu vermeiden gewesen, wenn man die Richtlinie beachtet hätte, daß geschweißte Anschlüsse an Biegeträgern möglichst in der neutralen Biegezone angebracht werden sollen.

Bild 14 zeigt die Versteifung einer Zuggabel aus Rechteckrohren. Diese Gabel kann nur auf Zug oder seitliche Biegung belastet werden, da sie in vertikaler Richtung frei drehbar ist. Das Dehnungslinienbild wurde mit Hilfe von *Maybach-Reißlack* gewonnen, und zwar bei Zug in Fahrtrichtung. Man kann daraus erkennen, daß das bogenförmige Gabelstück auf Biegung beansprucht wird, denn in Gabelmitte verlaufen die Dehnungslinien auf der Innenseite des Vierkantrohres parallel zum Rande (also Druckspannungen), während sie an der Außenseite senkrecht zum Rand verlaufen (also Zugspannungen). In den beiden äußeren Gabelkrümmungen in der Nähe der Gelenke sind die Verhältnisse gerade umgekehrt. Hier herrschen innen Zug- und außen Druckspannungen.

Die dreieckigen Versteifungen enden genau in der hochbeanspruchten Biegefaser der bogenförmigen Gabel. An dem Verlauf der Dehnungslinien kann man erkennen, daß hier deshalb Spannungsspitzen zu erwarten sind. Zudem wird bei einer seitlichen Kraft an der Zugöse, die stets auftritt, wenn ein

einseitiges Hindernis überfahren wird, besonders das vordere Gabelteil auf Biegung beansprucht. Auch in diesem Falle liegt die Versteifung in der hochbeanspruchten Biegezone. Die dabei auftretenden Spannungsspitzen könnten vermieden werden, wenn man die Versteifung in der neutralen Zone der auf Biegung beanspruchten Gabel anschweißen würde. Ein Mehraufwand an Werkstoff oder Arbeitszeit wäre damit nicht verbunden. Man hätte damit jedoch eine bessere Werkstoffausnutzung erreicht, da die Vermeidung der Spannungsspitzen eine höhere Belastbarkeit zuließe.

Zusammenfassung

Fahrzeuge müssen durchweg biegesteif konstruiert werden. Darüber hinaus müssen geländegängige Fahrzeuge verdrehweich sein. Diese Verdrehweichheit kann durch Gelenke oder durch Verwendung von offenen Profilen erreicht werden. Gelenke sind aber teure Konstruktionsteile, die zudem Verschleiß unterworfen sind.

Bei der Konstruktion eines verdrehweichen Fahrzeuges aus offenen Profilen ist zu beachten: Die Kräfte sollen möglichst im Schubmittelpunkt der offenen Profile eingeleitet werden. Übergänge vom offenen zum geschlossenen Profil haben hohe Steifigkeitssprünge und damit hohe Spannungsspitzen zur Folge. Rohre sind daher möglichst ganz zu vermeiden. Die Querschnittsverwölbung an den freien Kanten der Profile darf nicht behindert werden. Aufgeschweißte Endplatten sind zu vermeiden. Übergänge in Rohrausschnitten sollen möglichst sanft sein, um die Spannungsspitzen herabzusetzen. Biegebeanspruchte Bauteile sollen in den hochbeanspruchten Randfasern keine scharfen Vorsprünge

oder Kerben haben, da hierdurch gefährliche Spannungsspitzen auftreten. Die Vermeidung von Spannungsspitzen bedeutet höhere Sicherheit, bessere Werkstoffausnutzung und damit Leichtbau.

Schrifttum

- [1] *Kloth, W.*: Leichttaufibel. Verlag H. Neureuter, Wolfratshausen/München 1948.
- [2] *Stroppel, Th.*: Kräfte und Beanspruchungen in luftbereiften Ackerwagen. Techn. i. d. Landwirtschaft 21 (1940) S. 38/41.
—: Verwindungsfähige Fahrgestelle für luftbereifte Ackerwagen. Techn. i. d. Landw. 22 (1941) S. 5/8.
- [3] *Thum, A. u. A. Erker*: Zur Beanspruchung von Lastwagenrahmen. Z. VDI Bd. 86 (1942) S. 58/59.
- [4] *Kloth, Stroppel* und *Bergmann*: Beanspruchung und Gestaltung verwindungsfähiger Fahrgestelle für Ackerwagen. Z. VDI Bd. 94 (1952) S. 515/518.
- [5] *Bergmann, W.*: Spannung und Gestalt bei Knotenpunkten, insbesondere bei verwindungsfähigen Konstruktionen. In: 9. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1951. S. 61/67 (Grundlagen d. Landtechn. H. 1).
- [6] *Kloth, Stroppel* und *Bergmann*: Gesetze desfahrens und der Konstruktion für Ackerwagen. Z. VDI Bd. 94 (1952), S. 209/216.
- [7] *Weber, C.*: Die Lehre von der Drehungsfestigkeit. Forsch. Ing. Wesen H. 249, Berlin 1921.
- [8] *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 d. Landtechn. H. 3).
- [9] *Bergmann, W.*: Die Bedeutung des Schubmittelpunktes bei Verwendung von Stahlleichtprofilen und die zweckmäßige Ausbildung von Knotenpunkten. Techn. Blätter Wuppermann (1957) H. 2, S. 3/19.
- [10] *Effertz, K. H.*: Berechnung und Gestalt geschweißter Trägeranschlüsse. Schweißen und Schneiden 4 (1952), S. 58 u. 80/83.
- [11] *Spangenberg, D.*: Spannungen in Knotenpunkten offener Profile bei statischer Belastung. In: 13. Konstrukteurheft. Düsseldorf: VDI-Verlag 1956. S. 45/54 (Grundlagen d. Landtechn. H. 7).

Institut für landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel
Forschungsgruppe Prof. Dr. Dr.h.c. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Dr.-Ing. Dietrich Spangenberg, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50