

Der Stand des Leichtbaues

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Vor etwa 20 Jahren fing man an, sich in der Landtechnik etwas näher mit dem Leichtbau zu befassen. Auf dem 3. Konstrukteur-Kursus (1936) und insbesondere auf dem 4. Kursus (1937) wurde über die Leichtbauprobleme vorgetragen. In der ersten Zeit handelte es sich um eine Anwendung der in der elementaren Festigkeitslehre bekannten Gesetze, daß ein Werkstoffteilchen bei Biegung, Drehung und Knickung einen um so größeren Wert an Festigkeit ergibt, je weiter es von der neutralen Zone entfernt liegt. Die Folgerung daraus war, daß man bei Biegung möglichst hochstegige Träger, bei Drehung möglichst große Hohlkörper von kleiner Wandstärke verwenden sollte. Einer weitgehenden Verringerung der Wandstärken wurden Grenzen gesetzt, hauptsächlich durch die örtliche Befestigung, die Anfälligkeit gegen unvorhergesehene Kräfte und durch die Korrosion. Man rechnete die Querschnitte bewährter Maschinen auf dünnwandige Leichtbauquerschnitte in der Weise um, daß die Größe der Widerstands- bzw. Trägheitsmomente erhalten blieb. Dabei nahm man an, daß auch die Spannungen in den Werkstoffen von gleicher Höhe waren. Es hatte also die Festigkeit der Bauteile rechnerisch die gleiche Größe, die Steifigkeit war sogar noch größer geworden, die Gewichtseinsparung war nicht unbedeutend.

Diese Grundsätze gelten auch heute noch für den Leichtbau. Es sind aber doch noch andere hinzugekommen, die für die praktische Anwendung sehr wesentlich sind. Es soll dabei davon abgesehen werden, daß sich für die Herstellung dünnwandiger Maschinenteile vielfach Schwierigkeiten ergaben, weil die erforderlichen Werkstatteinrichtungen nicht vorhanden waren. Auch bezog sich der Formenschatz der Konstrukteure in erster Linie auf massive Bauteile und hatte nur wenig Beispiele für Teile mit geringer Wandstärke. Diese Schwierigkeit ist nicht zu unterschätzen, da es nicht jedermanns Sache ist, seine konstruktive Phantasie auf Blechteile oder dünnwandige Rohre einzustellen. Wie sollte man Rohre verbinden, wie irgendein Lager daran befestigen? Immerhin wurden im Laufe der Zeit genügend Beispiele dafür bekannt, wobei Ausstellungen, Sammlungen von Leichtbauelementen, die Leichtbaubibel*) usw. mithalfen. Man lernte auch, daß Rohre sehr geeignet zur Aufnahme von Drehbeanspruchungen sind und daß offene Profile, besonders, wenn sie eine geringe Wandstärke haben, besonders drehweich sind. Auch für die Gefahr des Ausknickens der letzteren bekam man ein Gefühl.

*) Verlag Hellmut Neureuter, Wolfratshausen bei München

In den letzten Jahren brachte jedoch die Forschung neue Erkenntnisse, welche auf der einen Seite ein wesentlich sichereres Konstruieren ermöglichten, auf der anderen Seite aber doch wesentlich größere Anforderungen an die Konstrukteure stellten. Sie gingen aus von der Beobachtung, daß Maschinenteile nur ganz selten auf der freien Länge eines Profiles oder dergleichen zu Bruch gehen, sondern in der Regel in den Knotenpunkten, Ecken und Kräfteeinleitungsstellen. Schon immer hatte den Konstrukteuren die Ausbildung dieser Stellen Schwierigkeiten gemacht. Jetzt zeigten Messungen, daß in den Ecken sehr leicht so hohe Spannungen eintreten, daß die Festigkeit des Werkstoffes an dieser Stelle überschritten werden kann. Das kann besonders dann eintreten, wenn solche Spannungsspitzen mit Schweißnähten zusammenfallen. Schweißnähte haben meistens an sich schon eine wesentlich geringere Festigkeit als der Ausgangswerkstoff, und wenn sie dann noch stärker beansprucht werden, so liegt der Fall natürlich besonders ungünstig. Man mußte also lernen, daß die Spannungen in einem Maschinenteil — oder, wie man heute sagt, das Spannungsfeld — durchaus nicht so gleichmäßig sind, wie man es nach der elementaren Festigkeitslehre erwartete. Den Spannungsspitzen mußte eine besondere Bedeutung beigemessen werden, und es mußten die Gesetze ermittelt werden, wie man die Gestalt der Bauteile zu wählen hat, so daß nach Möglichkeit keine Spannungsspitzen auftreten. Die elementare Festigkeitslehre gibt keine Handhaben, um solche Spannungsspitzen oder überhaupt die Spannungsfelder rechnerisch zu ermitteln. Der Konstrukteur war also ziemlich hilflos. Vorschläge, mit bestimmten „Kerbfaktoren“ oder ähnlichen Koeffizienten zu arbeiten, erwiesen sich in der Praxis als wenig fruchtbar. Gewiß hatte man bei Kerben zuerst diese unangenehmen Spannungserhöhungen beobachtet, aber es zeigte sich, daß die Spannungsspitzen, oder richtiger überhaupt die Ungleichmäßigkeiten der Spannungsfelder, eine viel allgemeinere Erscheinung darstellten. Nach den heutigen Anschauungen sind gleichmäßige Spannungsfelder überhaupt äußerst selten. Sie treten etwa in dem Querschnitt eines auf Zug beanspruchten Stabes auf. Eine gleichmäßige Spannung in allen Werkstoffteilen ist jedoch das Ideal für den Leichtbau, weil es ja besagt, daß jedes Werkstoffteilchen voll beansprucht ist. Man kann also die für die Haltbarkeit der Bauteile entscheidenden Spannungsspitzen in den Knotenpunkten oder den Ecken der Bauteile nach dem heutigen Stande der Festigkeitslehre nicht berechnen. Man kann sie jedoch messen und bemüht sich, geeignete neue Rechenverfahren zu finden. An diesem Stande steht heute die Forschung.

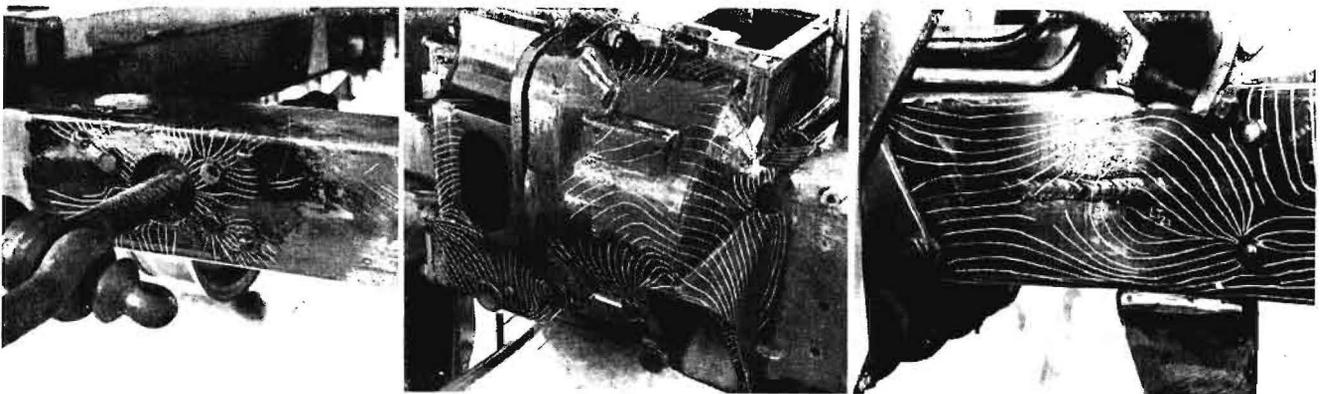
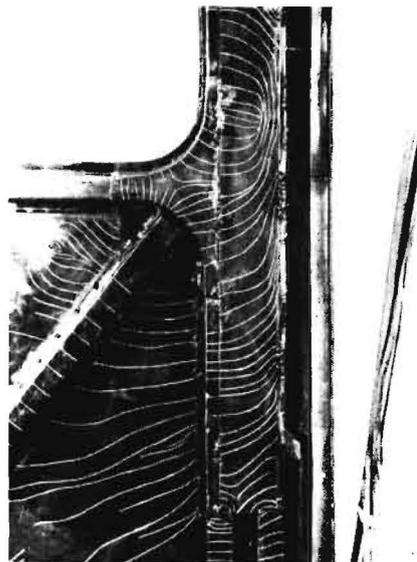


Abb. 1: Zugöse an einem Querträger. Für eine Festigkeitsrechnung würde man zunächst annehmen, daß der beiderseitig eingespannte U-Träger durch eine Einzellast in der Mitte auf Biegung beansprucht wird. Das Dehnungslinienbild zeigt, daß in Wirklichkeit um den Lochrand herum tangential gerichtete Zugspannungen auftreten, die sich in kreuzförmiger Richtung auch weiter nach außen fortsetzen. — Abb. 2: Gußteile von einem Schlepper. Die Dehnungslinien verlaufen senkrecht zu den größten Zugspannungen. Das Feld ist also nicht ganz einfach. Kritische Stellen sind z. B. die linke Befestigungsschraube und die Durchbrechung rechts unten. — Abb. 3: Teil eines Rahmens. Die beiden Niete tragen ganz unterschiedlich: die obere nur sehr wenig, die untere stärker. Links von ihr liegt ein Störungsfeld mit höheren Spannungen, das durch Zusatzteile, z. B. den unteren Stützbock, entstanden ist

Das besagt keineswegs, daß wir nun eine vollkommene Unsicherheit bei der Durchbildung dünnwandiger Bauteile haben, denn es sind schon umfangreiche Erfahrungen gesammelt worden, wie man Spannungsspitzen vermeiden kann, wenn sie auch noch nicht in allgemein gültigen Formeln auszudrücken sind. Ebenso wie sich schon in der Forschung ein Gefühl für die Zusammenhänge zwischen Spannung und Gestalt herausgebildet hat, so wird man das auch bei den Konstrukteuren erreichen können. Es wird daran gearbeitet z. B. einen Atlas über Spannungsfelder herauszubringen. An ihm kann der Konstrukteur sein Gefühl für diese Dinge schulen.

Es gibt auch eine einfache Arbeitsregel, welche besagt, daß man Spannungsspitzen vermeidet, wenn man die Bauteile als Körper gleicher Steifigkeit durchbildet. Es hat sich nämlich gezeigt, daß hohe Spannungsspitzen immer an Stellen von Steifigkeitssprüngen auftreten. Solche Fälle liegen z. B. vor, wenn man in einen Fahrzeugrahmen aus verwindungsweichen offenen Profilen Querstücke aus verwindungssteifen Rohren einschweißt, oder wenn man U-Profile so zusammenschweißt, daß in den Knotenpunkten sehr steife kastenförmige Gebilde entstehen. An den Übergangsstellen von dem steifen zum weichen Teil werden dann Brüche auftreten. Gegen diese einfache Regel wird noch viel gesündigt, und zwar auch im Kraftfahrzeugbau. Bei Schweißverbindungen muß man nicht nur darauf achten, daß die Schweißnähte nicht mit Spannungsspitzen zusammenfallen, sondern man muß sich klar darüber werden, daß Schweißverbindungen fast immer eine größere Steifigkeit ergeben als Niet- oder Schraubverbindungen. Bei den beiden letzteren kann man sich ebenso wenig wie bei Punktschweißungen darauf verlassen, daß alle Verbindungsstellen gleichmäßig zur Kraftübertragung herangezogen werden. Oft ist hierauf der Niet- oder Schweißplan von Einfluß. Bei den erwähnten Messungen, die überwiegend mit dem Reißlackverfahren durchgeführt wurden, ergaben sich oft überraschende Feststellungen.

Das Reißlackverfahren ist in seiner Auswertung nicht so einfach wie vielfach angenommen wird. Es setzt erhebliche Erfahrungen in der Handhabung und insbesondere in der Auswertung voraus, so daß man nur nach sehr gründlicher Einarbeitung mit brauchbaren Ergebnissen rechnen kann. Ein anderes, sehr einfaches Verfahren kann jedoch oft Hinweise auf die Güte einer Konstruktion geben, nämlich das Verhalten von Papiermodellen. Solche Modelle kann man sich im verkleinerten Maßstab verhältnismäßig einfach aus Zeichpapier formen und zusammenkleben. Wenn man dann versucht, diese Modelle mit den Händen in der zu erwartenden Kraftriehung zu verformen, so kann man sehr gut den „Verformungsmechanismus“ beobachten. Man erkennt gefährliche örtliche Versteifungen, man sieht, wo das Teil zum Ausbeulen



Nr. 4: Blechwand, durch Hutprofile verstärkt
Das Dehnungslinienfeld ist recht verwickelt. Der Pfeil zeigt auf die Stelle einer Spannungsspitze. Ein kleiner Niet (Mitte links) überträgt eine relativ große Kraft, da die Linien von ihm strahlenförmig ausgehen und das Feld seiner Umgebung stören. Die schräge aufgepunktete Strebe, für welche Druckspannungen erwartet waren, hat infolge des komplizierten Verformungsmechanismus reine Zugspannungen

neigt, man bekommt bei vergleichenden Untersuchungen ein Gefühl für die Steifigkeit. Das Ganze ist billig, einfach und benötigt außer den fünf Sinnen und dem gesunden Menschenverstand keine komplizierten Meßgeräte.

Eines Tages wird die Forschung so weit sein, daß sie, vermutlich unter Verwendung des „Verformungsmechanismus“ brauchbare Rechenverfahren entwickelt hat. Aber auch heute schon sollte sich der Konstrukteur ein Gefühl für die Spannungsfelder, die Zusammenhänge zwischen Spannung und Gestalt und insbesondere über das Auftreten der gefürchteten Spannungsspitzen erwerben. Das erste Ziel muß sein, das Spannungsfeld möglichst gleichmäßig zu halten, also Spannungsspitzen zu vermeiden. Die absolute Größe der Spannungen darf natürlich nicht zu hoch sein, aber die erste Sorge muß dem Vermeiden von Spannungsspitzen gelten. Der Leichtbau ist also nicht so einfach, wie es in der ersten Zeit schien, aber die Schwierigkeiten sind auch nicht unüberwindlich, und die in Aussicht stehenden Gewichtsvermindierungen sind beträchtlich. Letzten Endes liegen diese Bemühungen im tiefsten Wesen der Technik, nämlich mit dem geringsten Aufwand ein Höchstmaß an Wirkung zu erzielen.

Résumé;

Prof. Dr.-Ing. W. Kloth: „Der Stand des Leichtbaues.“

Die Landtechnik befaßt sich seit etwa 20 Jahren mit dem Leichtbau. In den letzten Jahren ging es der Wissenschaft hauptsächlich um die Spannungsspitzen in den Knotenpunkten und den Ecken der Bauteile; man kann diese nach dem heutigen Stand der Festigkeitslehre zwar noch nicht berechnen, man kann sie jedoch messen. Die Forschung bemüht sich, geeignete Rechenverfahren zu finden. Immerhin liegen schon umfangreiche Erfahrungen vor, die dem Konstrukteur helfen, sein Gefühl für die Zusammenhänge zwischen Spannung und Gestalt zu bilden.

Prof. Dr. Ing. W. Kloth: „The Present State of Light Building Constructional Methods.“

During the last twenty years agriculturalists have been investigating the possibilities of utilizing Light Building constructional methods. Latterly, interest has centered on the stresses at the joints and the corners of the components. The present state of knowledge in the field of statics does not yet enable these stresses to be calculated, but only to be measured. Attempts are being made to determine suitable methods for calculating the stresses, and, in this connection, there is already sufficient data available which can be of assistance to designers in obtaining some ideas of on the interdependence of stresses and structures.

Prof. Dr.-Ing. W. Kloth: «L'état actuel de la technique en matière de construction légère.»

La technique agricole s'occupe depuis environ 20 ans de la construction légère. Au cours des dernières années, la science s'est attaquée aux problèmes posés par les pointes de tension dans les joints et des coins des éléments de construction. L'état actuel des connaissances ne permet pas encore de les calculer, mais on peut les mesurer. La science s'efforce de trouver des méthodes de calcul appropriées. Toutefois, on dispose d'expériences pratiques importantes qui aident le constructeur de saisir d'une façon intuitive les relations entre la tension et la forme.

Ing. Dr. W. Kloth, catedrático: «La situación actual de la construcción ligera.»

La técnica agraria se ocupa desde hace 20 años de las cuestiones de la construcción ligera. En los años próximos pasados la ciencia se ha ocupado con preferencia de las tensiones pico en los puntos de unión y en las esquinas de las piezas de construcción. Con los conocimientos actuales teóricos de la solidez, éstas hoy día no pueden calcularse todavía, pero sí pueden medirse. Los investigadores se esfuerzan en encontrar procedimientos de cálculo adecuados. Pero ya se dispone de amplia experiencia que ayuda al constructor a formarse una idea de las relaciones existentes entre la tensión y la forma.