

Es ist ein Zeichen unserer Zeit, daß alle Gebiete wissenschaftlich durchleuchtet werden. Nur dadurch sind die erstaunlichen Leistungen in Naturwissenschaft und Technik möglich geworden. Was der Mensch ausschließlich mit seinen fünf Sinnen zu beobachten vermag, ist nur ein kleiner Teil von dem, was man mit hochentwickelten Meßgeräten erkennen kann und noch dazu, wenn es planmäßig und mit wissenschaftlichen Methoden geschieht. Und wenn man daraus dann seine Schlußfolgerungen zieht, so müssen naturnotwendig größere Leistungen zustande kommen als bei den alten handwerklichen Methoden.

Ein Gebiet, das nur stückweise dieser Entwicklung gefolgt ist, ist das Konstruieren. Das ist merkwürdig, da es sich doch um eine fundamentale technische Tätigkeit handelt. Das bezieht sich nicht auf das funktionsgerechte, sondern auf das festigkeitsgerechte Konstruieren. Das mag daran liegen, daß schon früh ein einfaches und, wie es schien, fest gefügtes System zur Berechnung der Spannungen geschaffen wurde, nach dem die Festigkeit vorausbestimmt wurde. Dies lernten die Ingenieure in den ersten Semestern ihrer Ausbildung und vergaßen es ihr ganzes Leben hindurch nicht. Danach ist die Spannung gleich Kraft durch Querschnitt $\frac{P}{F}$. Biegemoment durch Widerstandsmoment $\frac{M}{J}$ usw. Die so errechnete Spannung muß kleiner als die für den betreffenden Werkstoff „zulässige“ Spannung sein. Für ungünstige Fälle rechnete man noch einen Sicherheitszuschlag hinzu, der mehrere hundert Prozent betragen konnte.

Die Spannungen in Maschinenteilen

Solange die Maschinen nicht zu schnell liefen und die Kräfte beispielsweise in den Landmaschinen durch die Zugtiere nach oben begrenzt waren, ging das ganz gut. Als aber die Geschwindigkeiten und die Kräfte immer mehr stiegen und gleichzeitig noch die Gewichte herabgesetzt werden sollten, traten Schwierigkeiten auf, Brüche, denen man oft ratlos gegenüberstand. Vor dem letzten Kriege leitete Professor THUM in Darmstadt durch seine Untersuchungen über die „Gestaltfestigkeit“ eine neue Entwicklung ein. Er sagte, daß die Werkstoffe in der Gestalt eines Maschinenteiles eine andere Festigkeit haben als in der Gestalt eines Zerreißstabes. Das ist im Endeffekt richtig, aber man würde heute sagen, daß die Spannungen in einem Maschinenteil andere sind als in einem Zerreißstab. Diese Erkenntnis wurde durch umfangreiche Messungen von Spannungen gewonnen, die zeigten, daß die Spannungsfelder, das heißt die Gesamtheit der Spannungen in einem Bauteil, wesentlich verwickelter sind, als sie nach den alten einfachen Vorstellungen der Festigkeitslehre sein sollten.

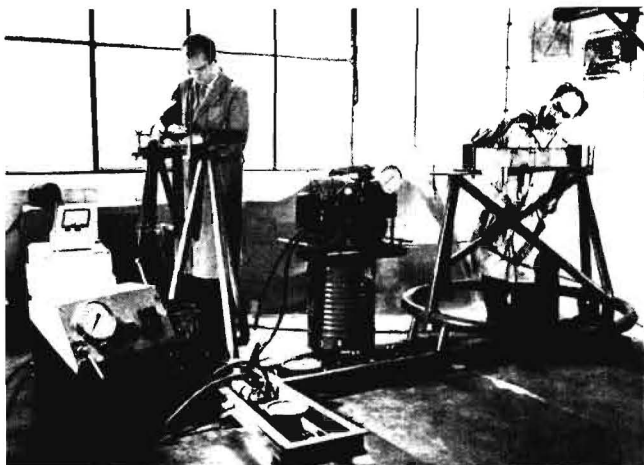


Bild 1: Prüfstände für Reihenuntersuchungen über Spannungsfelder an Knoten aus L- und U-Profilen

Die Belastung geschieht hydraulisch. Nachdem die Dehnungslinien mit Reißlack aufgenommen wurden, erfolgt die zahlenmäßige Ausmessung der Dehnungen mit elektronischen Feindehnungsmessern

Sie ändern sich dicht nebeneinander, beispielsweise nach Art, Größe, Richtung, Mehrachsigkeit. Wenn dann noch Änderungen der Belastungsgeschwindigkeit durch Stöße oder häufige Wiederkehr hinzukommen, so ist es nicht verwunderlich, wenn die Werkstoffe anders darauf reagieren als im einachsigen statischen Zugversuch.

Das Problem ist also heute

1. die Spannungsfelder zu erkennen,
2. das Verhalten der Werkstoffe unter ihrem Einfluß zu kennen und
3. die Spannungsfelder durch die Gestaltung der Bauteile zu beherrschen.

Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, kann der Konstrukteur Maschinen von optimaler Festigkeit bei geringstem Gewicht schaffen.

Jeder Einsichtige weiß, daß wir von diesem Ziel noch weit entfernt sind, aber es ist Aufgabe der konstruktiven Grundlagenforschung, ihm näher zu kommen.

Zunächst sei noch kurz die Frage erörtert, ob sich denn solche Bemühungen überhaupt lohnen. Es ging doch bisher auch ohne große Untersuchungen. Wenn wirklich einmal ernstere Schwierigkeiten auftraten, so nahm man einen Stahl von höherer Festigkeit. (Das einfache „Verstärken“ der Querschnitte ist schon etwas in Mißkredit geraten). Demgegenüber zeigte sich bei vielen Untersuchungen, daß man oft durch kleine konstruktive Änderungen die Spannungen um das Zehnfache oder noch mehr herabsetzen, also die Haltbarkeit entsprechend heraufsetzen kann. Das gilt besonders für die Dauerfestigkeit, die schon in kleinsten Bereichen von Spannungsspitzen beeinflusst wird und weniger von der statischen Festigkeit der Werkstoffe.

Das Hauptziel der konstruktiven Grundlagenforschung ist also, die Spannungsfelder in den Bauteilen und ihre Beeinflussung durch die Gestaltung kennenzulernen.

Die Spannungsfelder werden mit Methoden der Spannungsoptik oder mit Reißlack und Feindehnungsmessern ermittelt. Es ist darüber im landtechnischen Schrifttum [1÷6] schon häufig berichtet worden. Mit diesen Methoden werden nun Reihen planmäßig variiertes Bauelemente untersucht, so daß man daraus den Einfluß konstruktiver Maßnahmen auf die Spannungen beziehungsweise die Festigkeit oder Steifigkeit erkennen kann.

Bild 1 zeigt Prüfstände, auf denen man T-förmige Knoten, das heißt Anschlüsse von Winkel- und U-Profilen sowie von Rund- und Vierkantrohren verschiedener Ausführung, auf Biegung und Zug belasten und die dabei auftretenden Dehnungen und Spannungen messen kann. Aus den aufgenommenen Dehnungsbeziehungsweise Spannungsfeldern erkennt man den Einfluß verschiedener konstruktiver Maßnahmen. Dadurch wird man sich oft erst klar darüber, was man eigentlich von den Bauteilen verlangt, was sich aus der auf den Schulen gelehrt Betrachtung über den Vergleich der errechneten Spannung mit einer vom Werkstoff „ertragbaren“ Spannung meist nicht ohne weiteres ergibt. Dort handelt es sich offensichtlich um eine Berechnung gegen statischen Bruch beziehungsweise gegen Fließen. In Wirklichkeit verlangt der Konstrukteur meistens aber ganz etwas anderes, wie zum Beispiel eine Sicherheit gegen Dauerbruch, gegen spröden Bruch oder gegen zu große elastische Verformung. Mitunter soll auch die elastische Verformung groß sein, ohne daß an kritischen Stellen Spannungsspitzen auftreten, beispielsweise bei Fahrzeugen. In allen diesen Fällen kommt man weder mit einer nach dem „klassischen“ Verfahren errechneten Nennspannung noch mit den „zulässigen“ Spannungen der Handbücher weiter. Man muß schon tiefer in die Zusammenhänge eindringen.

Ein erster Schritt ist die Vertiefung in die Spannungsfelder, die bei den geschilderten Untersuchungen ermittelt werden. Letzten Endes muß das dazu führen, daß man durch die Formgebung Spannungsfelder der gewünschten Art „hervorzaubert“. Leider

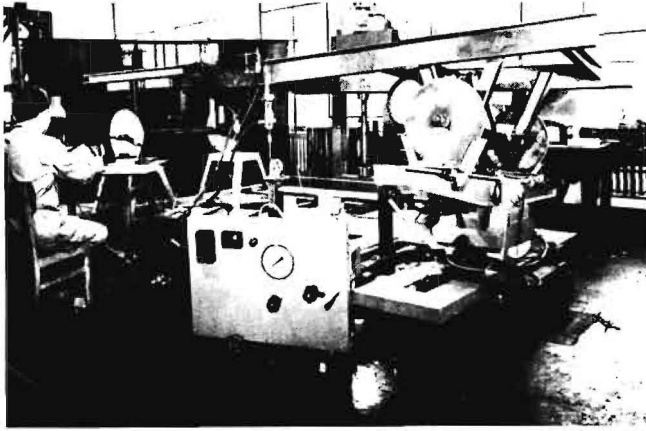


Bild 2 (oben) und Bild 3 (rechts): Prüfstand für Bege- und Torsionsbelastung von Fahrzeugrahmen

Die Belastung erfolgt hydraulisch. Es können statische und dynamische Belastungen, also Dauerversuche vorgenommen werden

zeichnen sich die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Spannung und Gestalt heute erst allmählich ab, so daß zu ihrer völligen Klärung noch mancherlei Forschungsarbeit zu leisten ist.

Was soll zum Beispiel ein Konstrukteur tun, um ein Bauteil, an dem Dauerbrüche aufgetreten sind, zu verbessern? Einen Werkstoff höherer statischer Festigkeit zu nehmen, ist meist zwecklos, da die Dauerfestigkeit aller Stähle fast gleich groß ist. Besser ist, das Bauteil von Spannungsspitzen zu befreien. Das kann er durch Vermeiden schroffer Übergänge, bei Schweißverbindungen durch richtige Lage der Schweißnähte erreichen. Man darf diese Nähte nicht an Stellen legen, die an sich schon hohe Spannungen haben. Das gilt besonders für den Beginn der Nähte und für Einbaudarken. Besonders gefährdet sind Krafteinleitungen, wenn zum Beispiel an den Längsträger eines Fahrzeugrahmens ein Federbock, eine Konsole oder eine Lasche geschweißt werden sollen. Hier entstehen Spannungsspitzen, die meist um ein Vielfaches größer sind als die Betriebsbeanspruchungen im „ungestörten“ Querschnitt. Solche Verhältnisse werden am ganzen Fahrzeugrahmen (Bilder 2 und 3) bei Verwindung oder Biegung untersucht oder beispielsweise an Rohren bei angeschweißten Konsolen verschiedener Art (Bild 4 rechts). Bei Stallungstreuern kommen solche Anschlüsse an den Streuwalzen vor. Es war interessant, festzustellen, daß sich hierbei - je nach der Art des Anschlusses - Unterschiede in den Spannungen bis zum Fünfundzwanzigfachen ergaben. Dieses bewirkten meist äußerlich nur geringfügige konstruktive Unterschiede.

Schon durch die Behinderung der natürlichen Verformung eines Bauteils durch ein angeschweißtes Blech oder eine Lasche entstehen Spannungsspitzen. Auf dem Prüfstand wird dies für Rohre untersucht, die in ihrer Längsrichtung gezogen werden (Bild 5). Die Verformungsbehinderung und damit die Spannungsspitze oder die Dauerbruchgefahr sind um so größer, je breiter das angeschweißte Blech ist. Wenn statt eines Bleches U-Profile oder andere Teile angeschweißt sind, gelten andere Gesetze.

Bereits Knoten aus einfachen gekreuzten Flacheisen haben ihre besonderen Gesetze. Man kann sie gut mit spannungsoptischen Verfahren untersuchen (Bild 6). Die Spannungen in den Ecken sind nicht nur von den Ausrundungshalbmessern, sondern auch von dem Verhältnis der Breiten der Flacheisen abhängig. Mit diesen Methoden wurden und werden weiterhin auch die Spannungen bei verschiedenen Formen und Arten der Schweißnähte untersucht. Die bisherigen Verfahren zur Berechnung der Festigkeit von Schweißverbindungen, bei denen die Nahtstärke der entscheidende Faktor ist, werden vermutlich verfeinert werden müssen.

Bei der überragenden Bedeutung, welche die Dauerfestigkeit heute bei den schnellaufenden Maschinen und den größeren Kräften des Schlepperbetriebes hat, wird man sich nicht damit begnügen, die Spannungsspitzen als die Ursache der Dauerbrüche zu ermitteln, sondern wird auch die Dauerfestigkeit durch schnell wechselnde häufige Belastungen unmittelbar nachprüfen. Dies geschieht beispielsweise mit einem hydraulischen Pulsator (Bild 7). Die bisherigen Versuche damit bestätigten die Auswirkung der Spannungsspitzen. Brüche traten nämlich immer an der Stelle auf, wo vorher Spannungsspitzen ermittelt worden wa-

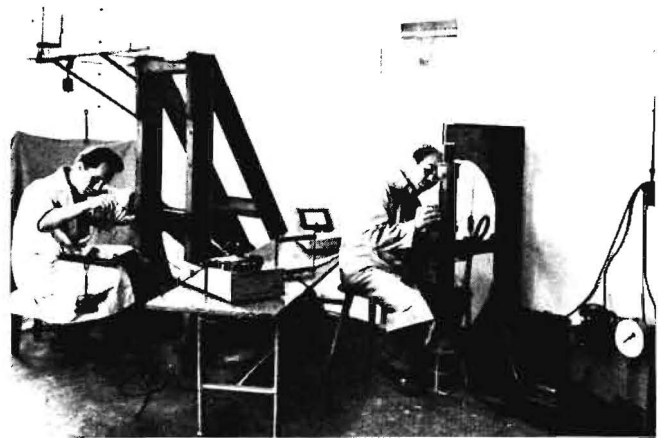
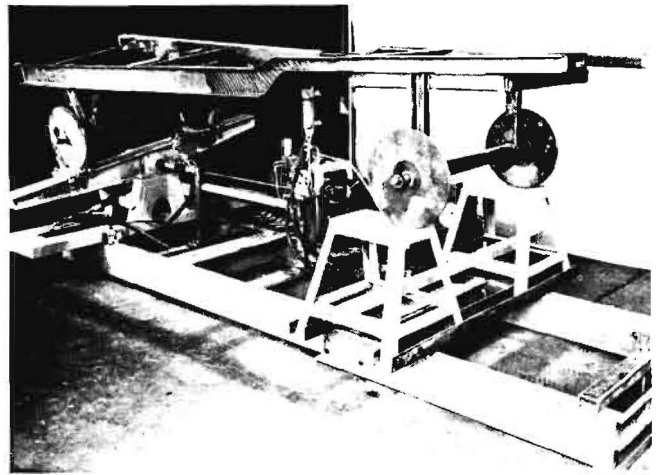


Bild 4: Prüfstände für Rohrkonstruktionen (rechts) und Blechwände (links)

Die Belastung kann (rechts) auf Biegung und Drehung in verschiedenem Sinn erfolgen. Die gesiekte Blechwand (links) wird gerade auf Drehung beansprucht

ren. Die Bemühungen der Konstrukteure müssen also in erster Linie auf die Vermeidung der Spannungsspitzen gerichtet sein.

Daß sich die Spannungsspitzen bis heute einer rechnerischen Erfassung entziehen, wurde schon erwähnt. Die in den Handbüchern zu findenden „Formzahlen“ können in manchen Fällen helfen. Sie geben an, wieviel mal die wirkliche Spannung größer



Bild 5: Prüfstand für Rohrkonstruktionen

Die Rohre werden hydraulisch auf Zug beansprucht. Untersucht werden die Spannungen, die dabei in der Umgebung der seitlich angeschweißten Blechlaschen entstehen

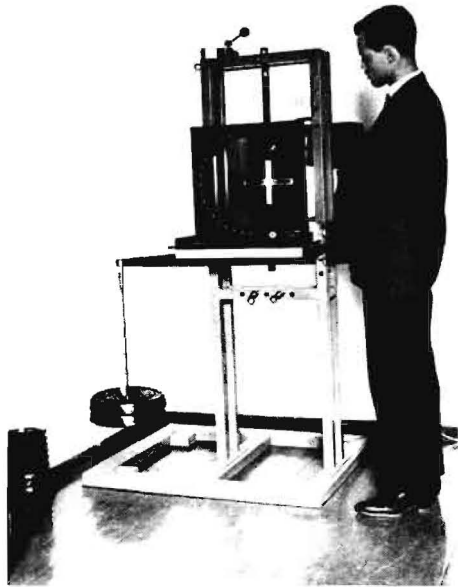


Bild 6: Prüfstand für spannungsoptische Untersuchungen

Man erkennt (hell) zwischen den Polarisationsfiltern das spannungsoptische Modell, ein Kreuzknoten aus Flachmaterial, der durch Gewichte belastet wird

ist als die nach einfachen Verfahren errechnete „Nennspannung“. Die letztere ist aber oft unsicher. Die absolute Höhe der Spannungsspitze ist für die Beurteilung der Bruchgefahr sicher wichtig, aber das Ziel ist, die Spannungsspitzen zu vermeiden. Hier kann ein Gefühl für die Spannungsfelder helfen. Man kann es sich erwerben, wenn man viele Spannungsfelder betrachtet und ihre Ursachen berücksichtigt [7].

Die Spannungsfelder werden um so verwickelter, je kleiner die Wandstärken der Bauteile werden. Da die Tendenz hierzu überall in der heutigen Technik festzustellen ist, muß sich auch der Konstrukteur mit den besonderen hier geltenden Gesetzen auseinandersetzen. Während massive Bauteile, gewalzte Normalprofile, dicke Blechteile usw. eine beträchtliche Eigensteifigkeit („Profilsteifigkeit“) haben, ist dies bei dünnwandigen Teilen nicht der Fall. Ein dünnwandiges U-Profil kann man nur bei besonderen Vorsichtsmaßnahmen so auf Biegung beanspruchen, wie es dem Widerstandsmoment entspricht. Sonst verhalten sich die Flansche anders als der Steg, oder es kommen durch angeschlossene Teile, wenn zum Beispiel die Gesetze des Schubmittelpunktes nicht beachtet werden, zusätzliche Drehmomente hinein, gegen die dünnwandige offene Profile besonders empfindlich sind. Bei Blechwänden, die oben durch aufgepunktete Leichtprofile versteift sind oder die Abkantungen, Sicken oder dergleichen auf-

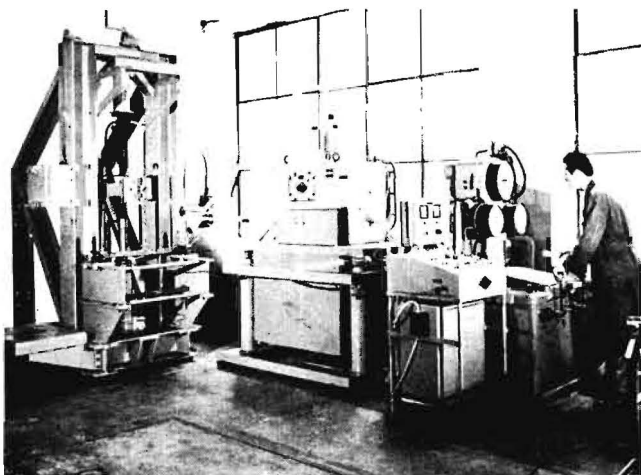


Bild 7: Ein hydraulischer Pulsver für Dauerversuche

Das Prüfstück, ein T-Knoten aus L-Profilen, ist in das Gestell (links) eingespannt. Daneben (im Hintergrund) befindet sich eine dickwandige ölgefüllte Stahlkugel als „Ölfeder“. Anschließend steht die Pumpe auf einem federnd aufgehängten Betonklotz. Rechts sieht man den Steuerstand mit Schalt- und Einstellgeräten sowie elektronischer Einrichtung zum Konstanzhalten der Belastung

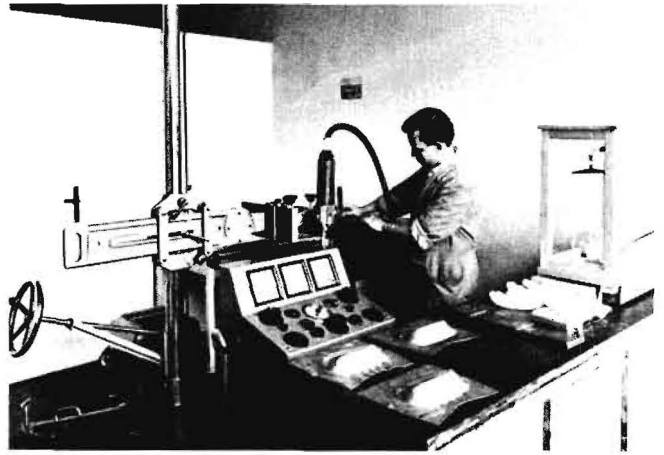


Bild 8: Röntgenprüfstand zum Messen innerer Spannungen

In der Mitte (hochstehend) die Röntgenröhre. Darunter — nicht sichtbar — das Prüfstück. Auch im Vordergrund einige Tiefziehteile. Rechts und links von der Stützsäule befindet sich die Stromversorgung, Kühlung und das Schaltpult

weisen, verformt sich meistens nicht die Konstruktion als Ganzes, sondern jedes Element für sich und nach eigenen Gesetzen. Man kann wohl durch Verringern der Wandstärken und Verwenden anderer Formen erheblich an Werkstoff und Gewicht einsparen, aber die Anforderungen an den Konstrukteur werden größer.

Die inneren Spannungen der Bauteile

Ganz neue Einsichten in die Ursachen mehr oder weniger großer Festigkeit eröffnen sich, als man daran ging, die inneren Spannungen der Bauteile zu untersuchen, das heißt die Spannungen, die schon vorhanden sind, bevor die Spannungen durch äußere Lasten hinzukommen. Sie entstehen beispielsweise durch Schweißen oder durch Kaltverformung und können eine Größe haben, die für sich allein schon an die ertragbare Grenze herankommt. Das ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß bereits eine Temperatur von 100° ausreicht, um bei behinderter Verformung die Fließgrenze zu erreichen. Man kann innere Spannungen durch röntgenografische Verfahren bestimmen. Eine derartige Einrichtung zeigt Bild 8. Das Verfahren ist noch etwas mühsam und gibt nur Einblick in die äußerste dünne Schicht der Werkstoffe. Merkwürdigerweise stellt man hier fast immer Druckspannungen fest und von einer Größe, die hart an der Quetschgrenze liegt. Erst in tieferen Schichten findet man dann auch Zugspannungen. Je nach den Abkühlungsverhältnissen von Schweißverbindungen können die Spannungsfelder in der Umgebung von Schweißnähten recht unterschiedlich sein. Auch bei kaltverformten Teilen, die durch Biegen, Ziehen, Drücken oder Rollen hergestellt sind, findet man Spannungen von beträchtlicher Größe und Mehrachsigkeit. Die Meßergebnisse sind etwas verwirrend und lassen noch keine klaren Linien erkennen, die dem Konstrukteur bei seiner Arbeit nützen könnten, aber das darf die Forschung nicht abhalten, sich mit diesen Problemen weiterhin zu befassen. Die Spannungen sind von solcher Größenordnung, daß ihr Einfluß nicht vernachlässigt werden darf.

Blickt man zurück, so wird man den Eindruck bekommen, daß das festigkeitgerechte Konstruieren in einer lebhaften Entwicklung ist und daß die Forschung sich bemüht, die erforderlichen Grundlagen zu erarbeiten. Da das Gebiet lange Zeit sowohl von der Forschung als auch von der Lehre wenig gepflegt wurde, ist noch viel nachzuholen, so daß noch nicht alle in der Praxis auftretenden Fragen beantwortet werden können. Es liegt aber auch bei den Konstrukteuren, sich mit den bisher schon vorliegenden Ergebnissen zu befassen.

Zusammenfassung

Es wird ein Überblick über die Forschung zur Vertiefung der Grundlagen für das festigkeitgerechte Konstruieren gegeben. Da alle Überlegungen über Festigkeit und Steifigkeit sich auf die mechanischen Spannungen beziehen, die in den Maschinenteilen herrschen, steht die Ermittlung der Spannungsfelder und ihre Beherrschung durch die Gestaltung der Bauteile im Vordergrund des Interesses.

Schrifttum

- [1] KLOTH, W.: Spannungs- und Verformungsfelder als Grundlage der festigkeitsgerechten Gestaltung von Landmaschinen. In: 16./17. Konstrukteurheft, VDI-Verlag, Düsseldorf 1959 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 11) S. 105—109
- [2] SPANGENBERG, D.: Die Konstruktion von Maschinen und Fahrzeugen, die auf unebenen Fahrbahnen fahren. In: 18. Konstrukteurheft, VDI-Verlag, Düsseldorf 1960 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 12) S. 5—12
- [3] BERGMANN, W.: Sichtbar gemachte Spannungsfelder in Maschinenteilen. In: 11. Konstrukteurheft, VDI-Verlag, Düsseldorf 1953 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 4) S. 12—33
- [4] BERGMANN, W.: Neue Erkenntnisse über beanspruchungsgerechte Gestaltung. In: 10. Konstrukteurheft, VDI-Verlag, Düsseldorf 1952 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 3) S. 12—23
- [5] BERGMANN, W.: Spannung und Gestalt bei Knotenpunkten insbesondere bei verwindungsfähigen Konstruktionen. In: 9. Konstrukteurheft, VDI-Verlag, Düsseldorf 1951 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 1) S. 73—81
- [6] KLOTH, W.: Leichtbauheft. Verlag Helmut Neureuter, Wolfratshausen 1951
- [7] KLOTH, W.: Atlas von Spannungsfeldern in technischen Bauteilen. Erscheint demnächst im Stahlisen-Verlag Düsseldorf

Résumé

Willi Kloth: "Constructive Research on Foundations."

A survey of research made up to the time of writing on the deepening of foundations on which stable construction can be built opens the article. Since all considerations of stability and stiffness in machine

parts are based on the mechanical stresses set up, the determination of the fields of stress and their control through correct proportioning of parts is the main feature of the article.

Willi Kloth: «Recherches fondamentales constructives»
L'auteur donne un aperçu sur la recherche entreprise en vue de l'approfondissement des connaissances permettant les constructions à résistance appropriée. Etant donné que toutes les réflexions sur la résistance et la rigidité sont liées aux tensions mécaniques qui sont créées dans les éléments de machine, il faut, en premier lieu, déterminer les zones de tension et savoir influencer sur elles par le dessin approprié des éléments de construction.

Willi Kloth: «Investigación fundamental constructiva»
Se da un resumen de la investigación, tendiendo a profundizar las bases de la construcción, de acuerdo con la teoría de resistencia. Como todas las consideraciones sobre la resistencia y la rigidez dependen de las tensiones mecánicas en los elementos constructivos de la máquina, la investigación de los campos de tensión y su dominación por la forma requieren un interés primordial.

Theodor Stroppel:

Über das Instandsetzen abgenutzter Pflugschare und deren Wärmebehandlung

Institut für landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode

Das Nachschmieden und Härten der Pflugschare wurde früher von demselben Handwerker ausgeführt, der auch den Huf- und Wagenbeschlag beherrschte, also mit der Behandlung des Stahles im rotwarmen Zustand beim Schmieden, Schweißen, Härten und Anlassen gut vertraut und darin auch geübt war.

Durch die fortschreitende Motorisierung der Landwirtschaft, die Verbreitung des luftbereiften Ackerwagens und des Kraftfahrzeuges hat der Hufbeschlag und der Beschlag der vom Stellmacher hergestellten hölzernen Fahrzeuge, die ausschließlich Pferdefuhrwerke waren, für das ländliche Schmiedehandwerk an Bedeutung verloren. Durch den Fortfall dieser vielfältigen Arbeiten war der Schmied gezwungen, sich nach neuen Arbeitsgebieten umzusehen, die sich ihm durch die fortschreitende Mechanisierung der Landwirtschaft beim Instandhalten und Reparieren von Landmaschinen, Neuanfertigen von luftbereiften Stahlackerwagen und ähnlichen Arbeiten anboten.

Während der Schmied früher im wesentlichen Vollmaterial (rund, vierkant, flach) warm verarbeitet, bearbeitet er nun — meist ohne Benutzung des Schmiedefeuers — auch Normal- und Rohrprofile, Bleche und Leichtprofile aus Bandstahl. Er schweißt die Teile nicht mehr in der Schmiedehitze auf dem Amboß, sondern elektrisch oder autogen zusammen. Er wärmt die Teile, die er biegen will, nicht nur im Schmiedefeuer, sondern vielfach autogen an. Er trennt die Teile nicht mehr nur mit dem Schrotmeißel, sondern auch mit der Kaltsäge, oder er schneidet autogen — kurz, seine Schmiedesse bleibt oft tagelang kalt.

So scheinen von allen herkömmlichen Schmiedearbeiten (wenn man in diesem Zusammenhang von den Kunstschmiedearbeiten absieht) das Nachschmieden und -härten der Pflugschare und einiger anderer Werkzeuge übriggeblieben zu sein. Man darf und wird wohl nicht erwarten, daß diese Entwicklung für das handwerkliche Können der nachwachsenden Generation hinsichtlich der Pflugscharinstandsetzung förderlich war und ist.

Die Härte fabrikneuer und instandgesetzter Schare

Das Nachschmieden und -härten von abgenutzten Pflugscharen gehörte schon immer zu den schwierigeren Aufgaben des Schmiedes, sofern man auf eine sachgemäße Ausführung der Arbeiten Wert legt. Bei einer früheren, umfangreichen Untersuchung [1]

wurde festgestellt, daß „zwei Drittel sämtlicher vom Landhandwerk instandgesetzter Schare völlig ungehärtet und der Rest ungenügend — meist viel zu niedrig, einige auch zu hoch — gehärtet waren“. Auch die reine Schmiedearbeit ließ viel zu wünschen übrig; es wurde die Spitze nicht genügend vorgezogen, die Schneide war zu dünn „ausgedengelt“ und die Rückseite der Schare zeigte vom Ausstrecken her zahlreiche tiefe Dellen, die beim Härten und bei der Arbeit auf dem Acker zum Ausbrechen der Schneide führen. In einer neueren Arbeit des Handwerkstechnischen Instituts an der Technischen Hochschule in Hannover über die Instandsetzung der Pflugschare wurde — besonders was das Härten

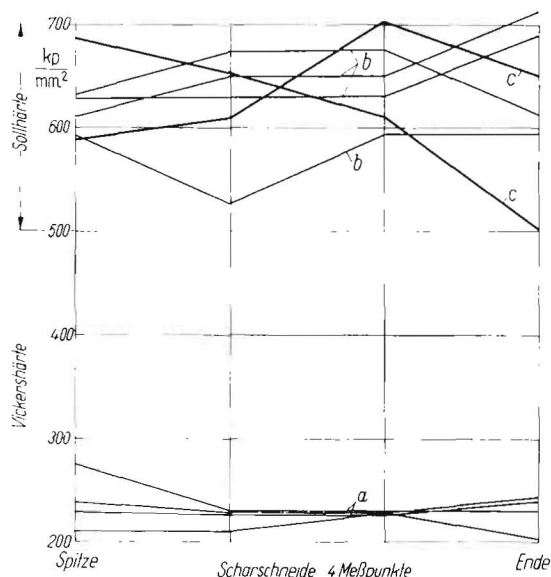


Bild 1: Härtezone entlang der Schneide von Pflugscharen, die in ländlichen Handwerksbetrieben instandgesetzt worden sind (Darstellung vom Verfasser nach Versuchswerten von Delventhal [2])

- a = vier Schare mit völlig ungenügender Härte
- b = dieselben vier Schare wie a, unter ortsüblichen Bedingungen (Rundfeuer, Beurteilung der Temperatur nach der Glühfarbe, Wasserhärtung) sachgemäß nachgehärtet
- c = zwei von ländlichen Handwerkern einwandfrei gehärtete Schare