

Die Vorausbestimmung der Haltbarkeit von Landmaschinen

Das Problem

Jede Neukonstruktion einer Maschine birgt das Risiko in sich, daß die Haltbarkeit irgendeines Teiles nicht ausreicht und dadurch häufig Brüche¹⁾ auftreten. Es kann dann notwendig werden, die schon angelaufene Fabrikation abzuändern, oder gar Maschinen, die bereits ausgeliefert wurden, mit großen Kosten umzubauen. Am sichersten ist es, Neukonstruktionen eine längere Zeit hindurch unter hartem Einsatz in der Praxis zu erproben. Nur selten wird eine solche Zeit zugestanden, da man möglichst schnell die Maschinen auf den Markt bringen will. Als Ersatz werden von der Industrie vielfach Gewaltproben vorgenommen, bei denen die Maschinen hohen Gewaltbeanspruchungen ausgesetzt werden. Solche Proben sind mitunter sehr eindrucksvoll; dabei ist aber zu bedenken, daß die Maschinen in der Praxis in der Regel gar nicht durch solche Gewaltbeanspruchungen zerstört werden, sondern durch Dauerbeanspruchungen. Diese führen oft schon bei weit niedrigeren Spannungen zu Brüchen, wenn sie stattdessen nur mit entsprechender Häufigkeit auftreten. Außerdem ist man keineswegs sicher, daß man die Gewaltproben mit Kräften nach Art und Richtung durchgeführt hat, die für spätere Brüche verantwortlich sind.

Wenn nun bei solchen Gewaltproben Schäden auftreten, so wird man in den meisten Fällen die betreffenden Teile verstärken, also die Querschnitte vergrößern. Ob eine solche Maßnahme richtig ist, ist keineswegs sicher, denn es gibt viele Fälle, in denen eine Verringerung der Querschnitte etwa wegen der dadurch bewirkten Vergrößerung der Nachgiebigkeit besser zum Ziele geführt hat. Bei einfachen Gewaltproben tritt auch nicht in Erscheinung, ob bestimmte Abmessungen nicht etwa viel zu groß sind, das heißt die Maschine an diesen Stellen unnötig viel Material herumschleppt. In allen diesen Fällen dürften Messungen ein geeigneteres Hilfsmittel sein, um die Haltbarkeit von Neukonstruktionen voranzubestimmen.

Die Ermittlung von Kräften

Alle Überlegungen über die Haltbarkeit müssen von den Kräften ausgehen, die in den Maschinen wirken. In manchen Fällen werden Messungen über die Kräfte beim praktischen Einsatz der Maschinen vorliegen. Mitunter kann man aus ähnlich gelagerten Fällen Rückschlüsse ziehen oder sich aus aufgetretenen Brüchen oder Verbiegungen Anhaltspunkte verschaffen. Wenn dies alles nicht der Fall ist, muß man Messungen selbst durchführen.

Am besten geeignet sind hierzu Dehnungsmeßstreifen mit entsprechenden Anzeigeräten. Wenn man nicht selbst über solche Einrichtungen verfügt, wird man sich mit einem Institut, das sie besitzt, in Verbindung setzen. Die Maschine wird an den Stellen, die man für gefährdet hält, mit Dehnungsmeßstreifen beklebt und im praktischen Betrieb so eingesetzt, daß Betriebsituationen entstehen, denen sie gewachsen sein soll. Es braucht sich dabei keineswegs um außergewöhnlich große Kräfte zu handeln; denn oben wurde schon ausgeführt, daß unter Umständen kleinere, aber häufige Kräfte gefährlicher sein können. Die Auswahl dieser Betriebszustände muß also gut überlegt werden. Der Versuch darf nicht nach wenigen Minuten abgebrochen werden, sondern muß solange dauern, daß auch wirklich maßgebliche Betriebsituationen erfaßt werden. Wenn man die Arbeit der Maschine bei diesen Messungen beobachtet, wird man sich ein Bild darüber machen können.

Im allgemeinen werden die Meßwerte durch ein Schreibgerät aufgezeichnet. Oft wird dies ein Oszillograph sein oder ein Schreibgerät, das unmittelbar sichtbare Kurven aufzeichnet. In neuerer Zeit verwendet man auch zählende Geräte, die sofort Beanspruchungen bestimmter Größenklassen zählen, so daß man aus den Angaben der Zählwerke unmittelbar eine Häufigkeitskurve

zeichnen kann. Im anderen Falle muß man den Schrieb des Oszillographen auszählen, um feststellen zu können, wie oft Beanspruchungen bestimmter Größe vorgekommen sind. Es hat wenig Zweck, etwa Mittelwerte auszuplanimetrieren, da sie über die Dauerbruchgefährdung nichts aussagen.

Da die Kräfte, denen die Landmaschinen ausgesetzt sind, stark schwanken, ist die Auswertung durch Häufigkeitsdarstellungen zweckmäßig oder gar notwendig. Die Häufigkeitskurven haben in der Regel die Form der bekannten GAUSSschen Glockenkurve. Sie zeigen, daß bestimmte mittlere Meßwerte am häufigsten vorkommen, größere oder auch kleinere weit weniger häufig. Sehr große Kräfte werden so selten vorkommen, daß ihre Berücksichtigung für die Konstruktion zu teuer würde. Der Konstrukteur oder auch der Kaufmann werden sich also eine Grenze setzen müssen, bis zu der ihre Maschine solche Kräfte aushalten soll. Der Konstrukteur wird sich aber auch fragen müssen, bis zu welchen Kräften beziehungsweise Lastwechselzahlen die Maschine dauerfest sein soll. Diese Entscheidung wird oft nicht ganz einfach sein. Nehmen wir aber an, daß der Konstrukteur zu der Entscheidung gekommen ist, welchen Kräften seine Maschine standhalten soll. Er wird dann mit diesen Werten weiterarbeiten können.

Berechnungen

Es ist nun naheliegend, daß man versucht, unter Zugrundelegung derart angenommener Kräfte die Maschinenteile zu berechnen. Die Festigkeitslehre gibt hierfür Anhaltspunkte. Man sollte solche Rechnungen auch immer durchführen, wenn man sich dabei bewußt ist, daß sie nur einen ersten Anhalt für die Beurteilung der Festigkeit geben und meist nur Mindestwerte darstellen.

Ermittlung der Spannungsfelder

Die Forschungsarbeiten der letzten Zeit haben deutlich gemacht, daß die Verteilung der Spannungen an der Oberfläche der Maschinenteile viel komplizierter ist, als man nach den einfachen Festigkeitsüberlegungen annahm. Es ist unwahrscheinlich, daß man schon mit den Angaben der Dehnungsmeßstreifen aus den Feldversuchen allein maßgebende Spannungen erfaßt, da man nicht weiß, ob man die Streifen am richtigen Ort und in der richtigen Richtung aufgeklebt hat. Man wird also gut tun, die Spannungsfelder in den wichtigsten Teilen der zu untersuchenden Maschine außerdem durch Messung in der nachfolgend beschriebenen Weise zu bestimmen.

Hierzu bringt man die im Feldversuch nach oben beschriebener Art ermittelten maßgebenden Kräfte statisch an der Maschine an²⁾. Die betreffenden Maschinenteile hat man vorher mit dem bekannten Reißlack überzogen. Der Reißlack bekommt dabei die bekannten Risse, von denen man zweckmäßig einige mit weißer Farbe nachzieht. Man weiß dadurch, in welcher Richtung die Dehnungsmesser, welche die Größe der Spannungen angeben sollen, aufgesetzt werden müssen. Das Spannungsfeld wird dann punktweise ausgemessen, und zwar senkrecht und parallel zu den Dehnungslinien, damit man in jedem Punkte die erste und die zweite Hauptspannung bekommt. Letzteres ist wichtig, damit man sich ein Bild über die Mehrachsigkeiten oder die neben den Normalspannungen auftretenden Schubspannungen machen kann. Man ermittelt sie unter Zuhilfenahme des MOHRschen Kreises. Sie sind maßgebend für die plastischen Verformungen, während die Normalspannungen für Trennungsbrüche entscheidend sind.

Aus diesen punktuellen Messungen wird sich nun das Spannungsfeld des Maschinenteiles ergeben. Besonders interessieren werden hierbei die Spannungsspitzen, denn es hat sich gezeigt, daß hier

¹⁾ Die Begrenzung der Haltbarkeit durch Abnutzungen soll bei anderer Gelegenheit behandelt werden

²⁾ Praktisch wird das so geschehen, daß man die Maschine auf dem Prüfstand verankert und sie mit einem Flaschenzug unter Zwischenschaltung eines Zugkraftmessers in der geschätzten Richtung so hoch belastet, bis die Dehnungsmesser an den betreffenden Stellen wieder die gleichen Spannungen anzeigen wie in dem vorausgegangenen Feldversuch

der Ausgangspunkt etwaiger Dauerbrüche liegt. Man wird meistens nur die Spitzen der größten Normalspannung betrachten, da in der Regel auch hier die größten Schubspannungen vorliegen. Dauerbrüche können auch dann entstehen, wenn sich die Spannungsspitzen nur über örtlich eng begrenzte Bereiche von wenigen mm² erstrecken. Es ist deshalb wichtig, bei den Messungen vor allen Dingen die Ecken der Bauteile und die Krafteinleitungsstellen zu beachten, da hier in der Regel die größten Spannungen vorhanden sind.

Die konstruktiven Auswirkungen der Spannungsfelder

Es sollte zu der Grundausbildung der Konstrukteure gehören, daß sie wissen, durch welche Maßnahmen sie nun Spannungsspitzen abbauen können. Heute wird dieses Grundwissen an den technischen Schulen kaum schon gelehrt. Die Konstrukteure müssen sich also in den Veröffentlichungen umsehen, damit sie sich diese Kenntnisse erwerben.

Die wichtigste Maßnahme ist, die Konstruktion überhaupt von Spannungsspitzen zu bereinigen. Dies ist wesentlichler als die Größe der Spannungen zu reduzieren, da man bei gleichmäßigen Spannungen nur selten Dauerbrüche bekommen wird.

Stichwortartig seien im Folgenden Ursachen von Spannungsspitzen beziehungsweise Maßnahmen zu ihrer Beseitigung aufgezählt: Steifigkeitssprünge, wie überhaupt alle örtlichen Behinderungen der Verformung sind zu vermeiden, dazu gehören auch die bekannten Kerbwirkungen; Abrundungen an Querschnittsübergängen sollen immer mit möglichst großem Rundungshalbmesser ausgeführt werden; Schweißnähte sollen nicht an Stellen hoher Spannungen gelegt werden, dies gilt insbesondere für Einbrandkerben; dünnwandige Bauteile müssen besonders sorgfältig behandelt werden, da die Form der Querschnitte bei der Belastung oft nicht erhalten bleibt.

Während Spannungsspitzen für das Entstehen von Dauerbrüchen entscheidend sind, sind es mehrachsige Zugspannungen für das Entstehen von spröden Brüchen. Letztere können etwa eintreten, wenn ein Fahrzeug bei strengem Frost über ein holpriges Pflaster fährt. Bei niedriger Temperatur in Verbindung mit stoßartigen Belastungen können dann mehrachsige Zugspannungszustände die spröden Brüche auslösen. Die konstruktiven Maßnahmen, die der Konstrukteur vorsehen muß, sind also in solchen Fällen ganz anders, als die bei der Gefährdung durch Dauerbrüche. Mehrartige Zugspannungen treten auf, wenn auch die Querkontraktion sich nicht auswirken kann. Dies gilt auch für die dritte Raumrichtung, in der man aber leider die Spannungen nicht messen kann. Allseitige Verformungsbehinderungen, wie sie beispielsweise durch Kerben und durch aufgeschweißte Laschen eintreten können, führen also zu solchen Mehrachsigkeiten, die spröde Brüche unter gewissen Verhältnissen auslösen können. Mehrachsige Zugspannungszustände sind im Spannungsfeld zu erkennen, so daß der Konstrukteur sich überlegen kann, wie er sie zu beseitigen hat.

Diese Untersuchungen sagen also nicht aus, wieviel Betriebsstunden eine Maschine halten wird. Solche Angaben versucht man beim Vorliegen gleichmäßiger Beanspruchungen, beispielsweise bei Kraftmaschinen oder auch Fahrzeugen, zu machen. Aber bei Landmaschinen wird man sich damit begnügen müssen, die Maschinen von schwachen Stellen bei bestimmter Gefährdung, zum Beispiel durch Dauerbrüche, zu befreien.

Praktische Beispiele

In den beiden folgenden Aufsätzen (THIEL und SPANGENBERG) soll die Durchführung solcher Untersuchungen an einem Heuwender gezeigt werden^{*)}. In praktischen Fällen wird man oft auf die vollständige Beantwortung aller auftretenden Festigkeitsfragen verzichten und sich auf bestimmte Belastungsfälle, die man für besonders wichtig hält, beschränken, oder man wird nur bestimmte Bauteile untersuchen, auf deren Haltbarkeit man besonderen Wert legt. Solche Vereinfachungen wurden auch bei den im folgenden beschriebenen Untersuchungen vorgenommen.

^{*)} Die Untersuchungen wurden durchgeführt, als der Verfasser noch Direktor des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung, Braunschweig-Völkenrode war

Zusammenfassung

Es werden die Möglichkeiten diskutiert, zu einer Voraussage der Haltbarkeit von Landmaschinen zu kommen. Dabei werden längere Erprobungen im praktischen Betrieb, Gewaltproben, Berechnungen und systematische Spannungsuntersuchungen behandelt. Die letzteren werden näher beschrieben, da sie ein gutes Bild über die voraussichtliche Haltbarkeit erbringen und auch die Wege zu ihrer Vergrößerung zeigen. Diese Verfahren dürften schließlich auch die billigsten sein, da die Kosten für längere Einsätze in der Praxis und auch für Gewaltbeanspruchungen nicht unterschätzt werden dürfen. Außerdem ergeben die letzteren oft nur Ergebnisse von zweifelhaftem Wert.

Résumé

Willi Kloth: "The Predetermination of the Durability of Agricultural Machinery."

The possibilities of determining the durability of agricultural machinery are discussed. The results of lengthy tests in actual practice, including tests to destruction and systematic investigations of stresses and their calculations, are touched upon in these discussions. The investigations made on stresses are described at length, since they give a good picture of the possible durability as well as indicating ways and means for increasing the durability and life of agricultural machinery. These methods should also prove to be the cheapest in the end, since the costs of over-lengthy life and long periods of over-stressing must not be underestimated. Furthermore, the latter frequently only give results of doubtful value.

Willi Kloth: «La détermination de la durée de vie probable des machines agricoles.»

L'auteur examine les possibilités de détermination de la durée de vie probable des machines agricoles et il cite les essais prolongés dans l'exploitation, les essais de manoeuvres brutales, les calculs et l'examen systématique des contraintes. Il décrit ce dernier en détails puisqu'il fournit un indice précieux sur la durée de vie probable et qu'il montre aussi le chemin qui conduit à une augmentation de la durée de vie. Cette méthode est en fin de compte aussi la moins coûteuse, car il ne faut pas sousestimer le coût des essais prolongés pratiques et des essais faisant intervenir des manoeuvres brutales. De plus, ces derniers ne donnent souvent que des résultats de valeur douteuse.

Willi Kloth: «La determinación previa de la duración de maquinaria agrícola.»

Se discute la posibilidad de la determinación previa de la vida de maquinaria agrícola, tratándose de la comprobación práctica en servicio prolongado, de ensayos violentos, de cálculos y de investigaciones sistemáticas de tensiones. Estas últimas se describen en detalle, ya que dan una impresión verídica de la vida probable, indicando al mismo tiempo los medios que contribuyen a alargarla. Probablemente este procedimiento será también el más económico, ya que no conviene despreciar los gastos que ocasiona el empleo práctico prolongado, ni los de los ensayos violentos. Además estos últimos sólo dan resultados de un valor bastante dudoso.

Bericht über den C.I.G.R.-Kongreß in Brüssel

Vom 29. September bis zum 4. Oktober 1958 fand in Brüssel im «Palais des Congrès» der fünfte „Internationale Kongreß für Technik in der Landwirtschaft“ unter dem Vorsitz von A. BLANC, Präsident der «Commission International de Génie Rural» (C.I.G.R.), statt. Mehr als 400 Fachleute aus 31 verschiedenen Ländern konnten an diesem Kongreß teilnehmen.

Heute liegen die Berichte und Referate, die auf diesem Kongreß erstattet wurden, gedruckt in zwei umfangreichen Bänden (insgesamt 1586 Seiten, 285 Abbildungen) vor.

Band I enthält die Niederschriften über die Eröffnungssitzung, die Sektionssitzungen und die Schlußsitzung sowie die Referate der ersten Sektion (Boden- und Gewässerkunde und ihre Anwendung im Meliorationswesen). In Band II sind die Referate der zweiten Sektion (Landwirtschaftliches Bauwesen und Ausrüstung), der dritten Sektion (Landmaschinen und Elektrizität auf dem Lande) und der vierten Sektion (Landarbeit und Landtechnik) veröffentlicht.

Beide Bände sind zum Preise von 850 belgischen Franken von der «Commission Belge de Génie Rural», 69 Avenue des Combattants, Gembloux, Belgien, zu beziehen.