

# Landmaschinenträgerwerke beanspruchungsgerecht dimensioniert — rechnerischer Haltbarkeitsnachweis mit Hilfe der EDV

Dipl.-Ing. H. Rosner/Dipl.-Ing. B. Kritzner, VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen

Obwohl der Anteil der tragenden Baugruppen von mobilen Landmaschinen kaum mehr als 10% der Gesamtmasse der Maschine beträgt, wird ihre konstruktive Entwicklung mit großer Sorgfalt durchgeführt. Das wird dadurch begründet, daß Rahmen und Maschinengestelle große Bedeutung für die Zuverlässigkeit des Erzeugnisses haben und daß sie einer Festigkeitsberechnung unterzogen werden können. Gegenüber dem experimentellen Haltbarkeitsnachweis läßt sich mit der Haltbarkeitsberechnung kostengünstig und relativ schnell eine gute materialökonomische Lösung finden.

Der rechnerische Haltbarkeitsnachweis kann schon für die ersten Entwicklungsmuster geführt werden. Hierbei werden Erfahrungswerte für die Belastung angesetzt.

Um die rechnerischen Verfahren möglichst rationell zu gestalten, sind umfangreiche EDV-Programme für E<sub>5</sub>ER-Anlagen entwickelt worden.

Das Programmiersystem AUTRA des Instituts für Leichtbau Dresden stellt mit seinem Stabwerksprogramm eines der zentralen Arbeitsmittel des rechnerischen Haltbarkeitsnachweises in der Landmaschinenkonstruktion dar. Es wird durch die der Belastungsermittlung dienenden industriezweigspezifischen Programme VEMA und LAST erweitert, so daß z. Z. alle mit EDVA zu lösenden Arbeitsschritte zu einem aufeinander abgestimmten durchlaufenden Berechnungssystem vereinigt sind.

## 1. Statisches System

Für die Festigkeitsberechnungen an tragenden Baugruppen muß ein Modell aus berechenbaren Tragelementen aufgestellt werden, das möglichst genau entsprechend den wirklich auftretenden Kräftefluß wiedergeben kann. Bei der Nachrechnung bestehender Landmaschinenbaugruppen ist dies oftmals ein schwieriges Problem für den Berechnungsingenieur, wenn er nicht bereits im Entwurfsstadium Einfluß auf

die übersichtliche Anordnung der tragenden Teile nimmt.

Beim Entwurf eines neuen Modells muß neben der Gewährleistung der Arbeitsfunktion der Landmaschine auch die Tragfunktion berücksichtigt werden. Sie wird als Modell im statischen System erfaßt, das bei Landmaschinenträgerwerken i. allg. ein Stabsystem ist. Nach der Art der Baugruppe, die beispielsweise ein Rahmen, ein Maschinengestell mit tragenden Blechwänden, ein Schacht oder ein Schneidwerkstrog sein kann, ist der Grad der Idealisierung bei der Festlegung des statischen Systems verschieden hoch. Dementsprechend genau ist das zu erwartende Ergebnis der Berechnung.

Idealisierungen werden erforderlich, um das statische System an die Möglichkeiten der Rechenprogramme zur Schnittkraftermittlung anzupassen. Tragende Wände werden häufig durch Diagonalen des entsprechenden Feldes ersetzt. Stabanschlüsse an die Systemknoten können für einzelne Schnittkraftkomponenten nur gelenkig oder eingespannt angesetzt werden, Kräfteinleitungsstellen erhalten fast immer Punktlasten.

Die Größe des statischen Systems, d. h. die Anzahl von Stäben und Knoten, kann bei AUTRA sehr groß sein. Zusätzlich dürfen die Stäbe noch bis zu 10 geradlinige Abschnitte haben. Der Berechnungsingenieur muß bei seiner Systemnumerierung unbedingt darauf achten, daß die Differenz der beiden Knotennummern eines Stabes möglichst gering ist, damit die Rechenzeit bei größeren statischen Problemen in vertretbaren Grenzen bleibt. Im Bild 1 ist das statische System eines Getreideschneidwerks zu sehen. In räumlicher Darstellung sind die Schwerpunktlinien der Stäbe des Schneidwerkstroges zu erkennen. Der Berechnungsingenieur schafft sich dieses anschauliche Hilfsmittel zur Aufbereitung der von den EDV-Programmen angeforderten Daten. Besonders die Numerierungen folgender statischer Elemente werden erfaßt:

- Knoten 1 bis 12 (Ziffern im Kreis)
- Stäbe 1 bis 14 (Ziffern im Viereck)
- Stabsabschnitte 13 bis 63.

— Kräfteinleitungsstellen für die äußere Belastung 97 bis 100 bzw. A bis D.

Weiterhin sind starre Abschnitte des Tragwerks (starke Systemlinien), Art der Knoten und Stabzusammenhänge zu erkennen. Das abgebildete statische System mit 12 Knoten und 14 Stäben stellt ein verhältnismäßig kleines System dar.

Im Bild 2 wird das statische System für den Mährescher E 512 vereinfacht dargestellt. Es ist ein sehr großes System mit 123 Knoten und 272 Stäben. Besonderheiten sind im statischen Aufbau der beiden Seitenwände und in der Schüttlerhaube zu sehen. Diese aus L-Profilen aufgebauten Grundgestelle werden mit Hilfe von punktgeschweißten Blechfeldern zu Schubwandssystemen, deren Längsträger zusätzliche Rahmenfunktionen zu übernehmen haben. Diese zusätzliche Beanspruchung resultiert aus der senkrecht zur Schubwandebene auftretenden Belastung des räumlichen Maschinengestells und aus den Kräfteinleitungsstellen, die oft nicht in Systemknoten liegen. Da für diese gemischt beanspruchten räumlichen Rahmen-Schubwand-Trägerwerke noch keine spezifischen Rechenprogramme zur Verfügung stehen, sind die Blechfelder in ihrer Wirkung als Felddiagonale idealisiert worden und die Biegesteifigkeit der Randprofile in der Blechfeldebene nach Abschätzung sehr groß angesetzt worden. Die Querschnittsflächen dieser Diagonalen, die wegen Berücksichtigung der Längskraftarbeit bei der Schnittkraftermittlung einzugeben sind, werden nach der Zugfeldtheorie bestimmt, wobei unter Betriebsbedingungen auftretende maximale Überschreitungsgrade von 2,0 Berücksichtigung finden.

Wie an den beiden Beispielen dargestellt ist, konzentriert sich in der Aufstellung des statischen Systems und in der Ermittlung aller erforderlichen Koordinatenwerte aus den Zeichnungsunterlagen sowie der übrigen programmspezifischen Daten ein wesentlicher Teil der Vorbereitungsarbeiten des Berechnungsingenieurs beim rechnerischen Haltbarkeitsnachweis einer Landmaschine. Diese Arbeiten erfordern viel Erfahrung und Sorgfalt, um mit der statischen Berechnung möglichst umfangreiche Aussagen treffen zu können.

verzeichnen ist. Der zulässige mittlere Schalldruckpegel von 85 dB (A) wird wesentlich unterschritten.

## 4.3. Ökonomische Kennziffern

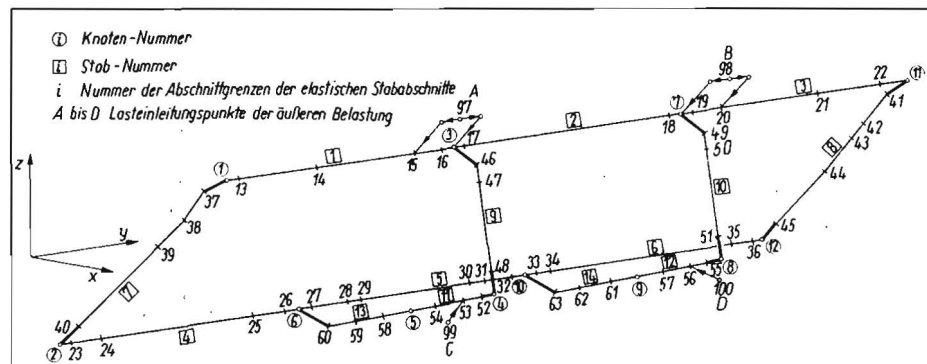
Wichtige ökonomische Kennzahlen sind in Tafel 2 zusammengestellt.

## 5. Zusammenfassung

Mit den im Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Anlagenbau Petkus Wutha, entwickelten Zellenauslesern K 236 A und K 236 A 01 werden in Verbindung mit den Siebsichtern K 547 A und K 548 A der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft moderne, leistungsfähige Aufbereitungsmaschinen zur Verfügung gestellt, die eine hohe Arbeitsproduktivität und ein qualitativ hochwertiges Endprodukt garantieren.

A 2819

Bild 1. Statisches System für ein Getreideschneidwerk



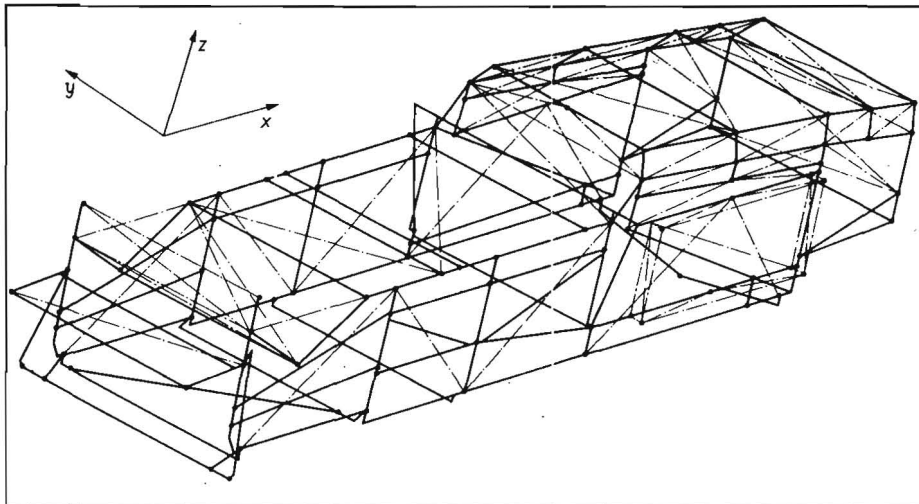


Bild 2. Rechenmodell für den Mähdrescher E 512

## 2. Lastannahmen

Während der Fahrt auf den verschiedenen landwirtschaftlichen Fahrbahnen erfährt die selbstfahrende Landmaschine infolge der Fahrbahnebenheiten Stoßbelastungen. Diese äußern sich als Schwingungsvorgänge der elastisch auf den Reifen abgestützten Maschine. Die damit verbundenen Beschleunigungen verursachen zeitlich veränderte Kräfte an allen vier Rädern. An jedem Rad wirken drei Kraftkomponenten, nämlich in x-, y- und z-Richtung. Das x-y-z-Koordinatensystem ist starr mit der Maschine verbunden, und die Radkräfte sind positiv, wenn ihre Vektoren in die Richtung dieser Koordinatenachsen zeigen (Bild 3).

Für die statische Berechnung wird die Maschine von der Fahrbahn gelöst. Anstelle der Fahrbahn werden die zwölf Kräfte an den Rädern der Maschine angesetzt. Diese gleichzeitig wirkenden Kräfte ergeben einen Lastfall. Sie sind aus Radkraftmessungen bekannt. Ein Lastfall allein reicht nicht aus, um die Beanspruchung des Fahrgestells richtig berechnen zu können, weil jede der zwölf Kräfte an den verschiedenen Punkten des Fahrgestells eine unterschiedliche Wirkung hervorbringt. Deshalb werden verschiedene Lastfälle mit unterschiedlichen Kräften definiert. Diese stellen insgesamt die Lastannahmen dar.

Zur Gewinnung der Lastfälle werden in die gleichzeitig gemessenen Radkraftverläufe sogenannte „zeitgleiche Schnitte“ gelegt. Die Radkräfte werden mit speziellen Ringmeßgeräten auf der Grundlage von Spannungs-Dehnungs-Messungen festgestellt. Der zeitliche Verlauf der Radkräfte wird mit Lichtschreiber auf Fotopapier aufgezeichnet. Zu einer bestimmten Zeit  $t$  werden anhand dieser Aufzeichnungen alle zwölf Radkräfte ermittelt. Dafür werden besonders markante Stellen des Meßschriebs ausgewählt.

Die Lastannahmen sind auf den beabsichtigten Festigkeitsnachweis orientiert und untergliedern sich in

- Lastfälle für den statischen Spannungsnachweis
- Lastfälle für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis.

Der statische Spannungsnachweis beinhaltet den Nachweis der Sicherheit gegen unzulässig hohe plastische Deformation des Fahrgestells. Damit werden solche Beanspruchungen, wie Einzelhindernisüberfahrt, Grabendurchfahrt, Bergungsvorgänge, extreme Feldauffahrt und Spurrillenquerüberfahrt, erfaßt.

Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis beinhaltet den Sicherheitsnachweis gegenüber Schwingbruch. Damit werden die üblichen Fahrten auf

den verschiedenen Fahrbahnen in ihrem Schädigungsverhalten auf das Fahrgestell berücksichtigt.

Die Zahl der Lastfälle wird dadurch erhöht, daß der Selbstfahrer mit verschiedenen Schneidwerken und Aufnehmern in unterschiedlichen Rüstzuständen eingesetzt werden kann. Prinzipiell wird unterschieden in:

- Arbeitsstellung
- Feldtransportstellung
- Transportstellung.

### Arbeitsstellung

Das Schneidwerk ist in die Aufnahmevorrichtungen der Maschine eingehängt und auf den Acker abgesenkt. Bedingt durch die geringen Fahrgeschwindigkeiten (bis maximal 12 km/h) ist die Beanspruchung des Fahrgestells verhältnismäßig gering.

### Feldtransportstellung

Das Schneidwerk hängt in den Hubhaken der Maschine. Es ist in die Höchststellung angehoben und eventuell verriegelt. Bedingt durch die hohen Fahrgeschwindigkeiten (bis maximal 30 km/h) in Verbindung mit der hohen Belastung der Maschine durch das Schneidwerk mit einer Masse von rd. 2 t entsteht eine hohe Beanspruchung des Fahrgestell-Vorderteils. Höchste Belastung bringt das Maisschneidwerk im Vergleich zu Schwadaufnehmer und Getreideschneidwerk.

### Transportstellung

Das Schneidwerk liegt auf dem Schneidwerkswagen, und dieser wiederum ist hinten an die Maschine angehängt. Hohe Fahrgeschwindigkeiten in Verbindung mit einer hohen Achslast der Hinterachse (keine Entlastung durch das Schneidwerk) führen zu einer hohen Beanspruchung des Fahrgestell-Hinterteils.

Tafel 1 enthält eine Zusammenstellung maßgeblicher Lastfälle für den statischen Spannungsnachweis am Mähdrescher E 516 in Feldtransportstellung. Lastfall R gibt die Ruheradlasten an, wie sie im Stillstand der Maschine auf ebenem Untergrund auftreten.

## 3. Ermittlung dynamischer Belastungen in Baugruppen und daraus resultierende Kraftwirkungen am Fahrgestell

An der freigemachten, d. h. von der Fahrbahn gelösten Maschine muß Kräfte- und Momentengleichgewicht herrschen. Dies bedeutet, daß die Radkräfte mit Trägheitskräften und -momenten im Schwerpunkt aller Baugruppen der Maschine im Gleichgewicht stehen müssen. Diese Trägheitskräfte rufen, ebenso wie die Radkräfte und inneren Kräfte (Keilriemen-, Federvorspannung u. ä.), Kraftwirkungen in den Anschlußpunkten am Fahrgestell hervor. Sofern die Baugruppen nicht Bestandteil des tragenden Systems sind, kann somit das Fahrgestell für die Festigkeitsberechnung von allen Baugruppen und sonstigen Belastungsverursachern freigemacht werden. An ihre Stelle treten die durch sie verursachten Kraftwirkungen. Damit ist die Voraussetzung für eine übliche statische Berechnung geschaffen.

### 3.1. Ermittlung der Trägheitskräfte der Baugruppen

Aus den Kraftwirkungen an den Rädern heraus werden resultierende Kräfte und Momente im Schwerpunkt der Maschine berechnet. Die Massenverteilung der Maschine ist zum einen durch ihre Eigenmasse und zum anderen durch sechs Massenträgheitsmomente gegeben. Diese Angaben reichen aus, um den Beschleunigungs-

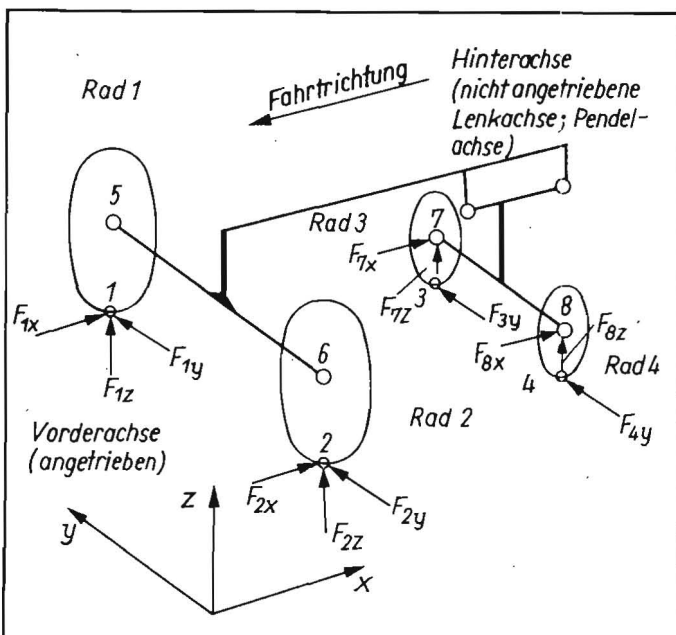


Bild 3. Radkräfte der selbstfahrenden Landmaschine

Tafel 1. Lastfälle für den statischen Spannungsnachweis in Feldtransportstellung beim Mähdröschler E 516

Lastfall	Rad 1			Rad 2			Rad 3			Rad 4		
	$F_{1x}$ kN	$F_{1y}$ kN	$F_{1z}$ kN	$F_{2x}$ kN	$F_{2y}$ kN	$F_{2z}$ kN	$F_{7x}$ kN	$F_{7y}$ kN	$F_{7z}$ kN	$F_{8x}$ kN	$F_{8y}$ kN	$F_{8z}$ kN
1	13,9	19,5	130,7	-21,5	16,1	126,2	4,9	0	11,35	0	0	11,35
2	-16,7	-13,9	11,1	10,7	5,4	99,3	-13,0	-4,9	30,8	-6,5	-14,6	26,0
3	39,0	-39,0	39,0	10,7	-8,1	38,0	0	3,3	37,3	0	0	37,3
4	33,4	-25,0	153,0	-8,1	16,1	53,7	1,6	0	9,7	0	-4,9	9,7
R	0	0	55,6	0	0	53,7	0	0	16,22	0	0	16,22

vektor (drei translatorische und drei rotatorische Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung) im Schwerpunkt der Maschine zu berechnen. Für die Berechnung wird die selbstfahrende Landmaschine als starrer Körper idealisiert. Die Berechnung des Beschleunigungsvektors im Schwerpunkt jeder einzelnen Baugruppe ist einfach anhand der geometrischen Verhältnisse möglich. Das Produkt aus den Kennwerten der Masseverteilung der Baugruppe (Eigenmasse, Eigenmassenträgheitsmomente) und dem berechneten Beschleunigungsvektor ergibt die Kraftwirkungen im Schwerpunkt der Baugruppe. Diese bestehen aus drei Kräften und drei Momenten.

Der Berechnungsgang ist automatisiert in einem mit LAST bezeichneten Programm für EDVA ES 1040. Einzelheiten der zugehörigen Theorie enthält [1].

### 3.2. Ablösung von Baugruppen und anderen Belastungsverursachern

Im Abschn. 3.1. waren alle Baugruppen und sonstigen Belastungsverursacher fest mit dem Fahrgestell verbunden. Das Ziel besteht jedoch darin, das Fahrgestell aus der Maschine herauszulösen, um dessen Festigkeitsberechnung nach den Regeln der Statik ausführen zu können. Deshalb werden alle Baugruppen, die nicht dem tragenden Verband des Fahrgestells zugerechnet werden können, vom Fahrgestell gelöst. An ihre Stelle treten deren Kraftwirkungen am Fahrgestell.

Es hat sich gezeigt, daß die Ablösung der verschiedenen Baugruppen und Belastungsverursacher (Radkräfte, innere Kräfte) auf das Fahrgestell immer wieder nach den gleichen Gesichtspunkten erfolgt. Deshalb wurden verschiedene Modellsysteme der Ablösung geschaffen, insgesamt sieben. Diese Modellsysteme können beliebige räumliche Anordnung haben und auch beliebig miteinander gekoppelt sein.

Diese Modellsysteme und ihre Kopplung können mit dem Programm VEMA für EDVA

ES 1040 berechnet werden. Für jede einzelne Baugruppe und für jeden einzelnen Lastfall ergeben sich dann die Kraftwirkungen am Fahrgestell. Ausgangspunkt sind die berechneten Kraftwirkungen im Schwerpunkt der Baugruppe.

Im Bild 4 ist eine Auswahl der genannten Modellsysteme dargestellt. Bild 5 zeigt eine Kombination von Modellsystemen für die Baugruppe Dieselmotor. Einzelheiten des Berechnungsablaufs enthält [2].

### 4. Schnittgrößenermittlung, Spannungs-berechnung und Sicherheitsnachweis

Nach Abarbeitung der in den Abschn. 2 und 3 erläuterten Aufgaben sind alle Voraussetzungen erfüllt, den rechnerischen Haltbarkeitsnachweis zu führen. Die dabei noch ausstehenden Probleme sind die Ermittlung der Schnittkräfte und -momente, Nennspannungen, ertragbaren Spannungen und Sicherheiten für alle maßgeblichen Querschnitte und Profilstellen des Tragwerks.

Alle genannten Aufgaben werden mit Hilfe des Programmiersystems AUTRA des Instituts für Leichtbau Dresden [3] auf der EDVA ES 1040 durchgeführt. Dabei ist von großer Bedeutung, daß die im Abschn. 3 vorgestellten, auf mobile Landmaschinen zugeschnittenen Programme VEMA und LAST zu Autra paßfähig sind und damit die Menge der bereitzustellenden Daten auf ein Minimum herabgesetzt werden kann. Das wird ermöglicht z.B. durch Wiederverwendung der Geometriedaten des Programms VEMA auch im AUTRA-System. Die größte Einsparung wird jedoch durch die automatische Berechnung der Belastungsdaten mit dem Programm LAST erzielt. Da bei Landmaschinen-tragwerken sehr viele Lasteinleitungsstellen berücksichtigt werden müssen, haben die Belastungsdaten z.T. einen doppelt so großen Umfang wie die Geometriedaten.

Das Rechenprogramm zur Ermittlung der Schnittgrößen von Stabtragwerken mit vielen statisch Überzähligen arbeitet nach der De-

formationsmethode. Es liefert zusätzlich noch die Verschiebungen und Verdrehungen aller Knotenpunkte. Die Rechengenauigkeit des Programms ist sehr hoch, so daß die Genauigkeit der Ergebnisse hauptsächlich vom statischen System abhängt.

Im Anschluß an die statische Berechnung wird mit dem AUTRA-Programm „Rahmen im Schienenfahrzeugbau“ der Festigkeitsnachweis für statische und dynamische Lastfälle durchgeführt. An jeweils 4 Punkten der gewählten Querschnitte des Stabtragwerks kann der rechnerische Haltbarkeitsnachweis nach Standard TGL 14915/01 geführt werden.

Das Programm fordert nur noch Querschnittskennwerte, Nummern der Linien für ertragbare Spannungen und die Zuordnung der Querschnittsnummern zum statischen System an. Die ertragbaren Spannungen für den eingesetzten Werkstoff werden vom Werkstoff-Magnetband übernommen. Als Rechenergebnisse liefert das Programm die Nennspannungen (Normalspannungen aus der Längskraft und den beiden Biegemomenten sowie Schubspannungen aus dem Torsionsmoment) und die Sicherheiten für alle statischen und dynamischen Lastfälle. Hierbei werden alle Schnittstellen des Stabtragwerks behandelt, die mit Querschnittsnummern versehen sind.

### 5. Umsetzung der Rechenergebnisse bei der konstruktiven Entwicklung

Hauptziele des rechnerischen Haltbarkeitsnachweises sind die Aufdeckung von überdimensionierten Tragwerksteilen und das frühzeitige Feststellen von Schwachstellen. Letztere können vor allem bei Entwicklungsmustern zu Störungen des Programms der landtechnischen Erprobung und des experimentellen Haltbarkeitsnachweises führen. In speziellen Fällen ist die Festigkeitsberechnung auch als einziger Haltbarkeitsnachweis vor der Serieneinführung ausreichend.

Die Einschätzung der Rechenergebnisse erfolgt durch Vergleich mit den erforderlichen Sicherheiten. Der Berechnungsingenieur muß also beim Aufstellen der Lastannahmen einschätzen, wie zutreffend die Quelle seiner Lastfälle für den vorliegenden Anwendungsfall ist. Mit der steigenden Qualität der Ergebnisse von Radkraftmessungen werden die erforderlichen Sicherheiten jetzt häufig auf 1,0 festgelegt. In Auswertung der vorhandenen Sicherheiten werden bei der konstruktiven Überarbeitung des Tragwerks die erforderlichen Blechdicken der Grundprofile festgelegt. Einzelne Profilabmessungen müssen geändert werden, wenn bestimmte Schnittkraftkomponenten nicht optimal durchgeleitet werden können.

Umfangreiche Überlegungen sind im Bereich der Knotenanschlüsse und Krafteinleitungsstellen erforderlich. In solchen Bereichen treten wegen der Kerbwirkung der Schweißnähte häufig Schwachstellen auf bzw. wird durch ungünstige Gestaltung über unzureichende Auslastung der Grundprofile entschieden. Die rechnerischen Sicherheiten des Ermüdungsfestigkeitsnachweises müssen besonders beachtet werden. Aus ihren Werten leiten sich Änderungen in der beanspruchungsgerechten Gestaltung ab.

Trotz erheblicher Kompliziertheit mancher Schweißanschlüsse wird vom Berechnungsingenieur versucht, die einzelnen Schweißnähte entsprechend ihrer zu übertragenden Beanspruchungskomponenten zu dimensionieren.

Bild 4. Beispiele für Modellsysteme

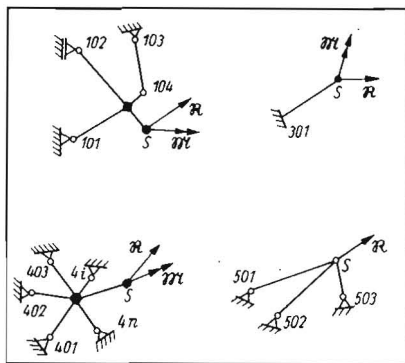
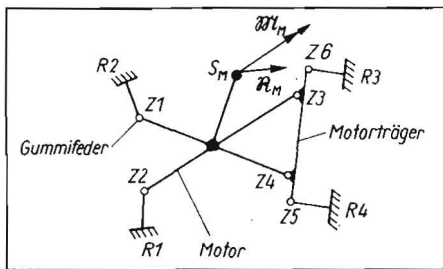


Bild 5. Kombination von Modellsystemen für die Ablösung eines Dieselmotors; R1 bis R4 Systempunkte des Fahrgestells Z1 bis Z6 zusätzliche Punkte zur Beschreibung des realen Ablösmodells S<sub>M</sub> Schwerpunkt des Dieselmotors





## 6. Zusammenfassung

Ein neues Berechnungssystem wird vorgestellt, das die wesentlichen Bearbeitungsetappen bei der Dimensionierung oder Nachrechnung von Landmaschinenträgwerken enthält. Vor allem werden die durch EDV-Anwendung rationalisierten Teilabschnitte hervorgehoben.

Der Beitrag beinhaltet außerdem die vom Berechnungsingenieur zu lösenden Probleme bei der Aufstellung des Berechnungsmodells, der Lastannahmen und der Auswertung der Rechenergebnisse. Er zeigt die verantwortungs-

volle Rolle des Berechnungsingenieurs bei der beanspruchungsgerechten Dimensionierung und Gestaltung der tragenden Baugruppen und damit dessen Einflußnahme auf die Materialökonomie bei der Entwicklung moderner Landmaschinen. Als Beispiel für die Anwendung des Verfahrens werden die statischen Systeme eines Getreideschneidwerks und eines Mäh-dreschermaschinengestells erläutert.

### Literatur

[1] Witt, D.; R. Rosner, H.: Lastannahmen zur Berech-

nung von Fahrzeugrahmen. Maschinenbautechnik 21 (1972) H. 1, S. 24—26.

[2] Kritzner, B.: Berechnung der Stützkkräfte von Landmaschinenbaugruppen mittels EDV (Verteilungsmatrizen). 2. Kolloquium „Zuverlässigkeit und ökonomischer Materialeinsatz bei Landmaschinen“. Institut für Landmaschinentechnik Leipzig 1973.

[3] Schriftenreihe „Materialökonomie“ Nr. 11 und 15. Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen Dresden 1977.

A 2822

# Dynamische Belastungen von Hydraulikgeräten und deren Auswirkungen

Dr. sc. techn. E. Hlawitschka, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

### Verwendete Formelzeichen

- ä effektive Schwingbeschleunigung
- f Frequenz
- g Erdbeschleunigung
- n Drehzahl
- p Druck
- t Zeit
- V Volumen
- z Anzahl der Verdrängereinheiten
- δ Ungleichförmigkeitsgrad

Zur Sicherung einer hohen Grenznutzungsdauer von Hydraulikgeräten ist es notwendig, die auf das Abnutzungsverhalten wirkenden Einflüsse beim Einsatz dieser Hydraulikgeräte in mobilen Landmaschinen zu untersuchen. Zu den konkreten Einsatzbedingungen von Hydraulikanlagen in der Landtechnik gehören neben dem Betriebsdruck, der Betriebstemperatur, der Ölverschmutzung und den zeitlichen Veränderungen dieser Größen auch die dynamischen Belastungen der Hydraulikgeräte bzw. deren Elemente. Druckspitzen, die dynamische Belastungen zur Folge haben, verursachen Beschleunigungsspitzen in bewegten Systemen, erzeugen starke Geräusche und können bei entsprechend großer Amplitude zur Zerstörung von Bauelementen führen. Daß durch dynamische Belastungen eine Verminderung der Grenznutzungsdauer zu erwarten ist, bestätigen Beobachtungen in der Praxis und durchgeführte schadensanalytische Untersuchungen [1]. Diese Erscheinung kann erklärt werden aus der Tatsache, daß sich die dynamischen und statischen Belastungen überlagern und somit größere, die Abnutzung und Zerstörung fördernde Beanspruchungen entstehen. Da viele Elemente in Hydraulikgeräten bereits im Normalfall einer hohen Werkstoffbeanspruchung unterliegen, können zusätzliche dynamische Belastungen die Schadensentwicklung sehr stark beeinflussen.

Im folgenden sind unter dynamischen Belastungen an Hydraulikanlagen im erweiterten Sinne zeitlich sich ändernde Belastungen zu verstehen, die ihre Ursache haben in

- inneren dynamischen Belastungen durch parametererregte Schwingungen und bauteilbedingte Einschwingvorgänge
- äußeren dynamischen Belastungen infolge

stochastisch schwankender Arbeitswiderstände und von außen eingeleiteter stochastisch und periodisch wechselnder Belastungen.

Die Ursachen der dynamischen Belastungen und ihre Wechselwirkungen sind im Bild 1 zusammengestellt worden. Man erkennt, daß die inneren dynamischen Belastungen vorwiegend aus konstruktiven Gegebenheiten der Hydraulikgeräte und des Hydrauliksystems resultieren, während die äußeren dynamischen Belastungen in hohem Maß durch die Einsatzverhältnisse bestimmt werden.

### 1. Innere dynamische Belastungen

Sowohl der konstruktive Aufbau der Hydraulikgeräte als auch das verwendete Fluid bestimmen die dynamischen Belastungen. Die Hydraulikgeräte und deren Elemente sind schwingungsfähige Gebilde, die durch unetstetige Verdrängerwirkung der Hydraulikpumpen und

-motoren, durch Schaltvorgänge an Ventilen, durch die Kompressibilität des Fluids usw. zu Schwingungen angeregt werden. Teilweise können auch äußere Einflüsse innere dynamische Belastungen hervorrufen, die dann, wenn sie unter 30 Hz liegen [3], wegen der geringen Dämpfung hydraulischer Systeme Resonanzerscheinungen bewirken.

Innere dynamische Belastungen haben ihre wesentliche Quelle in der diskontinuierlichen Verdrängung, die bei vielen Pumpen und Motoren vorhanden ist. Sowohl die Volumengleichförmigkeit, die durch die geometrisch-kinematische Gestaltung der Geräte bedingt ist, als auch der infolge unterschiedlicher Größe der Dichtflächen während der Bewegung pulsierende Leckölstrom rufen Schwankungen des Flüssigkeitsstroms in der Anlage hervor. Diese sind Ursache für Schwankungen des Betriebsdrucks. Wenn z Verdrängerelemente vorhanden sind und diese die Flüssigkeit n-mal je Sekunde

Bild 1. Dynamische Belastungen des Hydraulikkreislaufs [2]

