

unter diesen Gesichtspunkten auszuführen. Empfohlen wurde die KDT-Richtlinie 109/85 „Montagegerechtes Konstruieren“ (zu beziehen bei der KDT-Druckerei, Goethestraße 28, Zeuthen, 1615).

Die Vorstellung des Projekts der technologischen Fertigungsvorbereitung im Kombinat Fortschritt Landmaschinen war der Inhalt des Vortrags von Dipl.-Ing. Dießner, Kombinat Fortschritt Landmaschinen. Am Beispiel der Fertigungsorganisation in den Kombinatbetrieben VEB Mährescherwerk Bischofswerda/Singwitz und VEB Getriebewerk Kirschau wurden die entsprechenden EDV-Projekte einschließlich der eingesetzten Rechentechneik erläutert. Zu den wichtigsten Anwendungsmodulen gehören z. B. Pflege der Auftrags- und technologischen Stammdaten, komplexe Änderungen, Alternativtechnologien, Material- und Arbeitsaufträge sowie technologischer Auftragsbelegsatz. Mit der Realisierung des Projekts wurden bedeutende Effekte, besonders hinsichtlich der Senkung der Aufwendungen sowie der sofortigen Aktualisierung und Realisierung von Änderungen, erzielt, die anhand konkreter Zahlen demonstriert wurden.

Dipl.-Ing. Sieber, Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen Dresden, stellte „Rechenprogramme für Büro- und Personalcomputer in Forschung und Entwicklung“ vor. Diese CAD-Software für Büro- und Personalcomputer wird gegenwärtig bereits von über 100 Betrieben nachgenutzt. Hauptinhalt der Programmsysteme AUTRA sind Dauer-/Betriebsfestigkeit von Einzelteilen, Berechnung von Schraub- und Preßverbindungen, Statikberechnungen ebener Rahmen, Querschnittskennwerte bei Biegung und Torsion, Dynamik von Blocksystemen u. a. Die Erweiterung der Programmbibliothek und die Anwendung auf Arbeitsplatzcomputer sowie für räumliche Systeme sind vorgesehen.

Die Beiträge „Nutzung von Mikroformen und

mikrografischen Techniken als Rationalisierungshilfen in Konstruktion und Projektierung“ (ergänzt durch eine umfangreiche, eindrucksvolle Ausstellung) von Ing. Wehner, VEB Ingenieurbetrieb für Rationalisierung und Projektierung Dresden im Kombinat Fortschritt Landmaschinen, sowie „CAD-Systeme Blechteile“ von Dipl.-Ing. Sachse, Stammbetrieb des Kombinats Fortschritt Landmaschinen, und Dr.-Ing. Zwiebel, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik der TU Dresden, enthielten viele praktische Hinweise für die Rationalisierung der Ingenieurarbeit.

Über „Erfahrungen bei der Überleitung eines CAD/CAM-Projekts am Beispiel Pflugkörper“ sprachen Dr.-Ing. Kubisch, TU Dresden, und Dipl.-Ing. Kräuse, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Bodenbearbeitungsgeräte „Karl Marx“ Leipzig. Ausgehend vom bereits veröffentlichten Entwicklungsstand des Pflugkörperentwurfssystems ARFLEP (vgl. „agrartechnik“ 1/84, 12/82 und „Fertigungstechnik und Betrieb“ 6/86) wurde die weitere Vervollkommnung des CAD-Systems erläutert. So können z. B. bereits am Bildschirm bestimmte Arbeitsfunktionen des Pflugkörpers simuliert und bewertet werden. Am Beispiel der Entwicklung und Fertigung des Streichblechs für einen Pflugkörper wurden die Effekte für die Qualität und die Ökonomie beim Einsatz des CAD/CAM-Systems ARFLEP-AUTENT dargestellt. Besonders herausgestellt wurde die große Bedeutung der engen unbürokratischen Zusammenarbeit von Softwareentwickler und -nutzer.

Zum Thema „Anwendung des Programmsystems AUTENT-KR für Konstruktion und Fertigung geometrisch komplizierter Teile im Maschinenbau“ berichtete Dipl.-Ing. Burghardt, IFA-Kombinat PKW, VEB Barkas Karl-Marx-Stadt. Er stellte heraus, daß mit dem Softwaresystem AUTENT-KR ein äußerst leistungsfähiges CAD/CAM-System für die Bearbeitung von komplizierten geometrischen

Formen erarbeitet wurde. Die ursprünglich für den Entwurf von Automobilkarosserien konzipierte Software ist praktisch für alle Aufgaben zur Entwicklung und Fertigung doppelt gekrümmter Flächen anwendbar. Anhand von Beispielen aus dem Maschinenbau und der Konsumgüterindustrie wurde das nachgewiesen.

„Moderne Berechnungsmethoden für Landmaschinenträgerwerke“ sowie „Aufbau und Nutzung eines rechnergestützten Informationssystems für Patentrecherchen“ wurden von Dr.-Ing. Kritzner bzw. Dipl.-Ing. Müller vom Stammbetrieb des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen vorgestellt. Der erste Beitrag wird im vorliegenden Heft veröffentlicht (s. u.).

In seinem Schlußwort zog Prof. Dr. sc. techn. Soucek, TU Dresden, Vorsitzender der Wissenschaftlichen Sektion Landmaschinen- und Rationalisierungsmittelbau der KDT, eine erfolgreiche Bilanz der zweitägigen Veranstaltung. Da die rechnergestützte Arbeit in Forschung, Entwicklung, Technologie und Produktion eine zunehmend größere Bedeutung für die Erhöhung der Effektivität und Qualität erlangt, sind die Kader im Rahmen der Aus- und Weiterbildung zielgerichtet zu qualifizieren. Die 7. Weiterbildungsveranstaltung und 5. Konstrukteurtagung haben dafür einen wesentlichen Beitrag gebracht. Deshalb werden auch künftig alle 2 Jahre in Dresden die Konstrukteurtagungen und alle 3 Jahre entsprechende Weiterbildungsveranstaltungen für Absolventen stattfinden. Die Kopplung der Konstrukteurtagung mit der Weiterbildungsveranstaltung sowie die dargelegten Ergebnisse haben dem Anliegen zur noch engeren Verbindung von Wissenschaft und Produktion in hohem Maß entsprochen.

Prof. Dr. sc. techn. R. Soucek, KDT
Dr.-Ing. K. Kugler, KDT

A 4947

Moderne Berechnungsmethoden für Landmaschinenträgerwerke

Dr.-Ing. B. Kritzner, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Erntemaschinen Neustadt, Stammbetrieb

1. Einleitung

Bei der Konstruktion mobiler Landmaschinen wird im Kombinat Fortschritt Landmaschinen der Anwendung rechnerischer Methoden große Aufmerksamkeit gewidmet. Das betrifft sowohl Neuentwicklungen als auch die Betreuung von Serienerzeugnissen. Dabei nehmen die Berechnungsabteilungen als beratende Organe innerhalb des Konstruktionsbereichs eine Spezialistenstellung ein. Sie haben folgende Aufgaben:

- Dimensionierung der Fahrgestelle (Trägerwerke)
- Festigkeitsnachweise für Maschinenelemente der Funktionsbaugruppen
- Unterbreitung von Vorschlägen zur konstruktiven Verbesserung bei Schadensfällen auf der Grundlage einer Beanspruchungs- und Bauteilanalyse
- konstruktive Beratung bezüglich Werkstoffeinsatz und belastungsgerechter Gestaltung zur Gewährleistung der Funktionssicherheit bei Beachtung der Materialökonomie.

Zur Erfüllung dieser Aufgaben ist eine enge Verbindung der Berechnungsabteilungen zu den Konstruktions-, Erprobungs-, Meß- und EDV-Bereichen des Kombinats sowie weiterer Institutionen notwendig.

Im folgenden werden die gegenwärtige Methodik der Berechnung von Landmaschinenträgerstellen im VEB Erntemaschinen Neustadt dargestellt und Hinweise auf weitere Entwicklungsrichtungen gegeben.

2. Arbeitsschritte bei der Berechnung von Landmaschinenträgerwerken

Bei der Festigkeitsberechnung eines Landmaschinenträgerstells sind folgende Arbeitsschritte zweckmäßig:

1. Idealisierung der Maschine bezüglich des statischen Systems und der Masseverteilung
2. Aufstellung von Lastannahmen
3. Berechnung der inneren Kräfte und Verformungen
4. Berechnung der Nennspannungen
5. Ermittlung der ertragbaren Spannungen

6. Sicherheitsnachweis.

Sofern für einzelne Arbeitsschritte eine mathematische Formulierung der Methoden möglich war, existieren auch Rechenprogramme zur Lösung der Probleme (Schritte 3 bis 6). Ausgangspunkt der hierbei verwendeten EDV-Programme ist das AUTRA-Stabwerksprogramm [1]. Die meisten Fahrgestelle lassen sich als Stabwerke idealisieren. Für einige Anwendungsfälle, wo gemischte Stab-/Flächenträgerwerke vorliegen, wäre ein FEM-Programm dienlicher.

Dem AUTRA-Stabwerksprogramm wurden die landmaschinenspezifischen EDV-Programme VEMA und LAST vorgeschaltet [2]. Für den Spannungs- und Sicherheitsnachweis existieren weitere AUTRA-Programme [3].

Der Arbeitsschritt 1 ist ein schöpferischer Prozeß, der viel Berufserfahrung verlangt. Dabei ist nicht anzunehmen, daß er jemals durchgängig mathematisch formuliert wird. Somit wären nur Teillösungen mit EDV bearbeitbar, die jedoch eine erhebliche Reduzie-

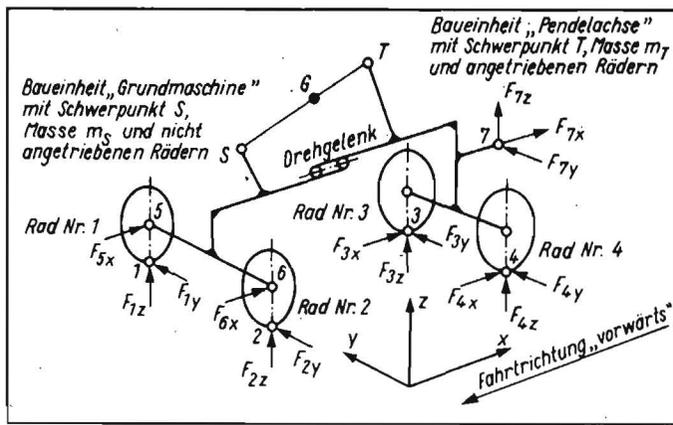


Bild 1. Prinzipische Skizze einer selbstfahrenden Landmaschine mit äußerer Belastung

zung des bisher hohen manuellen Vorbereitungsaufwands mit sich brächten. Hierbei besteht eine enge Verknüpfung zu CAD.

Zur Realisierung des Arbeitsschrittes 2 wurden bisher meist Messungen unter Einsatzbedingungen an den Maschinen vorgenommen. An jedem Kontaktpunkt zu anderen Maschinen (Zugöse, Anhängerkupplung) oder zur Fahrbahn (Radaufstandpunkt) können je drei Kraftkomponenten wirken, die auf das globale Koordinatensystem x, y, z ausgerichtet sind (Bild 1). Bei der Messung wird der zeitliche Verlauf aller Kraftkomponenten parallel aufgezeichnet. Über sog. „zeitgleiche Schnitte“ werden alle zu einem bestimmten Zeitpunkt wirkenden Kraftkomponenten ermittelt. Jeder „zeitgleiche Schnitt“ entspricht einem maßgeblichen Lastfall für die Berechnung, sofern er extreme Kombinationen von Kraftkomponenten enthält.

Bei Neuentwicklungen versagt diese Arbeitsweise, weil für die Messungen noch keine Maschine körperlich vorhanden ist. Dann muß man über Vergleichsbetrachtungen auf Vorgängermaschinen zurückgreifen. Dazu gibt es verschiedene Grundlagen (z. B. [4, 5]). Zur Gewährleistung einer durchgängigen Bearbeitung von Lastannahmen für Neuentwicklungen auf EDV-Anlagen muß jedoch ein allgemeingültiger Algorithmus vorliegen. Die erreichten Ergebnisse dazu sind in [6] niedergelegt.

Für die Bearbeitung des Arbeitsschrittes 3 muß in Zukunft auf FEM-Programme orientiert werden. Diese tragen jedoch keinen landmaschinenspezifischen Charakter. Deshalb wird hier das Kombinat Fortschritt Landmaschinen keine eigenen Entwicklungen unternehmen, sondern auf das Angebot zweckmäßiger Rechenprogramme zurückgreifen.

Für die Bearbeitung der Schritte 4 bis 6 wird zukünftig der Betriebsfestigkeitsnachweis angestrebt. Nur so kann auf der Basis verallgemeinerter Lastannahmen ein der Einsatzzeit angepaßter Sicherheitsnachweis geführt werden. Die Streuung der Einsatzzeit ist sehr groß. Sie reicht von 300 h bei einem Schneidwerktransportwagen über 4500 h bei Häckslern und Schwadmähern bis zu 7200 h bei Transportanhängern. Bezüglich der Gliederung der Einsatzzeit und bezüglich der Verteilungsform der Spannungskollektive sind landmaschinenspezifische Belange zu beachten, die auch eigene Forschungen des Kombinat Fortschritt Landmaschinen erfordern. Gegenwärtig ist die Berechnung auf

Zeit- bzw. Dauerfestigkeit üblich, wobei eine Variation der erforderlichen Sicherheit entsprechend der Einsatzzeit vorgenommen wird.

Die o. g. sechs Arbeitsschritte bilden eine Einheit. Die endgültige Sicherheitsaussage für jeden Punkt des Fahrgestells ist von der Gesamtmethode abhängig. Dabei sind folgende Faktoren zu beachten:

- beanspruchungsgerechte Modellierung des statischen Systems der Maschine
- Zuverlässigkeit der Lastannahmen
- Genauigkeit des Berechnungsverfahrens bezüglich der inneren Kräfte und Verformungen
- realistische Erfassung der Nennspannungen im Hinblick auf den örtlichen Kraftfluß in der Konstruktion und bezüglich der Spannungskollektive
- Streuung der Materialeigenschaften.

Alle fünf aufgeführten Komponenten haben einen gleichrangig wichtigen Einfluß auf die endgültige Sicherheitsaussage. Aus diesem Grund kommt es darauf an, ein reproduzierbares Berechnungsverfahren von der Idealisierung der Maschine bis zum Sicherheitsnachweis zu schaffen. Derartig dimensionierte Maschinen können bezüglich ihres Festigkeitsverhaltens in der Praxis beobachtet werden, wodurch wiederum zielgerichtet Rückwirkungen auf die Berechnungsmethodik möglich sind.

Die Verwendung typspezifischer Belastungsmessungen in statischen Berechnungen steht der genannten einheitlichen Berechnungsmethodik im Wege. Eine ausreichende Zuverlässigkeit bei der Formulierung von Lastannahmen ist nur gegeben, wenn sämtliche bisherigen Meßergebnisse als Ganzes nach einheitlichen Gesichtspunkten kritisch bewertet und statistisch gesicherte repräsentative Ergebnisse als Grundlage verallgemeinerter Lastannahmen genommen werden. Das ist in [6] erfolgt.

3. Aufstellung von Lastannahmen

Im Landmaschinenbau werden Lastannahmen für Neuentwicklungen oftmals anhand von Stoßfaktoren erstellt. Das Verfahren ist allgemein verbreitet und liefert ausreichend gute Ergebnisse. Es ist jedoch schwierig, bei der Aufstellung kompletter Lastfälle (z. B. für eine Maschine nach Bild 1) alle zwölf Kraftkomponenten qualifiziert zu überschauen. Die Zuordnung der drei Kraftkomponenten an einem einzelnen Rad ist dagegen über Stoßfaktoren einfach möglich.

Die guten Ergebnisse mit Hilfe der Stoßfakto-

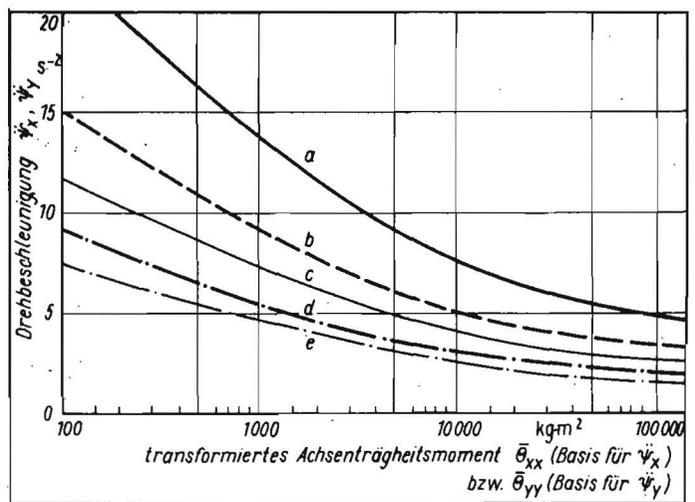


Bild 2. Drehbeschleunigung $\ddot{\psi}_x, \ddot{\psi}_y$ von Pendelachsen, Achspendeln, Grundmaschinen sowie Gesamtmaschinen; a) Befahren von Extremabschnitten, b) Fahrt auf Feldwegen und Pflasterstraße, c) Fahrt auf Vorgewende, d) Fahrt auf Asphalt- und Betonstraße, e) Feldeinsatz

ren waren Anlaß, darauf aufbauend eine programmierbare Methode zur Aufstellung kompletter Lastannahmen zu entwickeln. Dabei wurden die Übergangsschritte entsprechend Tafel 1 vollzogen und verallgemeinerte Beschleunigungsvektoren als Grundlage genommen. In die Analyse der Beschleunigungsvektoren gingen gemessene „zeitgleiche Schnitte“ und Lastannahmen statischer Berechnungen folgender verfügbarer Landmaschinen ein:

- aufgesattelte einachsige Maschinen
- aufgesattelte Anhänger mit Tandemfahrwerk
- selbstfahrende Landmaschinen
- selbstfahrende Landmaschinen mit bodengeführtem Schneidwerk.

Dabei stellte sich heraus, daß bezüglich der Maschinenbeschleunigungen sämtliche Maschinen gleich behandelt werden können. Hierbei fanden keine Schwingungsrechnungen auf der Grundlage eines Masse-Feder-Dämpfer-Systems als Maschinenidealisierung in Verbindung mit einer Fahrbahnerregung statt. Es wurden gemessene bzw. angesetzte Lastfälle an den Rädern in Gesamtbeschleunigungen (translatorisch und rotatorisch) umgerechnet, systematisch bearbeitet und verallgemeinert. Im Bild 2 ist z. B. das Ergebnis für die Maschinen-drehbeschleunigungen $\ddot{\psi}_x$ und $\ddot{\psi}_y$ dargestellt. Bei der Festlegung der wesentlichen Beschleunigungskomponenten werden fünf Einsatzfälle unterschieden, die auch im Hinblick auf Betriebsfestigkeitsrechnungen zureichend sind:

- Befahren von Extremabschnitten
- Fahrt auf Feldwegen und Pflasterstraße
- Fahrt auf Vorgewende
- Fahrt auf Asphalt- und Betonstraße
- Feldeinsatz mit Arbeitsgeschwindigkeit.

Das Zusammensetzen der einzelnen Beschleunigungskomponenten zum Beschleunigungsvektor erfolgt über gedachte Bewegungszustände (sog. „mögliche momentane Bewegungslagen“, Bild 3).

Die allgemeinen Gleichungen zur Berechnung der Lastfälle sind stark vereinfacht in der letzten Zeile von Tafel 1 angegeben.

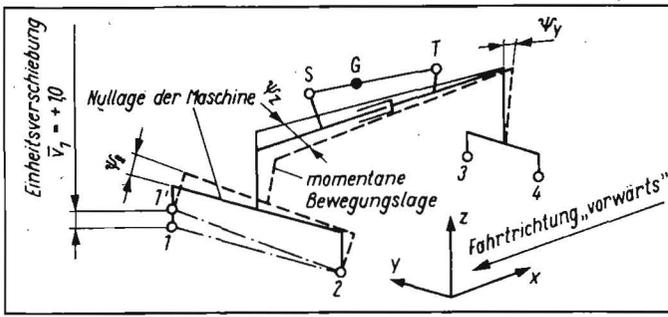


Bild 3. Bewegung des Maschinenkörpers bei einer vertikalen Einheitsverschiebung am Rad 1

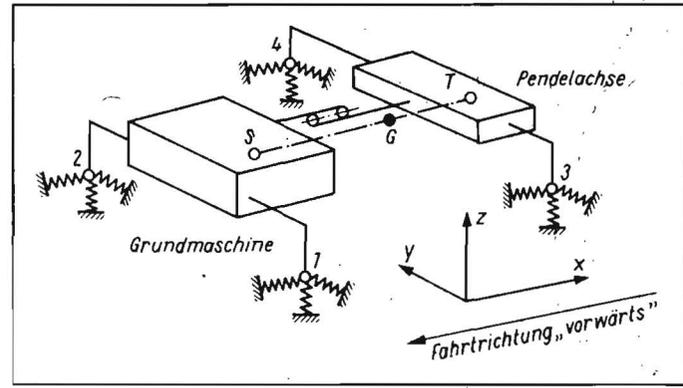


Bild 4. Dynamisch äquivalentes Ersatzsystem einer selbstfahrenden Landmaschine; G Gesamtschwerpunkt, S Schwerpunkt der Grundmaschine, T Schwerpunkt der Pendelachse

Tafel 1. Gegenüberstellung der Einflußgrößen beim Übergang von der Methode „Radstoßfaktoren“ auf „verallgemeinerte Beschleunigungsvektoren“ bei der Berechnung fahrdynamischer Radkräfte

Telleinfluß	Methode „Radstoßfaktoren“	„verallgemeinerte Beschleunigungsvektoren“
Grundgrößen	Radruhelast (vertikale Radlast im Stillstand der Maschine)	Maschinengesamtmasse und -massenträgheitsmomente
Vergleichsgröße	12 Einzelstoßfaktoren an Rädern in x-, y- und z-Richtung an einer selbstfahrenden Landmaschine	3 translatorische und 4 rotatorische Beschleunigungskomponenten einer selbstfahrenden Landmaschine
Komponentenabhängigkeit	aus Messungen bekannte Abhängigkeiten der 3 Stoßfaktorkomponenten eines Rades	aus Messungen und theoretischen Untersuchungen entwickelte Abhängigkeiten zwischen den 7 Beschleunigungskomponenten
Maschinengeometrie	–	– Schwerpunktkoordinaten – Koordinaten der Drehgelenke – Geometrie der Radanordnung
statisch unbestimmte Kräfteverteilung in der Fahrbahnebene (Verspannungen in der x, y-Ebene an der Maschine)	–	– Gleichgewichtsgruppen in x-Richtung als Führungsgrößen – Aufteilung der Achsseitenkräfte auf beide Räder der Achse
Kraftbegrenzung in der Fahrbahnebene	– Abheben des Rades von der Fahrbahn – Kraftschluß zwischen Rad und Fahrbahn in der Fahrbahnebene – Kraftangriff im Radanlaufpunkt	
Berechnung der Radkräfte	Einzelkomponenten: $F_{r\lambda} = \bar{F}_{r\lambda} + n_{r\lambda} F_{rz}$ ($\lambda = x, y, z$) \bar{F}_{rz} Radruhelast $n_{r\lambda}$ Stoßfaktor $F_{r\lambda}$ Radkraft (Ruhelast + dynamischer Anteil)	Lastfälle: $[F] = [\bar{F}] + [\dot{F}] + [F]$ [F] Lastfallmatrix [F] Ruhelastmatrix $[F] = [K] \cdot [M] \cdot [D] \cdot [Z]$ (Radkräfte infolge Beschleunigung) [F] Gleichgewichtsgruppen in x-Richtung [F] Gleichgewichtsgruppen in y-Richtung

4. EDV-Programmkomplex VEMA-LAST-AUTRA

Die fahrdynamischen Kräfte an den Rädern erzeugen in den Baugruppen Massenkräfte. Äußere Belastung und d'Alembertsche Trägheitskräfte bilden eine Gleichgewichtsgruppe. Die Berechnung der d'Alembertschen Trägheitskräfte ist für beliebige Kombinationen äußerer Kräfte anhand der Modellvorstellung nach Bild 4 möglich:

- Die Maschine besteht aus verschiedenen, absolut starren Baueinheiten, die durch Drehgelenke miteinander verbunden sind.
- Nennenswerte elastische Deformationen finden nur an den Reifen statt. Die Kraftwirkungen dort sind jedoch durch die äußere Belastung vorgegeben.
- Die Drehwinkel während der Fahrbewegung sind ausreichend klein. Der Beschleunigungsanteil aus den Winkelgeschwindigkeiten ist vernachlässigbar gering.
- An der Maschine treten keinerlei Resonanzen auf.

Die Berechnung sämtlicher Trägheitskräfte und Massmomente in den Baugruppen-schwerpunkten übernimmt das Rechenprogramm LAST auf der Grundlage der in [6] und [7] vorgestellten Theorie.

Das Ziel dieser Berechnungen besteht darin, das eigentliche Tragwerk der Maschinen von allen überflüssigen Bauteilen frei zu machen, damit ein mit den Methoden der Stabstatik (Programm AUTRA [1]) berechenbares Gebilde entsteht. Zu diesem Zweck werden sämtliche Baugruppen, die nicht Bestandteil des tragenden Verbandes sind, bezüglich ihrer Belastungsreaktionen auf das Tragwerk transformiert. Das betrifft einmal Baugruppen, die statisch bestimmt auf dem Tragwerk sitzen (z. B. Schneidwerke), und zum anderen solche, die besonders elastisch befestigt sind (z. B. Fahrerkabinen, Antriebsmotoren). Diese Transformation übernimmt das ESER-Programm VEMA, zunächst für Einheitslastfälle in den betreffenden Baugruppen-schwerpunkten. Die Multiplikation mit den Ergebnissen des Programms LAST ergibt dann die lastfallspezifischen äquivalenten Stützreaktionen am Tragwerk. Ein Beispiel dazu ist im Bild 5 dargestellt.

Damit die o. g. Transformationen der Baugruppenbelastung auf Tragwerkspunkte ausgeführt werden können, wurden 7 Modellsysteme vereinbart, die beliebig miteinander

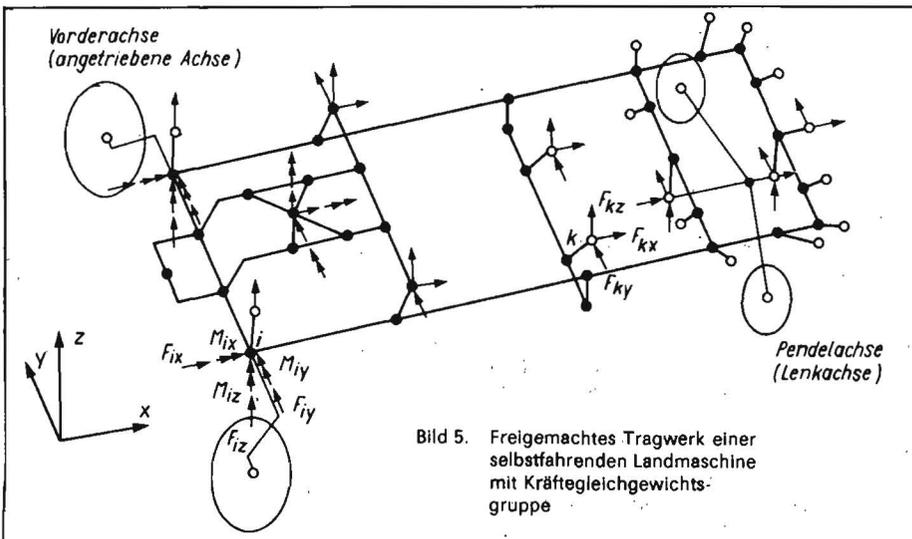


Bild 5. Freigemachtes Tragwerk einer selbstfahrenden Landmaschine mit Kräftegleichgewichtsgruppe

kombinierbar sind und jede praktisch erforderliche Kraftaufteilung realisieren können (Bild 6).

Die eigentliche Stabwerksberechnung erfolgt nach den Regeln der Statik mit dem Programm AUTRA [1] des Instituts für Leichtbau Dresden. Dabei kommt die Deformationsmethode zur Anwendung.

5. Festigkeitsnachweise

Die Fahrgestelle haben eine große Bedeutung für die Zuverlässigkeit der Landmaschinen. Deshalb erfolgt ihre Dimensionierung sehr sorgfältig, obgleich sie nur einen Anteil von 10% an der Maschinenmasse haben.

Landmaschinenproduktion ist Serienproduktion in großen Stückzahlen. Vor der Produktionseinführung eines neuen Geräts werden zusätzlich zu den rechnerischen Nachweisen umfangreiche Untersuchungen im Einsatz und auf Prüfbahnen bzw. Prüfständen vorgenommen. Somit gehen drei unabhängig voneinander gewonnene Ergebnisse in die Beurteilung der Serienreife ein. Das erhöht die Aussagesicherheit in bezug auf Schwachstellen und Überdimensionierungen wesentlich.

Die Dimensionierung mit rechnerischen Methoden strebt einen solchen Bemessungszustand an, daß die Fahrgestelle unter den tatsächlichen Einsatzbedingungen eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90% haben. Bei Lenkungen, Radlagerungen, Zugösen und weiteren lebenswichtigen Bauelementen ist sie allerdings höher.

Die verhältnismäßig geringe angestrebte Wahrscheinlichkeit bei den Fahrgestellen ist zulässig, weil die Rißfortschrittsgeschwindigkeiten gering sind und deshalb die Maschine trotz Anriß noch über einen längeren Zeitraum einsatzbereit ist. Dadurch können Reparaturen sogar innerhalb einer begrenzten Zeitspanne geplant werden.

Die Gewährleistung der angestrebten Überlebenswahrscheinlichkeit setzt natürlich das Vorhandensein der durchgängigen Berechnungsmethodik voraus (vgl. dazu Abschnitt 2). Nur dann ist gewährleistet, daß unabhängig vom Bearbeiter die Sicherheitswerte tatsächlich immer gleiches Gewicht haben. Sowohl beim statischen Spannungsnachweis (Sicherheit gegen Fließen) als auch beim Ermüdungsfestigkeitsnachweis wird eine Sicherheit $S = 1,0$ angestrebt. Die geforderte Überlebenswahrscheinlichkeit der Fahrgestelle wird durch die Lastannahmen realisiert.

Die vorhandene Sicherheit gegen Ermüdungsbruch wird gegenwärtig noch durch Vergleich mit Dauer- oder Zeitfestigkeitswerten nach Standard TGL 14 915 [8] nachgewiesen. In Zukunft muß dazu ein Betriebsfestigkeitsnachweis erfolgen. Nur so kann bei einheitlichen Lastannahmen die erreichbare Lebensdauer auch sinnvoll bewertet werden.

6. Schlußbetrachtung

Im Beitrag wurde dargestellt, welcher hohe Aufwand an schöpferischer und Routinearbeit bei den Fahrgestellberechnungen des Landmaschinenbaus erforderlich ist. Die schöpferische Arbeit betrifft zum einen die wissenschaftlichen Grundsatzuntersuchungen, die auf die Arbeitsprinzipie und Berechnungsalgorithmen führen und zum anderen die immer wieder durchzuführenden Modellbetrachtungen zur Statik der realen Maschine anhand der Zeichnungen.

Bild 6
Modellsysteme der Kraftleitung vom Lastverursacher auf Stützpunkte (P Belastungspunkt)

Modellsystem Nr.	Modellskizze	Bemerkung
1		Pkt. 101 - fester Gelenkpunkt Pkt. 102 - nur Stützreaktionen senkrecht zur Achse 101-102 Pkt. 103 - nur Stützkräfte in Richtung der Pendelstütze 103-104
2		Pkt. 201 - Stützreaktionen senkrecht zur Achse 201-202 Pkt. 203 - Stützkräfte in Richtung der Achse 201-202 Pkt. 204 - Stützmoment in Richtung 201-202
3		Pkt. 301 - feste Einspannung
4		n Stützpunkte mit folgenden Eigenschaften: - Elastizität nur direkt am Gelenkpunkt - alle n Punkte haben gleiche Elastizität
5		statisch bestimmtes System; am Punkt P sind nur Kräfte, keine Momente, als Belastung möglich
6		der zwischen den Punkten 601-602 liegende Bügel ist unendlich starr
7		Pkt. 701 - Pendelstützen, 702 Längskräfte Pkt. 703 - fester Gelenkpunkt Pkt. 704 - Stützpunkt mit seitlicher Elastizität: $c_f = 0 \hat{=}$ seitlich frei beweglich $c_f = \infty \hat{=}$ seitlich fest

Die bei jeder Berechnung notwendige routinemäßige Abarbeitung der Berechnungsalgorithmen wird zweckmäßigerweise einer EDV-Anlage übertragen. Teillösungen in dieser Beziehung bestehen bereits in Gestalt des Programmkomplexes VEMA-LAST-AUTRA. Vorzuschalten sind weitere Rechenprogramme zur Aufstellung von Lastannahmen auf der Grundlage der bereits vorliegenden Theorie [6]. Zur Erhöhung der Aussagesicherheit der Lebensdauervorhersage an allen Punkten der Fahrgestelle unter Berücksichtigung der tatsächlichen Einsatzbedingungen muß zukünftig der Betriebsfestigkeitsnachweis erfolgen. Die dazu notwendigen theoretischen Voruntersuchungen sind jedoch noch nicht abgeschlossen. Das endgültige Programmsystem für Fahrgestellberechnungen wird eine hohe Verflechtung verschiedener Programmteile (Module) aufweisen. Deshalb ist bei allen Programmierarbeiten auf das endgültige Ziel hinzuwirken - ein lückenlos von den Lastannahmen bis zur qualifizierten Sicherheitsaussage reichendes Fahrgestellberechnungsprogrammsystem.

Literatur

[1] Autorenkollektiv: Programmsystem AUTRA. Untersystem 1: Statik der Stabtragwerke. Schriftenreihe „Materialökonomie“, H. 11/1 und 11/2, Institut für Leichtbau Dresden, 1977.
[2] Trudel, D.; Kritzner, B.: Statische Berechnung von Landmaschinen. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, BT Automatisierungstechnik Leipzig, Wissenschaftlich-technische Arbeitsunterlagen Nr. 8, 1984.

[3] Knab, U.: Programmsystem AUTRA. Untersystem 3: Festigkeit und Dimensionierung. Schriftenreihe „Materialökonomie“, H. 15, Institut für Leichtbau Dresden, 1976.
[4] Lorenz, A.: Katalog gemessener Belastungen. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig, 1979.
[5] Lorenz, A.: Analytische Belastungsermittlung für die Dimensionierung mobiler Landmaschinen. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Ingenieurbetrieb für Landmaschinentechnik Leipzig, Wissenschaftlich-technische Arbeitsunterlagen Nr. 7, 1982.
[6] Kritzner, B.: Lastannahmen für den analytischen Betriebsfestigkeitsnachweis der Fahrgestelle mobiler Landmaschinen. TU Dresden, Dissertation A 1984.
[7] Witt, D.; Rosner, H.: Lastannahmen zur Berechnung von Fahrzeugrahmen. Maschinenbautechnik, Berlin 21 (1972) 1, S. 24-26.
[8] TGL 14 915/01 Festigkeitsberechnung von geschweißten Bauteilen. Ausg. Dez. 1974. A 4932