

Ullrich Hoppe, Berlin

Einfluss der Hinterachsfederung von Traktoren auf Fahrsicherheit und -komfort

Höhere Fahrgeschwindigkeiten von Traktoren mindern die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort. Eine Abhilfe bietet die gefederte Hinterachse. Untersuchungen mit Hilfe der Mehrkörpersimulation zeigen, dass damit die dynamischen Eigenschaften wesentlich verbessert werden können und dies bei unterschiedlichen Beladungszuständen. Diese Feststellungen gelten für die Geradeausfahrt. Um Aussagen über das querdynamische Verhalten von vollgefederten Traktoren machen zu können, sind weitere Untersuchungen nötig.

Dipl.-Ing. Ullrich Hoppe arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Landmaschinen und Hydraulik (Leitung: Prof. Dr.-Ing. D. Severin) an der TU-Berlin, LT1, Zoppoter Str. 35, 14199 Berlin; e-mail: uh@fax-lt.kf.tu-berlin.de

Schlüsselwörter

Traktor, Hinterachsfederung, Fahrsicherheit und -komfort

Keywords

Tractor, rear wheel suspension, driving safety and comfort

Der Strukturwandel in der Landwirtschaft mit steigenden Entfernungen zwischen Hof und Feldern, die zunehmenden Transportfahrten und nicht zuletzt die steigende Zahl von Traktoren in der Kommunalwirtschaft erfordern schnellfahrende Traktoren. Schnell bedeutet für Traktoren das Überschreiten der 60 km/h-Grenze, um auch Kraftfahrstraßen und Autobahnen befahren zu dürfen. Bei diesen relativ großen Fahrgeschwindigkeiten sind die Traktoren, bedingt durch die Unrundheit und der damit verbundenen Selbstanregung der großvolumigen Reifen sowie deren geringe Dämpfungsfähigkeit starken dynamischen Belastungen ausgesetzt. Dies hat wiederum einen negativen Einfluss auf die Fahrsicherheit, weil die Fahrzeugschwingungen zum kurzzeitigen Abheben der Räder führen können. Eine Vermeidung dieses Problems verspricht die Federung beider Achsen. Zur Untersuchung der Fahreigenschaften von vollgefederten Traktoren wurde am Institut für Landmaschinen und Ölhydraulik der TU Berlin im Rahmen eines DFG-Projektes ein Mehrkörpersimulationsmodell entwickelt. Damit konnte das Verbesserungspotenzial zweier gefederter Achsen gegenüber der alleinigen Vorderachsfederung gezeigt werden.

Aufgabenstellung

Ziel war es, zunächst unter Berücksichtigung der Einbaubedingungen mögliche Varianten für die gefederte Hinterachse zu entwerfen und in Bezug auf ihre Federungs- und Dämpfungseigenschaften zu optimieren, um danach die Fahreigenschaften des Traktors unter den verschiedenen Beladungszuständen und Fahrgeschwindigkeiten zu untersuchen. Als Beurteilungskriterien dienen der Radlastfaktor RLF und die bewertete Fahrersitzbeschleunigung RMS_{Sitz} . Im Verlauf der Untersuchungen stellte sich ein Zielkonflikt insofern ein, als eine bezüglich der Fahrsicherheit optimale Lösung nur eine geringe Reduzierung der Beanspruchung des Fahrers durch Schwingungen mit sich bringt, und umgekehrt. Ein weiteres Ziel der theoretischen Arbeit musste es daher sein, eine Lösung für die gefederte Hinterachse zu finden, die beiden Anforderungen bestmöglich gerecht wird.

Simulationsmodell und Vorgehensweise

Ausgehend von realen „Trac160“ der Fa. Doppstadt, wurde zunächst ein Mehrkörpermodell für das Fahrzeug ohne Hinterachsfederung erstellt. Zur Ermittlung der Massenkennwerte und Geometriedaten der Einzelbaugruppen wurde das Fahrzeug detailliert im CAD-Programm Pro/Engineer abgebildet. Bei einigen Baugruppen wurden die Trägheitsmomente durch Wiegen und Auspendeln ermittelt. Die Kennlinien der Kraftelemente (Gummilager, Achsfedern/-dämpfer und Reifen) wurden, soweit nicht bekannt, in eigenen Prüfstandsversuchen bestimmt. Auf der Grundlage dieser Daten wurde mit dem Mehrkörpersimulationsprogramm DADS der Fa. LMS ein Simulationsmodell für den Trac160 erstellt und durch Fahrversuche verifiziert.

Nachdem nachgewiesen war, dass das Modell mit dem realen Fahrzeug hinreichend übereinstimmt, wurde die starr gelagerte Hinterachse im Modell durch eine gefederte Hinterachse ersetzt. Von den möglichen Varianten wurden sowohl zwei gefederte Starrachsen als auch eine Konstruktion mit Einzelradaufhängung in weitere Analysen einbezogen. Diese Achskonzeptionen wurden in Pro/Engineer konstruiert und dann in das MKS-Modell implementiert.

Mit Hilfe des Simulationsmodells konnten nun unter Zuhilfenahme von Evolutionsstrategien die Fahreigenschaften der unterschiedlichen Traktorvarianten bei den Beladungszuständen „Leerfahrzeug“, „front-“, „heck-“ und „vollballastiert“ sowie bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten bei Geradeausfahrt untersucht werden.

Ergebnisse

Zur Bewertung der Fahreigenschaften dienen die nach ISO 2631 bewertete Beschleunigung des Fahrersitzes RMS_{Sitz} und der Radlastfaktor RLF . Der Radlastfaktor ist der Quotient aus statischer und dynamischer Radlast. Er beurteilt die Fahrsicherheit. Der Einfluss beider Kriterien verändert sich mit der Fahrgeschwindigkeit. Während bei großen Geschwindigkeiten die Fahrsicherheit (kleiner Radlastfaktor) von entscheidender Bedeutung ist, ist im Bereich kleiner

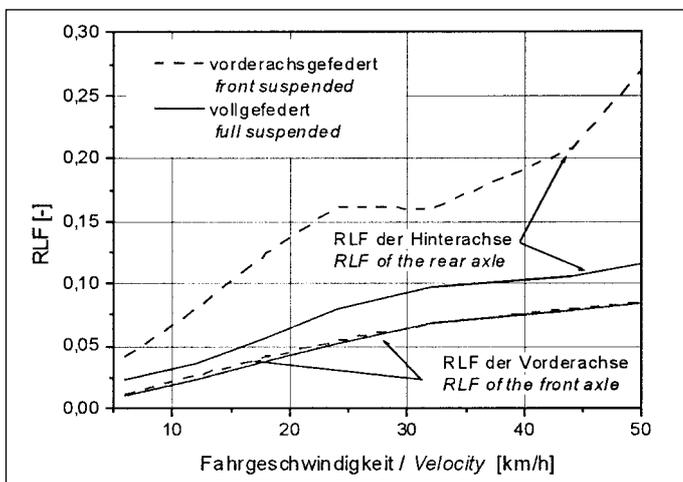


Bild 1: Vergleich der Radlastfaktoren an Vorder- und Hinterachse des unballastierten Fahrzeugs in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit

Fig. 1: Comparing wheel load factors at front and rear axle of unloaded vehicle versus driving velocity

Fahrgeschwindigkeiten ein gutes Komfortverhalten (kleiner RMS-Wert) gefragt. Deshalb wurde ein Kriterium erarbeitet, das die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort gemeinsam erfasst und beide Größen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit unterschiedlich stark gewichtet. Die Zielfunktion Z , die es durch eine Optimierung zu minimieren gilt, wird beschrieben durch:

$$Z = f_s \cdot RLF_{norm} + f_K \cdot RMS_{norm} \quad (1)$$

RLF_{norm} und RMS_{norm} sind die auf den jeweiligen Grenzwert normierten Bewertungskriterien und f_s sowie f_K die geschwindigkeitsabhängigen Gewichtungsfaktoren.

$$RLF_{norm} = RLF / RLF_{Grenz};$$

$$RMS_{norm} = RMS_{Sitz} / RMS_{Sitz,Grenz} \quad (2)$$

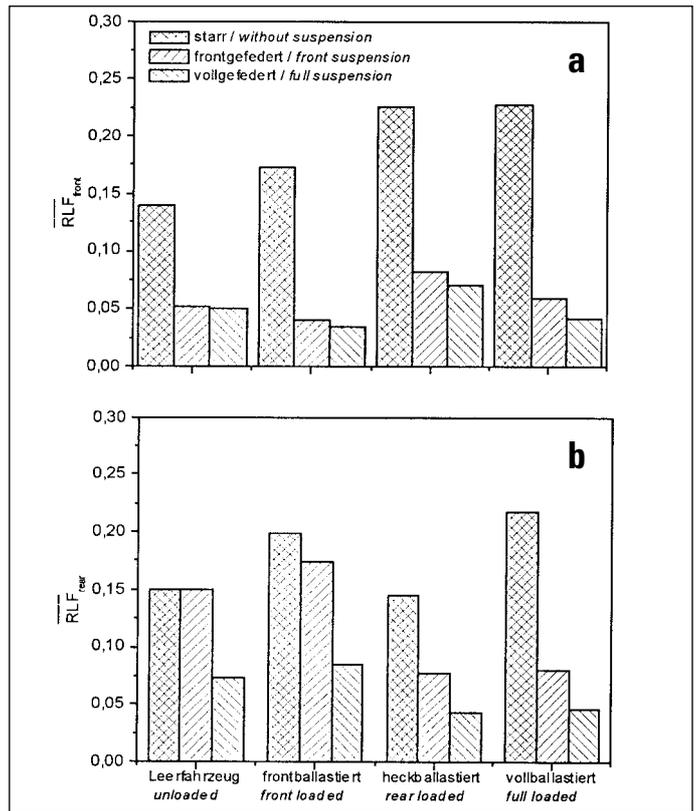
Als Grenzwerte für RLF und RMS_{Sitz} werden unannehmbare Werte gewählt. Dies ist für den Radlastfaktor $RLF_{Grenz} = 0,33$ und für die bewertete Sitzbeschleunigung $RMS_{Sitz,Grenz} = 1,7 \text{ m/s}^2$. Dadurch gelingt es, zwei Größen mit unterschiedlichen Dimensionen gleichzeitig einer Bewertung zuzuführen.

Bei allen Fahrzeugvarianten wurden zunächst die Parameter der Vorder- und Hinterachsferderung mit Hilfe der Zielfunktion nach Gleichung 1 optimiert. Die folgenden Simulationsläufe untersuchten dann die Fahreigenschaften des mit den unterschiedlichen Achsvarianten ausgerüsteten Fahrzeuges in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und verschiedenen Beladungszuständen.

In Bild 1 ist der Verlauf der Radlastfaktoren an beiden Achsen über der Fahrgeschwindigkeit sowohl für ein vorderachsgefedertes als auch für ein vollgefedertes, unballastiertes Fahrzeug dargestellt. Als Anregung diente ein künstlich generiertes Fahrbahnprofil, dessen Anregungsspektrum einem Feldweg entspricht. Der Vergleich der Radlastfaktoren für die Hinterachse mit und ohne Hinterachsferderung macht den starken fahrsicherheitssteigernden Einfluss der gefederten Hinterachse deutlich, wohingegen sich an der Vorderachse bei diesem Beladungszustand keine signifikanten Unter-

Bild 2: Vergleich der über die Fahrgeschwindigkeit gemittelten Radlastfaktoren an a) Vorder- und b) Hinterachse

Fig. 2: Comparing average wheel-load-factors over driving velocity at a) the front axle and b) the rear axle



schiede zeigen. Besonders bei großen Fahrgeschwindigkeiten wird der Sicherheitsgewinn der Hinterachsferderung deutlich.

Bei der Gegenüberstellung der über den Geschwindigkeitsbereich gemittelten Radlastfaktoren für die verschiedenen Beladungszustände (Bild 2) zeigt sich eindrucksvoll der Vorteil der Federung an beiden Achsen. Besonders bei der Entlastung einer Achse durch den Ballast kann durch die Vollfederung ein Mehr an Fahrsicherheit an dieser Achse erzielt werden. In den Vergleich wurden auch die Werte eines an beiden Achsen ungefederten Traktors einbezogen.

Die Auswertung der Simulationen bezüglich des Fahrkomforts zeigt Bild 3. Obwohl bei den vollgefederten Traktorvarianten auf eine Sitzfederung verzichtet wurde, liegen die Komfortwerte deutlich unter denen des vorderachsgefederten Fahrzeuges mit Sitzfederung. Dies gilt für den gesamten Geschwindigkeitsbereich. Die alleinige Vorderachsferderung in Verbindung mit ei-

nem gefederten Fahrersitz verbessert dagegen den Fahrkomfort nur gering.

Neben den vertikaldynamischen Eigenschaften hat bei großer Fahrgeschwindigkeit das querdynamische Verhalten bei vollgefederten Taktoren einen erheblichen Einfluss auf die Fahrsicherheit. Bis heute existieren keine aussagefähigen Bewertungsverfahren für die Querdynamik von Traktoren und die zur theoretischen Untersuchung notwendigen Reifenkennwerte. Deshalb wurden im Rahmen dieser Arbeit nur wenige Untersuchungen zum Kurvenverhalten vollgefederten Traktoren angestellt. Dabei zeigte sich ein starker Einfluss des Wankstabilisators auf das Eigenlenkverhalten. Besonders bei einseitiger Ballastierung (Front- oder Heckballast) kann sich das Fahrverhalten durch die Anbaulage des Wankstabilisators extrem ändern. Weitere Untersuchungen zu diesem Thema sind dringend notwendig.

Bild 3: Vergleich der bewerteten Sitzbeschleunigungen von unterschiedlich gefederten Traktoren in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Fig. 3: Comparing weighted seat acceleration of differently suspended tractors versus driving velocity

