

Kraftmessvorrichtung an der Anhängerdeichsel

Zur Bewertung der Interaktion zwischen Zugfahrzeug und Anhänger sind die an der Anhängung wirkenden Kräfte ein entscheidendes Kriterium. Zur Messung dieser Kräfte gibt es grundsätzlich verschiedene Ansätze, die je nach Ausführung unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen. Im Folgenden soll die Entwicklung einer Messvorrichtung dargestellt werden, durch die insbesondere die Probleme des Übersprechens und/oder der mangelnden Empfindlichkeit in einer der drei Krafrichtungen gelöst werden.

Dipl.-Ing. sc. agr. Klaus Hahn ist Mitarbeiter der John Deere Werke Mannheim und Doktorand am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Lehrstuhl Grundlagen der Agrartechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.D. Kutzbach), Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: hahnklaus@johndeere.com
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.D. Kutzbach zum 65. Geburtstag gewidmet

Schlüsselwörter

Traktoren, Anhänger, Kraftmessung, Entwicklung, FEM

Keywords

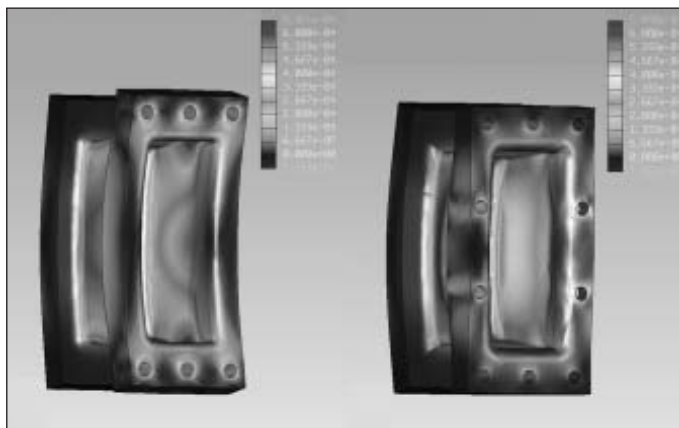
Tractors, trailers, force-measurement, development, FEM

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05218 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Bild 1: Ergebnisse der FEM-Modellierung vor (links) und nach (rechts) Modifikation

Fig. 1: Results of FEM-modelling before (left) and after (right) modification



Seit Jahrzehnten ist ein Trend zu höheren Transportgeschwindigkeiten und Nutzmassen zu verzeichnen. Während 1972 eine Zuladung von 8 bis 10t und eine Fahrgeschwindigkeit von höchstens 36 km/h als Ziel gesehen wurden [1], sind heute Anhänger mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 33t und einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h in der Praxis bereits häufig anzutreffen. In den letzten Jahren ist darüber hinaus ein Trend zur Untenanhängung zu beobachten. Neuere (für Deutschland) Anhängervorrichtungen, wie die Piton-Fixe und vor allem die Kupplungskugel 80, werden auf Grund der hohen Stützlast und verbessertem Komfort [2] immer beliebter. Bei gegebenem Zug-Gesamtgewicht kann die Nutzlast nur auf Kosten der Zugmaschine erhöht werden, was jedoch abseits der Straße zu Traktionsproblemen führen kann und den Einsatz von Triebachsanhängern in Zukunft wieder sinnvoll erscheinen lässt [3].

Vor diesem Hintergrund ist die Messung der am Koppelpunkt zwischen Anhänger und Zugfahrzeug wirkenden Kräfte besonders interessant. So wurden bereits mehrfach Messmethoden vorgestellt. Es können auch nur einige exemplarische Literaturstellen angegeben werden, ohne dass Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Die unterschiedlichen Anforderungen an beispielsweise Messgenauigkeit, Dynamik und Bauform führten dabei zu unterschiedlichsten Lösungen. Getrieben wurden die Entwicklung und Konstruktion entsprechender Aufnehmer stets von den spezifischen Anforderungen an den jeweiligen Messaufbau. So

können die Motivationen zur Messung von Kräften an der Verbindung von Zugfahrzeug und Anhänger grob in Fahrdynamik [4], Untersuchung von Zug- und Triebkraft [5], Verhalten bei auf die Gespannhälften aufgeteilter Antriebsleistung [6] und die Erfassung von Lastkollektiven [7] aufgeteilt werden. Ebenso unterschiedlich sind die Messmethoden. Dabei sind in erster Linie Aufbauten mit mehreren Einzelaufnehmern [6] von solchen mit einem einzelnen, mit Dehnungs-Messstreifen (DMS) beklebten Messkörper [7] zu unterscheiden, wobei nicht notwendigerweise immer alle Krafrichtungen erfasst werden.

Problemstellung

Betrachtet man zunächst die Komplexität der Aufbauten, so fällt sofort auf, dass für Strukturen mit Einzelaufnehmern, in der Regel sind dies Kraftmessdosen, ein hoher Aufwand für die Vermeidung des Auftretens von Querkräften notwendig ist. Typischerweise ist hier auf jeder Achse eine Kraftmessdose angeordnet, die durch eine Aufhängung mit Gelenklagern querkräftfrei gehalten wird. In diesen ergibt sich ein proportional zur Längskraft steigendes Reibmoment, welches einerseits den Messwert in der entsprechenden Krafrichtung verringert und andererseits eine erhebliche Hysterese hervorruft. Völlig frei von (äußerer) Reibung arbeiten einteilige Mehrkomponenten-Aufnehmer, wobei auch hier Hysterese auftreten kann. Zwar kann eine Kraft ausschließlich auf den Aufnehmer wirken, so dass sie in ihrer Höhe genauer gemessen werden kann, je-

doch ergibt sich bei allen Aufnehmern dieser Art stets das Problem des Übersprechens einer Krafrichtung in die andere, was ebenfalls zu Falschmessungen führen kann. Müssen solche Mehrkomponenten-Aufnehmer für zwischen den zu messenden Krafrichtungen sehr unterschiedlich hohe zu erwartende Kräfte ausgelegt werden, ergibt sich häufig ein Zielkonflikt zwischen der notwendigen Festigkeit in einer Richtung und der gleichzeitig erwünschten Dehnung in einer anderen. Für den konkreten Fall der Anhängung landwirtschaftlicher Anhänger ist eine sehr hohe Zugkraft (x-Achse), eine vergleichsweise geringe Querkraft (y-Achse) sowie eine in ihrer Höhe zwischen den beiden liegende Stützkraft (z-Achse) zu erwarten.

Konzeption

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird bereits ersichtlich, dass ein einteiliger Aufnehmer mit einem aus Vollmaterial bestehenden Messteil auf Grund der herrschenden Kräfteverhältnisse weniger geeignet erscheint, da bei Vollprofilen ein für diesen Fall ungünstiges Verhältnis zwischen den axialen Widerstandsmomenten und der Querschnittsfläche besteht. Aus Gründen des Bauraums, der Komplexität, der Kosten und vor allem der zu erwartenden Messungsgenauigkeit wurden Konzepte unter Anwendung von Kraftmessdosen frühzeitig verworfen. Auf Grund dieser Umstände konnte bereits früh in der Konzeptphase erkannt werden, dass vermutlich ein Hohlprofil mit in den Achsen unterschiedlich großen Widerstandsmomenten am erfolgsversprechendsten sein würde. Gleichzeitig sollte die Querschnittsfläche so gering wie möglich sein, um auch niedrigere Zugkräfte, bei denen nur ein Bruchteil der bei Maximalkraft auftretenden Dehnung vorliegt, noch erfassbar zu machen. Als besonders vorteilhaft ist hierzu ein rechteckiges Hohlprofil mit unterschiedlich starken Wandungen in den beiden Biegerichtungen anzusehen. Die Querschnittsfläche kann durch die Verwendung von Vergütungsstahl (42CrMo4) noch zusätzlich verringert werden, da die zulässigen Spannungen zum Beispiel gegenüber Baustahl deutlich höher liegen.

Ziel der Entwicklung ist also eine kleinstmögliche Querschnittsfläche, um auch Kräfte in x-Richtung gut messen zu können. Je-

doch zeigen kurze Überlegungen zum Bauraum, dass das Profil deutlich kürzer als hoch werden muss, womit die Bedingung des einfachen Biegebalkens für die z-Komponente nicht erfüllt werden kann. Durch den Einsatz des FEM-Entwicklungswerkzeuges Pro/MECHANICA konnten jedoch das Verhalten vieler Entwürfe beim Aufbringen von Lasten modelliert werden. Die Maximallasten wurden dabei für einen Anhänger mit einer Gesamtmasse von 22t wie in *Tabelle 1* dargestellt definiert.

Die aus Pro/ENGINEER übernommenen Modelle können dabei leicht und schnell modifiziert und diese Modifikationen in einer folgenden Schleife auf ihre Vorteilhaftigkeit untersucht werden. *Bild 1* zeigt eine solche Modifikation in Form von Anbringungen zusätzlicher Bohrungen für Verschraubungen, welche den eigentlichen Messkörper mit einer an der Deichselspitze befestigten Adapterplatte verbinden.

Die Verformung des Körpers ist in dieser Darstellung stark überhöht, was die Suche nach Verbesserungsmöglichkeiten jedoch vereinfacht. Deutlich erkennbar ist der gleichförmigere Dehnungsverlauf in den Seitenwänden des Aufnehmers. Mit Hilfe der FEM-Ergebnisse kann so nicht nur der Aufnehmer verbessert werden, sondern auch nach geeigneten Applikationsstellen für DMS gesucht werden. Ein weiteres Ergebnis der FEM-Berechnungen war (erwartungsgemäß), dass die Verrundung mit möglichst großen Radien stets vorteilhaft ist.

Durch die Verwendung eines Hohlprofils ergibt sich ein weiterer Vorteil. Im Hohlraum können nicht nur die DMS an geschützter Stelle angebracht, sondern auch noch die Mess-Verstärker für alle drei Achsen integriert werden. Wird der Messkörper dann mit der Adapterplatte verschraubt, entsteht ein äußerst staub- und feuchtigkeitsdichtes Teil. Darüber hinaus können alle Kabel zwischen Verstärker und DMS-Brücke äußerst kurz gehalten werden und die Messelektronik ist hervorragend abgeschirmt. Durch die Integration der Verstärker müssen außerdem lediglich die Versorgungsspannung und drei Messsignale und Masse herausgeführt werden. Dies geschieht über eine einzelne Buchse an der Rückseite der Adapterplatte. Dort werden auch drei Taster zum Nullpunktgleich gleich staub- und wasserdicht eingebaut.

Ergebnisse

Wie im vorangegangenen Teil dargestellt, konnte ein sehr kompakter Drei-Komponenten-Kraftaufnehmer entworfen werden, der sich durch einen hohen Grad von Integration der Messtechnik auszeichnet und als äußerst robust bezeichnet werden kann. *Bild 2* zeigt das Pro/ENGINEER-Modell des Aufneh-

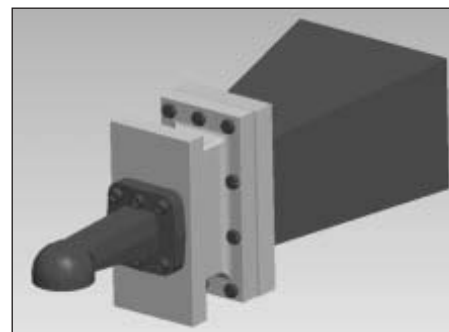


Bild 2: Pro/E-Modell der Kraftmesseinrichtung

Fig. 2: Pro/E-model of the force-measuring-unit

mers und der Adapterplatte, montiert an einer Deichsel und mit einer „Zugöse“ für Kupplungskugel80 versehen. Diese hat im speziellen Fall einen über die bekannten hinausgehenden Vorteil. Durch die Spielfreiheit bleibt der Angriffspunkt der Kraft stets im gleichen Abstand, wodurch das Anbringen von Schneiden wie in [7] entfallen kann.

Der Aufnehmer inklusive der Adapterplatte misst über alles etwa 220 • 160 • 350 mm und kann mittels eines Standard-Lochbildes mit Zugöse und Deichsel verschraubt werden. Es ist somit davon auszugehen, dass weder Einsatzfähigkeit noch Fahrverhalten des Anhängers durch die Anbringung des Aufnehmers nennenswert beeinflusst werden.

Nach Fertigstellung des Aufnehmers konnten bisher nur einige Vorversuche zur Kalibrierung ausgeführt werden. Dabei konnten sehr zufrieden stellende Ergebnisse erzielt werden, obwohl sich ein leichtes Übersprechen der z-Kraft in die x-Kraft einstellte. Dies war schon anhand der Ergebnisse aus der FEM-Modellierung zu vermuten gewesen. Dieses Übersprechen kann jedoch durch ein einfaches Korrekturverfahren herausgerechnet werden und könnte konstruktiv nur mit erheblichem Mehraufwand und unter Inkaufnahme anderer Nachteile verringert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Im beschriebenen Entwicklungsprozess konnte ein Kraftaufnehmer konstruiert werden, der alle drei an der Verbindung zwischen Traktor und Anhänger auftretenden Kraftkomponenten erfassen kann. Darüber hinaus wird er den rauen Einsatzbedingungen landwirtschaftlicher Fahrzeuge durch die Integration der notwendigen Elektronik in hohem Maße gerecht. Eine Beeinträchtigung der Einsatzfähigkeit von Traktor oder Anhänger in der Praxis ist nicht zu befürchten. Bezüglich der Kalibrierung und der endgültigen Klärung des Phänomens des Übersprechens kann erst nach den anstehenden Untersuchungen auf einer entsprechend ausgestatteten Prüfmaschine eine endgültige Aussage getroffen werden.

Tab. 1: Vorgegebene Maximallasten

Table 1: Given maximum loads

Achse	Kraft	Höhe [kN]
x	Zug- / Schub-	150
y	Quer-	50
z	Stütz-	100