

# Kraftwirkungen beim Schlepper mit einachsigen Triebachsanhänger

DK 631.372:631.373

Beim Betrieb eines Schleppers mit einachsigen Triebachsanhänger treten durch die entstehenden gegenseitigen Kraftwirkungen besondere Probleme auf. Vorteile ergeben sich dadurch, daß das gesamte Gewicht des Anhängers mit der Nutzlast eine angetriebene Achse belastet und man dadurch eine bessere Ausnutzung der Motorleistung an den Triebädern erzielt.

Theoretische und experimentelle Untersuchungen sollten die Zusammenhänge zwischen den gegenseitigen Kraftwirkungen klären und zu einer Aussage über die Leistungsfähigkeit und die vorteilhaften Einsatzbedingungen solcher Fahrzeuge führen. Dazu wurde ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, das Vor- und Nacheilen der Anhängertriebachse in Abhängigkeit von verschiedenen Fahrzuständen zu berechnen. Mit Hilfe des aufgestellten Verfahrens ist es möglich, die Kraftwirkungen zwischen Schlepper und Anhänger sowie die dabei auftretende Blindleistung für einen beliebigen Fahrzustand zu berechnen, wenn die Anhängertriebkraft in Abhängigkeit vom Vor- oder Nacheilen bei der Geradeausfahrt und die geometrischen Abmessungen bekannt sind. Die theoretischen Berechnungen wurden für den allgemeinen Fall der Kurvenfahrt über Fahrbahnunebenheiten vorgenommen und für den Fall der Kurvenfahrt in der Ebene durch experimentelle Untersuchungen bestätigt.

Beim Fahren des Schleppers mit dem Triebachsanhänger und bei formschlüssiger Verbindung der Triebachsen kommt es zum Auftreten einer Blindleistung, die die Getriebebauteile zwischen Schlepper- und Anhängertriebachse um das Vielfache der aufgebrauchten Motorleistung beanspruchen kann. Das bedeutet, daß man schon bei der Konstruktion darauf achten muß, eine Fahr-Blindleistung bei jedem beliebigen Fahrzustand möglichst zu vermeiden.

Bei einer formschlüssigen Verbindung der Triebachsen ergeben sich durch die Konstruktion des Triebachsanhängers und die Einsatzbedingungen Unterschiede zwischen den Umfangs- und den Fahrgeschwindigkeiten der Räder einzelner Triebachsen, was zu unterschiedlichen Triebkräften führt. Im idealen Fall sollten bei der Geradeausfahrt die Umfangsgeschwindigkeiten der Schlepper- und der Anhängertriebäder, bei der Kurvenfahrt die theoretischen Winkelgeschwindigkeiten der Schlepper- und der Anhängertriebachsen um den Momentanpol sowie bei der Fahrt über Fahrbahnunebenheiten die Abstände zwischen der Schlepper- und der Anhängertriebachse gleich groß sein. Tatsächlich ändern sich jedoch beim Einsatz des Schleppers mit dem Triebachsanhänger in Abhän-

gigkeit von der Konstruktion und von den Einsatzbedingungen die genannten Größen ständig, so daß durch das Vor- oder Nacheilen der Triebäder und den dadurch entstehenden Schlupf bei positiven oder negativen Umfangskräften die genannte Fahr-Blindleistung entsteht. Diese ergibt ein Spannungsmoment im Getriebe zwischen den Schlepper- und den Anhängertriebädern, so daß erhöhter Verschleiß der Getriebebauteile auftritt. Außerdem entstehen erhöhte Deichselkräfte, die ein unstabiles Fahrverhalten mit sich bringen.

In den theoretischen Untersuchungen werden die Zusammenhänge zwischen den konstruktiven Daten und den verschiedenen Fahrzuständen, dem Vor- und Nacheilen und den dadurch entstehenden Kraftwirkungen behandelt. Das Vor- oder Nacheilen, bedingt durch die Konstruktion, hängt von der Wahl der Getriebeübersetzung vom Motor bis zur Schlepper- bzw. bis zur Anhängertriebachse und von den gewählten Rollhalbmessern der Triebäder ab. Ändern sich die Rollhalbmesser der Reifen im Einsatz, was durch die Belastung der Schlepper- und Anhängertriebachsen, den Rollwiderstand, die Triebkraftbeiwerte und die Bodenbeschaffenheit bedingt sein kann, so kommt es ebenfalls zu einem Vor- bzw. Nacheilen. Bei Kurvenfahrt entsteht zwischen den zurückgelegten Wegen der Schlepper- und der Anhängertriebäder eine Differenz, die von den geometrischen Verhältnissen der Konstruktion abhängt. Bei der Fahrt über Fahrbahnunebenheiten ergibt sich ein Unterschied in den Abständen zwischen der Schlepper- und der Anhängertriebachse, was ebenfalls zu einem Vor- oder Nacheilen führt. Für jeden einzelnen Fahrzustand wird jeweils ein Faktor zum Berechnen des Vor- oder Nacheilens so definiert, daß sich bei überlagerten Fahrzuständen, wie beispielsweise der Kurvenfahrt über Fahrbahnunebenheiten, das gesamte Vor- und Nacheilen durch Multiplikation der genannten Einzelfaktoren bestimmen läßt.

Es werden dann die Zusammenhänge zwischen Schlupf der Antriebsräder und dem Vor- und Nacheilen untersucht. Da auch ein Zusammenhang zwischen Schlupf und Triebkraftbeiwert besteht, ergibt sich eine Abhängigkeit zwischen dem gesamten Vor- und Nacheilen und dem Triebkraftbeiwert.

Stellt man durch Experimente für die Geradeausfahrt ein Diagramm auf, in dem der Zusammenhang zwischen Triebkraft an der Anhängertriebachse und dem Vor- bzw. Nacheilen, bedingt durch die Konstruktion und die Änderung der Rollhalbmesser, aufgetragen wird, so können für einen beliebigen Fahrzustand die Kraftwirkungen zwischen Schlepper und Anhänger berechnet werden. Dies ist deshalb möglich, weil sich herausgestellt hat, daß sich die Kraftwirkung zwischen Schlepper und Anhänger proportional mit dem berechneten Gesamtwert des Vor- oder Nacheilens ändert, unabhängig davon, aus welchen Einzelfaktoren sich dieser Wert zusammensetzt.

Reihe 14 Nr. 15 der FORTSCHRITT-BERICHTER DER VDI-ZEITSCHRIFTEN gibt den vollen Wortlaut der Arbeit als Manuskript gedruckt wieder. 80 Seiten, 38 Bilder, Preis DM 36,50. Bestellungen an die VDI-Verlag, GmbH, 4 Düsseldorf 1, Postfach 1139. Kein Artikel des Buchhandels.

Die Fahr-Blindleistung, die bei allen Fahrzeugen mit zwei Triebachsen auftritt, wird für den allgemeinen Fall, daß die beiden Triebachsen miteinander durch ein Gelenk verbunden sind, theoretisch ermittelt. Dabei ließen sich alle Fahrzustände wie Geradeausfahrt, Kurvenfahrt und Fahrt über Fahrbahnunebenheiten, in einer allgemeinen Gleichung erfassen. Es werden die Blindleistung und die bei der Blindleistung auftretenden Kraftwirkungen berechnet sowie Möglichkeiten zum Verhindern der Blindleistung angegeben, wie beispielsweise durch ein Längsdifferential oder einen Freilauf.

Zum Prüfen der theoretischen Überlegungen wurde ein Versuchstriebachsenanhänger gebaut, mit dem man aus Gründen der Reproduzierbarkeit auf einer ebenen Betonbahn zahlreiche Versuche unternahm. Ein Vergleich der berechneten Werte mit den gemessenen Werten erweist die Brauchbarkeit des angegebenen Rechenverfahrens.

Für eine Beurteilung des Verhaltens eines Schleppers mit einachsigem Triebachsenanhänger im Einsatz wurden noch zusätzliche Zugleistungsprüfungen auf verschiedenen Bodenunterlagen vorgenommen, deren Ergebnisse, zusammen mit den theoretischen Untersuchungen, zu den nachstehenden Schlußfolgerungen führen:

1. Die Anwendung des Schleppers mit Triebachsenanhänger erweist sich auf Bodenunterlagen mit einem niedrigen Kraftschlußbeiwert als vorteilhaft. Der Vorteil des Triebachsenanhängers im Vergleich zum gezogenen Anhänger wirkt sich um so mehr aus, je schlechter die Haftfähigkeitsbedingungen sind. Selbst unter jenen Bedingungen, bei denen die Fahrt des Schleppers mit einem gezogenen Anhänger nicht mehr möglich ist, wie beispielsweise auf Sand oder Schnee, hat der Schlepper mit Triebachsenanhänger noch sehr gute Zugeigenschaften.

2. Aus den theoretischen Überlegungen geht hervor, daß man eine gute Leistungsfähigkeit des Schleppers mit Triebachsenanhänger nur dann erreicht, wenn keine Fahr-Blindleistung auftritt. Aus Gründen der Fahrstabilität darf es zu keinen großen Schubkräften in der Deichsel kommen, weil dadurch ein Umkippen des Gefährtes in der Kurve verursacht werden kann. Bei zu großen Zugkräften in der Deichsel ergibt sich u.U. eine so große Entlastung der Schleppervorderachse, daß die Lenkfähigkeit beeinträchtigt wird. Zur Vermeidung zu hoher Deichselkräfte sollte man zwischen Schlepper- und Anhängergetriebe einen Freilauf vorsehen, der die Anhängertriebachse erst bei einem bestimmten Schlupf der Schleppertriebäder einschaltet. Bei den üblichen Abmessungen von Schleppern und Anhängern bedeutet dies, daß – bedingt durch die möglichen Einsatzbedingungen, wie beispielsweise in einer sehr engen Kurve – die Anhängertriebäder bei Vorhandensein eines Freilaufs ein konstruktives Nacheilen von etwa 30 bis 35 % haben sollten. Dies hat zur Folge, daß bei normaler Geradeausfahrt der Schlupf der Schleppertriebäder sehr groß sein muß, bis der Freilauf sperrt und damit die Anhängertriebäder eingeschaltet werden. Das konstruktive Nacheilen ist demnach als ein Kompromiß zwischen den beiden genannten Forderungen zu wählen. Es wird vorgeschlagen, bei der Konstruktion mit dem eingebauten Freilauf ein konstruktives Nacheilen der Anhängertriebäder von etwa 10 bis 12 % vorzusehen. Soll sich beim Abbremsen des Gefährts die Bremswirkung des Motors auch auf die Triebachse des Anhängers übertragen, so muß der Freilauf gesperrt werden. Zwecks Vermeidens zu großer Beanspruchungen des Getriebes empfiehlt es sich dann, zwischen dem Schlepper und dem Anhänger eine Sicherheitskupplung einzubauen. LFBK 157

Hohenheim

Dr.-Ing. Miroslav Stegenšek

## Zugkraft-Regelhydraulik nach neuem Prinzip

DK 62–531.8–522:631.372:629.114.2

Bei der herkömmlichen Zugkraft-Regelhydraulik wird im allgemeinen als Regelgröße die Längskraft im oberen Lenker oder in einigen Fällen auch die im unteren Lenker benutzt. Dieses System ist trotz seiner großen Verbreitung mit Nachteilen behaftet, da die in den Lenkern auftretenden Kräfte nicht immer ein brauchbares Maß für die Zugkraft sind – insbesondere bei der verbreiteten Oberlenker-Regelung.

Gegen Ende des Jahres 1971 wurde nun von einem Schlepperhersteller in den USA ein neues Prinzip der Zugkraft-Regelung vorgestellt<sup>1)</sup>, das diese Schwierigkeiten durch direktes Messen der Zug-

kraftbelastung verhindern soll: In einen Standardschlepper der 85 PS (60 kW)-Klasse befindet sich zwischen Schaltgetriebe und Endtrieb ein nicht näher beschriebener Lastaufnehmer, der seine Meßwerte an die Dreipunkthydraulik weitergibt; diese hebt oder senkt das Gerät bei Abweichungen vom eingestellten Sollwert. Außerdem ist ein Anschluß von „remote“-Hydraulik-Zylindern an das System möglich. Die vom Hersteller mit „Load Monitor“ bezeichnete neue Art der Zugkraft-Regelung kann sowohl bei Vorwärts- wie auch bei Rückwärtsfahrt benutzt werden. Die herkömmliche Hydraulik wurde trotz dieser Verbesserung aus nicht genannten Gründen beibehalten, so daß der Schlepper außer dem beschriebenen System der „Exakt-Zugkraft-Regelung“ auch mit Oberlenker-Regelung oder Lage-Regelung arbeiten kann.

Braunschweig

K.Th. Renius

<sup>1)</sup> Quelle: Ford's 7000 features „Load Monitor“ (Ford stellt den „Load Monitor“ vor). Implement & Tractor Bd. 86 (1971) Nr. 21, S. 38. Danach dieses Referat.