

# Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT  
UND FACHGEMEINSCHAFT LANDMASCHINEN IM VDMA

Heft 2/1960

MÜNCHEN

10. JAHRGANG

Friedrich Feldmann:

## Möglichkeiten und Einsatzbereiche der Triebachse

*Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft, Frankfurt (Main)*

Seit der ersten Veröffentlichung von BRENNER und GAUS [1] über die landwirtschaftliche Triebachse haben sich mehrere Hochschulinstitute, das Schlepperprüffeld, die Industrie und auch zum Teil die Beratung mit diesem Problem beschäftigt [2; 3]. Das Ergebnis aller Untersuchungen und die entsprechenden Vorschläge sind so vielgestaltig, daß das Problem immer unübersichtlicher wurde. Das Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft (KTL) hatte sich daher entschlossen, den Versuch einer Befragung der Praxis über ihre bisherigen Erfahrungen und den daraus resultierenden Wünschen zu machen. Das Ergebnis war in vielen Punkten ebenso vielschichtig, wie das aus der Literatur hervorgehende. Es wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Schlepperforschung, Braunschweig-Völkenrode, unter Berücksichtigung der in der Literatur bekanntgegebenen Erfahrungen ausgewertet. Das Ergebnis ist in zwei Beiträgen niedergelegt [14; 15].

Die folgenden Gedanken und Berechnungen über den sinnvollen Einsatzbereich der Triebachse wollen an einem typischen Beispiel unter Verwendung vorhandener Arbeiten die Grenzen abstecken, wo andere Möglichkeiten aufhören und die der Triebachse beginnen.

### Die verfügbare Umfangskraft am Reifen

Ausgehen muß man von dem Bild eines bestimmten Schleppers, der einen Wagen mit einer bestimmten Nutzlast zieht. Der Schlepper möge eine Nennleistung von  $N_n = 25$  PS haben, von der hoch gerechnet 11% in Getriebe und Achse verlorengehen mögen. Dann bleiben  $N_u = 22,2$  PS am Reifenumfang nutzbar. Wieviel kann dieser Schlepper — zunächst ohne Triebachse — ziehen, oder mit anderen Worten, welchen Fahrwiderstand kann der Zug bei gegebener Nutzlast und gegebenem Gesamtgewicht noch überwinden?

Die Definition, daß 1 PS die Leistung darstellt, die notwendig ist, um die Arbeit von 75 mkp in 1 sec zu leisten, also

$$N \text{ [PS]} = \frac{A \text{ [mkp]}}{75 \cdot t \text{ [sec]}}$$
 kann man auch in die Form bringen

$$N_u \text{ [PS]} = \frac{U \text{ [kp]} \cdot v \text{ [m/sec]}}{75} = \frac{U \text{ [kp]} \cdot V \text{ [km/h]}}{75 \cdot 3,6} = \frac{U \cdot V}{270}$$

Dabei bedeutet

$N_u$  = Zugleistung am Reifenumfang [PS]

$U$  = Zugkraft am Reifenumfang [kp]

$V$  = Fahrgeschwindigkeit ohne Schlupf [km/h].

Die Zugkraft  $U$  tritt am Reifenumfang auf und heißt auch Umfangskraft. Die Zugkraft am Zughaken ist gegenüber der Umfangskraft geringer um den eigenen Fahrwiderstand des Schleppers und wird außerdem durch die Bodenhaftung oder Reifenzugkraft begrenzt.

Die Umfangskraft am Reifen beträgt also  $U = \frac{270 \cdot N_u}{V}$  oder im Beispiel bei einem Schlepper mit  $N_u = 22,2$  PS (bzw.  $N_n = 25$  PS)  $U = \frac{6000}{V}$ . Diese Beziehung ist in Bild 1 dargestellt. Von der

Motorleistung her ergibt sich also für jede Geschwindigkeit eine zugehörige Umfangskraft am Reifen, die nach der Hyperbel mit dem Parameter für  $N_n = 25$  PS von 300 kp bei 20 km/h über 1200 kp bei 5 km/h und 2000 kp bei 3 km/h theoretisch bis  $\infty$  wachsen könnte, wenn der Schlupf das nicht verhindern würde. Für andere Nennleistungen des Schleppers ergeben sich entsprechend ähnliche Kurven.

### Der Fahrwiderstand des Zuges

Im Zusammenhang mit dem hier vorliegenden Problem soll die Schlepperleistung zum Lastentransport nutzbar gemacht werden. Die Umfangskraft am Schlepperreifen dient dann zur Überwindung des Fahrwiderstandes  $W$  des Zuges, der aus Schlepper und

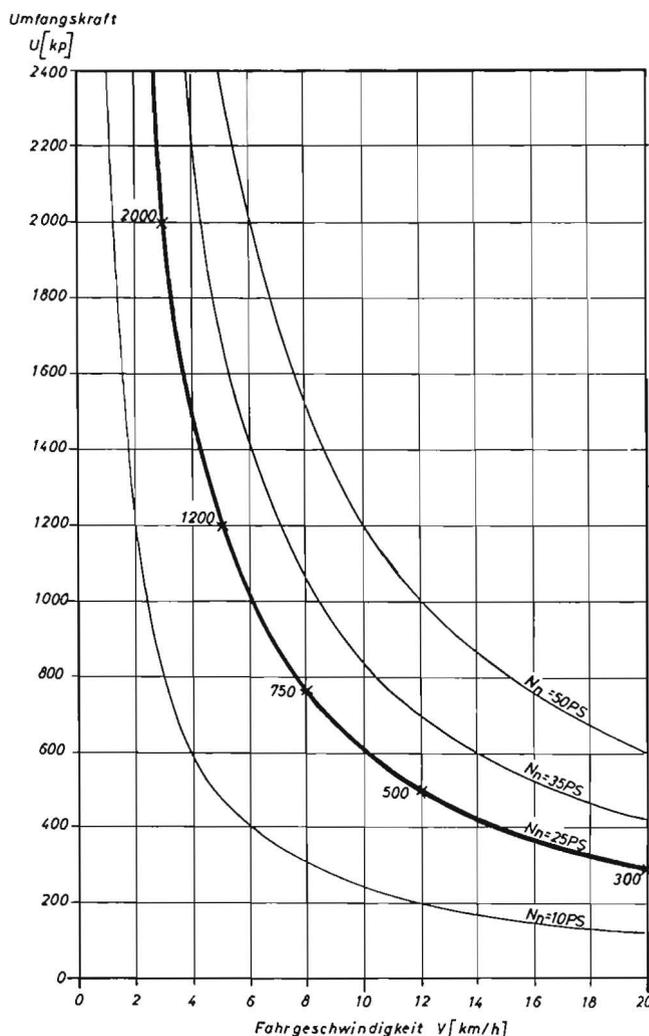


Bild 1: Die Umfangskraft am Schlepperreifen in Abhängigkeit von der vorhandenen Motorleistung und der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit

Anhänger besteht. Dieser Fahrwiderstand ergibt sich aus dem Gesamtgewicht des Zuges  $G$  und dem Fahrwiderstandsbeiwert  $f$  mit  $W = G \cdot f$ . Der Fahrwiderstandsbeiwert setzt sich zusammen aus dem Rollwiderstandsbeiwert  $f_r$  und dem Beiwert für den Steigungswiderstand  $f_s$ . In unserem Beispiel möge gelten:

Eigengewicht des Schleppers = 1500 kp  
 Eigengewicht des Anhängers = 1000 kp  
 Nutzlast = 3000 kp

Gesamtgewicht des Zuges  $G = 5500$  kp.

Der Rollwiderstandsbeiwert ist hauptsächlich von der Beschaffenheit der Straße abhängig. Bei ebener fester Straße kann man mit Werten für  $f_r$  zwischen 0,02 und 0,05 rechnen [3; 6]. In unserem Beispiel ist dann in der Ebene für  $f = f_r = 0,05$  der Fahrwiderstand des Zuges  $W = G \cdot f = 5500 \cdot 0,05 = 275$  kp. Nimmt man zunächst einmal an, daß die Bodenhaftung ausreichend ist (das heißt, daß das Produkt aus der „Betriebsachslast“ und dem „Kraftschlußbeiwert“ größer ist als 275 kp), dann reicht die bei 20 km/h verfügbare Umfangskraft von  $U = 300$  kp aus, um dem Widerstand von  $W = 275$  kp zu überwinden und somit den Zug auf ebener, fester Straße mit  $V = 20$  km/h fortzubewegen. Voraussetzung dabei ist, daß der Schlepper einen Gang besitzt, der bei  $V = 20$  km/h die Nenndrehzahl und somit Nennleistung des Motors ergibt. Dabei wird allerdings ein gewisser Schlupf auftreten, der aber in diesem Bereich nicht die Zugkraft, sondern nur die effektive Geschwindigkeit und damit die Zugleistung verringert. Diese spielt aber bei der Überlegung, wie eine höchstmögliche Last fortbewegt werden kann, keine entscheidende Rolle.

Nehmen wir jetzt an, daß zu dem Rollwiderstand in der Ebene eine Steigung von 4% hinzukommt, so ruft diese 4%ige Steigung einen zusätzlichen Fahrwiderstand von  $f_s = 0,04$  hervor. (Das Gesamtgewicht des Zuges muß um das 0,04fache des Weges gehoben werden, wobei zur Vereinfachung die Projektion des ansteigenden und dadurch tatsächlich längeren Weges auf die Waagerechte als Grundlage angesehen wird.) Der Fahrwiderstand als Summe von Roll- und Steigungswiderstand beträgt also jetzt im Beispiel  $W = G \cdot f = 5500 \cdot 0,09 = 500$  kp. Diesen Widerstand kann der 25 PS-Schlepper mit seiner Umfangskraft am Reifen von 500 kp bei der Geschwindigkeit von  $V = 12$  km/h (Bild 1) gerade noch überwinden, allerdings nur, wenn die Bodenhaftung ausreicht und der Schlepper einen Gang besitzt, der bei  $V = 12$  km/h die Nenndrehzahl des Motors ergibt.

Aus diesem Beispiel sieht man, daß zu jeder von der Geschwindigkeit abhängigen Umfangskraft ein Widerstandsbeiwert zugeordnet werden kann, der noch auftreten darf, wenn eine gegebene Last bewegt werden soll. Dabei ist es gleichgültig, ob und wie weit sich dieser Widerstandsbeiwert auf Roll- und Steigungswiderstand verteilt. Da die Umfangskraft  $U$  größer oder gleich dem Gesamtwiderstand  $W = G \cdot f$  sein muß, ist der höchstmögliche Widerstandsbeiwert  $f_{max} = \frac{U}{G}$ . Der zur Beschleunigung beim Anfahren

erforderliche Teil der Umfangskraft kann hier unberücksichtigt bleiben, da infolge des beim Absinken der Motordrehzahl ansteigenden Motordrehmoments die maximale Umfangskraft größer ist als die Umfangskraft bei der Nenndrehzahl, mit der hier gerechnet wurde.

Im Beispiel war das Gesamtgewicht des Zuges  $G = 5500$  kp, also ist  $f_{max} = \frac{U}{5500}$ .

Für  $V = 20,0$  km/h war  $U = 300$  kp und  $f = 0,05$ ;  
 für  $V = 12,0$  km/h war  $U = 500$  kp und  $f = 0,09$ .

Ebenso ergibt sich also, daß von der Motorleistung her die folgenden durch  $f_{max}$  ausgedrückten Widerstandsverhältnisse noch überwunden werden können.

Für  $V = 8,0$  km/h und  $U = 750$  kp ist  $f_{max} = 0,14$ ;  
 für  $V = 6,6$  km/h und  $U = 900$  kp ist  $f_{max} = 0,16$ ;  
 für  $V = 5,0$  km/h und  $U = 1200$  kp ist  $f_{max} = 0,22$ ;  
 für  $V = 3,0$  km/h und  $U = 2000$  kp ist  $f_{max} = 0,36$ .

Je langsamer der Zug fährt, um so ungünstigere Widerstandsverhältnisse kann er von der Motorleistung her überwinden. Je geringer die Geschwindigkeit (bei voller Motordrehzahl, das heißt durch Wahl der niedrigen Gänge) aber wird, um so wichtiger wird

die Frage, ob der Schlepper seine Motorleistung bei dieser geringen Geschwindigkeit noch „an den Boden bringen“ kann. Es muß also geprüft werden, ob auch die Reifenzugkraft ausreicht, um den vorliegenden Widerstand zu überwinden.

### Die Reifenzugkraft

Während die Umfangskraft am Reifen von der Motorleistung und der Geschwindigkeit entsprechend Bild 1 bestimmt wird, ist die Reifenzugkraft gleich dem Produkt aus Betriebsachslast (dem während der Fahrt auf der angetriebenen Achse liegenden Gewicht) und dem Kraftschlußbeiwert  $\kappa$ . Dieser kann auf günstiger Fahrbahn bis zu  $\kappa = 1$  und darüber betragen und wächst im allgemeinen mit der Höhe des Schlupfes. Im Beispiels soll der Schlepper ein Eigengewicht von 1500 kp haben. Auf die angetriebene Hinterachse mögen  $G_h = 1000$  kp entfallen, wobei die während der Fahrt auftretende Gewichtsverlagerung von der Vorder- auf die Hinterachse zunächst vernachlässigt werden möge. Wäre der Kraftschlußbeiwert  $\kappa = 1$ , so wäre die maximale Reifenzugkraft  $Z_r = G_h \cdot \kappa = 1000$  kp. Diese wäre dann nach Bild 1 in allen Geschwindigkeiten über 6 km/h ausreichend, um die vom Motor gelieferte Umfangskraft „an den Boden zu bringen“. Die unter praktischen Verhältnissen mögliche Höhe der Reifenzugkraft wird jetzt für mehrere Fälle untersucht.

#### Fall 1: Unbelasteter Schlepper mit Anhänger auf der Straße

Rechnen wir jedoch auf der Straße nur mit  $\kappa = 0,75$  [2], so beträgt bei den Verhältnissen des Beispiels die maximale Reifenzugkraft des unbelasteten Schleppers  $Z_r = G_h \cdot \kappa = 1000 \cdot 0,75 = 750$  kp. Damit könnte die Motorleistung erst bei einer Geschwindigkeit von  $V = 8$  km/h und darüber „an den Boden gebracht“ werden. Von dieser Geschwindigkeitsgrenze an aufwärts wird also die Reifenzugkraft durch die Umfangskraft und diese entsprechend dem  $U \cdot V$ -Diagramm (Bild 1) von der Motorleistung her bestimmt. Unterhalb dieser Geschwindigkeitsgrenze wird die Reifenzugkraft durch die Belastung der angetriebenen Achse und den Kraftschlußbeiwert unabhängig von der Geschwindigkeit auf 750 kp begrenzt. Unser Zug mit dem Gesamtgewicht von  $G = 5500$  kp kann mit dieser Reifenzugkraft dann Boden- und Steigungsverhältnisse überwinden, die durch den Widerstandsbeiwert  $f = \frac{750}{5500} = 0,136$  gekennzeichnet sind, denn die zur Überwindung des Fahrwiderstandes notwendige Reifenzugkraft beträgt  $5500 \cdot 0,136 = 750$  kp, entsprechend dem verfügbaren Wert, der ebenfalls  $1000 \cdot 0,75 = 750$  kp erreicht.

Der unbelastete Schlepper kann also bei Geschwindigkeiten unter  $V = 8$  km/h und bei einem Kraftschlußbeiwert von  $\kappa = 0,75$  eine Reifenzugkraft von 750 kp aufbringen und damit einen ebenso großen Fahrwiderstand überwinden. Dieser tritt auf, wenn eine Nutzlast von 3000 kp (ein Gesamtgewicht von 5500 kp) über ein Gelände mit dem Widerstandsbeiwert  $f = 0,136$  transportiert wird.

Von diesem Fahrwiderstand in Höhe von 750 kp treten  $1500 \cdot 0,136 = 200$  kp am Schlepper selbst und  $4000 \cdot 0,136 = 550$  kp am Anhänger auf. Die Zugkraft am Zughaken des Schleppers muß also 550 kp betragen. Diese waagrecht wirkende Kraft (vermehrt um den Einfluß des Fahrwiderstandes des Schleppers selbst) verursacht während der Fahrt eine Entlastung der Vorderachse des Schleppers, die bis zum Aufbäumen gehen kann und die außer von der Zugkraft selbst noch abhängig ist von der Höhe der Anhängerkupplung und dem waagerechten Abstand des Schlepperschwerpunkts von der Hinterachse. Diese Entlastung der Vorderachse und damit gleichzeitig zusätzliche Belastung der Hinterachse kann — wie eine einfache Rechnung zeigt — leicht 100 kp betragen. Damit erhöht sich die Reifenzugkraft bei  $\kappa = 0,75$  um 75 kp, das heißt von 750 auf 825 kp, und der Widerstandsbeiwert dürfte bei demselben Gesamtgewicht (von 5500 kp)  $f = \frac{825}{5500} = 0,15$  betragen.

Durch die Motorleistung von 25 PS wird die Geschwindigkeit dabei entsprechend Bild 1 auf 7,3 km/h beschränkt.

#### Fall 2: Unbelasteter Schlepper mit zweiachsrigem Anhänger auf dem Acker

Kommt der Zug von der Straße jetzt auf Ackerboden, so fällt der Kraftschlußbeiwert und damit die Reifenzugkraft. Wertet man

die Untersuchungen des Instituts für Schlepperforschung und des Schlepperprüffeldes in dieser Richtung aus [2; 6; 7; 9], so findet man bei 20% Schlupf und günstigen und mittleren Bodenverhältnissen Werte für  $\kappa$ , die zwischen 0,45 und 0,55 liegen. Bei ungünstigeren Bodenverhältnissen und halb abgenutzten Reifenprofilen findet man Kraftschlußbeiwerte zwischen 0,35 und 0,45. Setzt man für mittlere Bodenverhältnisse  $\kappa = 0,5$  an, so kann der Schlepper mit einer Hinterachslast von  $G_h = 1000$  kp zuzüglich der Lastverlagerung von der Vorder- auf die Hinterachse in Höhe von etwa 100 kp, zusammen also  $G'_h = 1100$  kp, eine Reifenzugkraft von 550 kp aufbringen und damit eine Nutzlast von nur noch 1200 kp (3700 kp Gesamtgewicht) über das Gelände mit dem Widerstandsbeiwert  $f = 0,15$  transportieren ( $3700 \cdot 0,15 = 550$  kp), oder die alte Nutzlast von 3000 kp (5500 kp Gesamtgewicht) über ein Gelände mit dem Widerstandsbeiwert von nur  $f = 0,10$  bewegen ( $5500 \cdot 0,10 = 550$  kp) (Bild 2).

Eine genaue Berechnung der Achslastverlagerung infolge der Zugkraft und des Fahrwiderstandes des Schleppers kann häufig höhere Werte ergeben, soll aber hier nicht vorgenommen werden. Die dabei auftretenden Abweichungen werden überdeckt durch den Einfluß der Verteilung der Achslast und ihrer absoluten Höhe, die bei verschiedenen Schleppern unterschiedlich ist. Es sollen jedoch vor Anwendung der Triebachse zunächst sämtliche sonstigen Möglichkeiten zur Zugkraftsteigerung größenordnungsmäßig diskutiert werden.

### Fall 3a: Schlepper mit Allradantrieb

Um auch bei dem verschlechterten Kraftschlußbeiwert von  $\kappa = 0,5$  die alte Nutzlast über ein Gelände mit höherem Widerstandsbeiwert transportieren zu können, muß und kann die angetriebene Achse des Schleppers durch Zusatzgewichte belastet werden. Würde die angetriebene Achse nicht mit 1000 kp, sondern mit 1500 kp belastet sein, so würde bei  $\kappa = 0,5$  die Reifenzugkraft 750 kp betragen (wie zunächst auch im Fall 1). Dasselbe kann man durch Allradantrieb des Schleppers erreichen, durch den das Gesamtgewicht des Schleppers (1500 kp) für die Reifenzugkraft nutzbar gemacht wird. Allerdings tritt dabei eine zusätzliche Wirkung der Gewichtverlagerung von der Vorder- auf die Hinterachse nicht mehr ein. Der unbelastete Allradschlepper kann also bei  $\kappa = 0,5$  eine Reifenzugkraft von 750 kp aufbringen und damit eine Nutzlast von 3000 kp (5500 kp Gesamtgewicht) über ein Gelände mit dem Widerstandsbeiwert  $f = 0,136$  transportieren. Die Motorleistung erlaubt dabei noch eine Geschwindigkeit von  $V = 8$  km/h.

### Fall 3b: Schlepper mit Zusatzgewichten

Der in der Praxis üblichere Weg zur Erhöhung der Belastung der angetriebenen Achse ist die Verwendung von Zusatzgewichten einschließlich Wasserfüllung der Reifen. Eine zusätzliche Belastung der Hinterachse eines Schleppers, bei dem nur diese angetrieben ist, mit 500 kp bewirkt zwar eine Erhöhung der Reifenzugkraft auf 750 kp zuzüglich 50 kp infolge der Achslastverlagerung von 100 kp bei  $\kappa = 0,5$ , also auf zusammen 800 kp, führt aber zugleich zu einer Erhöhung des Gesamtgewichtes des Zuges auf 6000 kp und damit auch des Fahrwiderstandes von 750 kp auf  $6000 \cdot 0,136 = 820$  kp. Da aber nur 800 kp als Reifenzugkraft zur Verfügung stehen, darf der Widerstandsbeiwert nur  $f = \frac{800}{6000} = 0,133$  betragen, wenn die Nutzlast dieselbe bleibt. Die Motorleistung gestattet dabei noch die Geschwindigkeit von  $V = 7,5$  km/h, falls ein entsprechender Gang vorhanden ist.

### Fall 4a: Schlepper mit aufgesatteltem Einachsanhänger

Bisher handelte es sich in unserem Beispiel um einen zweiachsigen Anhänger, der vom Schlepper gezogen wurde. Jetzt soll, außer den Zusatzgewichten wie in Fall 3b und der Achslastverlagerung infolge der Zugkraft wie in Fall 1 noch ein Teil der Nutzlast zur Erhöhung der Reifenzugkraft herangezogen werden. Das kann zunächst durch einen einachsigen Anhänger geschehen, der seine Deichsellast auf den Schlepper abstützt. Diese Deichsellast möge 600 kp betragen. SKALWEIT [11] gibt für den 3t-Anhänger 750 kp an, läßt dafür aber nur 400 kp Zusatzgewicht am Schlepper zu. Da der Auflagepunkt dieser Last beim Schlepper aus konstruktiven Gründen nie genau unter oder über der Hinterachse liegt,

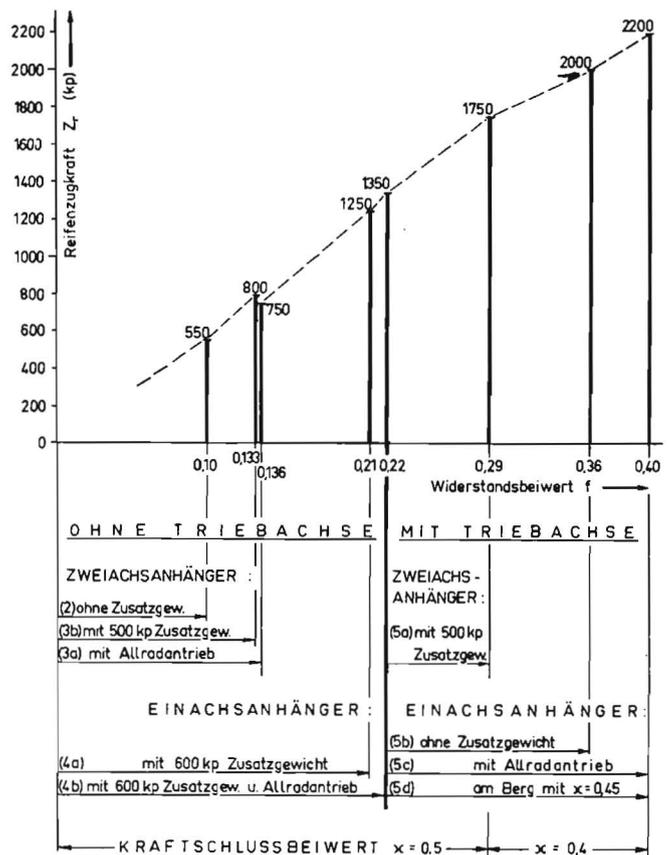


Bild 2: Die Geländeverhältnisse (ausgedrückt durch den Widerstandsbeiwert  $f$ ), die durch einen 25 PS-Schlepper mit 3 t Nutzlast auf Anhängern ohne und mit Triebachse (mit Hilfe der dabei verfügbaren Reifenzugkraft  $Z_r$ ) noch überwunden werden können

sondern ein bestimmtes Maß dahinter, wirkt diese (senkrechte) Sattelast noch zusätzlich entlastend auf die Vorderachse des Schleppers, von der somit ein Teil ihrer Belastung auf die Hinterachse verlagert wird. Das gilt schon bei Stillstand des Zuges. In der Fahrt wirkt die (waagerechte) Zugkraft wie in Fall 1 ebenfalls entlastend auf die Vorderachse. Um die Lenksicherheit zu gewährleisten, müssen jedoch nach MEYER [5] noch mindestens etwa 200 kp auf der Vorderachse bleiben. Deshalb möge die Vorderachse noch mit Zusatzgewichten von 100 kp belastet sein. Insgesamt dürfen also während der Fahrt höchstens  $500 + 100 - 200 = 400$  kp von der Vorderachse auf die Hinterachse verlagert werden, gleichgültig wie weit dies durch die Zugkraft oder die Hebelwirkung der Deichsellast geschieht. Zusammen mit der senkrechten Deichsellast des Einachsanhängers in Höhe von 600 kp sind das 1000 kp Zusatzlast zusätzlich zu den an der Hinterachse entsprechend Fall 3b schon angebrachten Zusatzgewichten von 500 kp. Die während der Fahrt auftretende Gesamtbelastung der Hinterachse beträgt also  $G'_h = 1000 + 1000 + 500 = 2500$  kp. Diese Last muß von dem Achsgehäuse und den Reifen getragen werden. Die Tragfähigkeit von zwei Reifen 10—28 ist damit selbst bei dem höchsten Luftdruck von 1,5 atü voll ausgeschöpft [10; 11]. Bei Verwendung größerer Reifen bildet die Tragfähigkeit des Achsgehäuses des unterstellten 25 PS-Schleppers die Grenze, die eine weitere Belastung verbietet. Selbst die schon im Stand auftretende Achslast überschreitet bei bestimmten Schleppern die zulässige Belastung des Achsgehäuses erheblich [13], so daß dieser Wert als absolutes Maximum angesehen werden muß.

Die nur in der Fahrt und bei einer Deichsellast von 600 kp und Zusatzgewichten von ebenfalls 600 kp am Schlepper auftretende maximale Achslast von 2500 kp ergibt bei einem Kraftschlußbeiwert von  $\kappa = 0,5$  eine Reifenzugkraft von  $Z_r = 2500 \cdot 0,5 = 1250$  kp. Nach Untersuchungen von KLEFOTH [6] und LANGE [7] fällt jedoch bei höheren Achslasten — sobald der Reifenluftdruck wegen dieser erhöhten Achslast über 0,8 atü erhöht werden muß — der Kraftschlußbeiwert bei wenig tragfähigen Böden so weit ab, daß insgesamt keine Verbesserung der Zugkraft herauskommt. Es kann nach diesen Untersuchungen zur Berechnung der

Reifenzugkraft eigentlich nur mit der für 0,8 atü zulässigen Belastung von 1400 kp für zwei Reifen gerechnet werden, was bei  $\kappa = 0,5$  ein  $Z_r = 700$  kp ergibt. Trotzdem soll mit dem Höchstwert von  $Z_r = 1250$  kp weitergerechnet werden, um die Möglichkeiten des aufgesattelten Einachsanhängers ohne Triebachse auf keinen Fall ungünstig erscheinen zu lassen. SCHEFFTER [13] beurteilt sie ganz erheblich schlechter. Von der Motorleistung her ist diese Reifenzugkraft von  $Z_r = 1250$  kp noch bei der Geschwindigkeit  $V = \frac{6000}{1250} = 4,8$  km/h möglich. Bei höherer Geschwindigkeit bestimmt und begrenzt der Motor die Zugkraft, darunter bleibt sie durch die Haftfähigkeit des Reifens auf 1250 kp beschränkt. Es hat dann keinen Zweck mehr, zur Erhöhung der Zugkraft langsamer zu fahren. Diesem Grenzwert der Reifenzugkraft von 1250 kp entspricht bei einem Gesamtgewicht des Zuges von 6100 kp ein Widerstandsbeiwert  $f_{max} = \frac{1250}{6100} = 0,21$ . (Für  $Z_r = 700$  kp wäre  $f_{max} = \frac{700}{6100} = 0,12$ .) Dies Gesamtgewicht setzt sich folgendermaßen zusammen:

|                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| Eigengewicht des Schleppers           | = 1500 kp        |
| Zusatzgewicht an Schleppervorderachse | = 100 kp         |
| Zusatzgewicht an Schlepperhinterachse | = 500 kp         |
| Eigengewicht des Wagens               | = 1000 kp        |
| Nutzlast                              | = <u>3000 kp</u> |
| Gesamtgewicht des Zuges               | = 6100 kp.       |

Von diesem Gesamtgewicht liegen während der Fahrt

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| auf der Vorderachse des Schleppers | 200 kp         |
| auf der Hinterachse des Schleppers | 2500 kp        |
| auf der Achse des Anhängers        | <u>3400 kp</u> |
| zusammen                           | 6100 kp.       |

*Fall 4b: Aufgesattelter Einachsanhänger am Allradschlepper*

Die Verwendung eines Allradschleppers zusätzlich zu den bisherigen Maßnahmen macht noch die verbliebene Vorderachslast in Höhe von 200 kp nutzbar. Bei  $\kappa = 0,5$  ergibt das eine Erhöhung der Reifenzugkraft um 100 kp auf 1350 kp und einen maximalen Widerstandsbeiwert von  $f = \frac{1350}{6100} = 0,22$ . Das Mehrgewicht des Allradschleppers gegenüber dem Schlepper mit Hinterachsantrieb blieb unberücksichtigt. Die Motorleistung erlaubt in diesem Falle noch eine Geschwindigkeit von  $V = 4,4$  km/h. Damit dürfte alles getan sein, was zur Erhöhung der Zugkraft mit bisherigen Mitteln möglich ist.

Ungünstigere Boden- oder Steigungsverhältnisse mit einem Widerstandsbeiwert über  $f = 0,22$  können also mit gezogenen Einachsanhängern bei der unterstellten Nutzlast von 3000 kp und dem unterstellten Kraftschlußbeiwert von  $\kappa = 0,5$  in unserem Beispiel nicht mehr überwunden werden. Selbst der Wert von  $f = 0,22$  kommt nur beim Zusammentreffen vieler günstiger Annahmen zustande.

**Weitere Erhöhung der Reifenzugkraft durch die Triebachse**

Nun sind aber Widerstandswerte über  $f_r = 0,2$  in der Landwirtschaft durchaus nicht selten. SONNEN [8] läßt in der Ebene bei Breitreifen und günstigem Boden  $f_r$ -Werte zwischen 0,1 und 0,2; bei Normreifen und ungünstigen Böden Werte bis zu  $f_r = 0,3$  erkennen, und zwar ohne Berücksichtigung der Fälle, in denen der Anhänger (z. B. bei Kurvenfahrt) nicht in der Schlepperspur fährt. SCHEFFTER [13] rechnet mit  $f_r = 0,22$  auf sandigem Feldweg. BOCK [3] nennt  $f_r = 0,3$  bei Sand- und geegtem Lehmboden und berichtet von Versuchen, bei denen sich auf verschiedenen Böden und Bodenzuständen (ohne Rübenacker) zwar Mittelwerte in der Geraden zwischen 0,15 und 0,20, aber Größtwerte in der Geraden und bei Kurvenfahrt über  $f_r = 0,25$  ergaben. SEGLER und v. PUTTKAMMER [4] schließlich berichten von einem Fall, bei dem sich im Mittel bei gerader Fahrt der Widerstandsbeiwert mit  $f_r = 0,43$  errechnen läßt. Dazu kommen die Steigungen, die bis zu 10% subjektiv kaum sonderlich empfunden werden. Bis zu 20%, das heißt für  $f_r = 0,20$  werden noch fast alle Früchte angebaut. Bis über 30% ( $f_r = 0,30$ ) wird Ackerbau betrieben, bis  $f_r = 0,40$  und darüber wird Grünland bearbeitet. Diese Werte addieren sich zu den Rollwiderständen in der Ebene. Will man Verhältnisse

(Schlamm oder Berg) mit  $f = 0,30$  noch überwinden, so müßte man eine Reifenzugkraft von  $Z_r = 6100 \cdot 0,30 = 1830$  kp aufbringen. Bei einem Kraftschlußbeiwert von  $\kappa = 0,5$  müßte dann die Achsbelastung des Schleppers 3660 kp betragen, was bei einem 25 PS-Schlepper nicht realisierbar ist. Nicht einmal den leeren Anhänger könnte der belastete Schlepper unter solchen Verhältnissen fortbewegen (Gesamtgewicht 3100 kp). Denn die erforderliche Reifenzugkraft von  $3100 \cdot 0,3 = 930$  kp würde bei  $\kappa = 0,5$  eine Achslast von  $\frac{930}{0,5} = 1860$  kp voraussetzen, während bei leerem Anhänger mit 150 kp Deichsellast und etwa 200 kp Gewichtsverlagerung infolge Aufsattelung und Zugkraft erst 1850 kp erreicht werden.

*Fall 5a: Schlepper mit zweiachsigen Triebachsanhänger und 500 kp Zusatzgewicht am Schlepper*

Unter Verhältnissen, die Widerstandsbeiwerte über  $f = 0,20$  (vielleicht schon über  $f = 0,12$ ; vergl. Fall 4a) mit sich bringen, setzt der Anwendungsbereich der Triebachse ein. Durch sie wird die Nutzlast zur Erhöhung der Reifenzugkraft in stärkerem Maße mit herangezogen. Der erste Schritt ist hier die Verwendung eines zweiachsigen Anhängers, dessen erste Achse als Triebachse ausgebildet ist. In unserem Beispiel könnte die Verteilung des Gesamtgewichtes folgendermaßen aussehen (vergl. Fall 3b):

|   |                |
|---|----------------|
| Nicht-angetriebene Vorderachse des Schleppers                               | 500 kp         |
| Angetriebene Hinterachse des Schleppers einschließlich 500 kp Zusatzgewicht | 1500 kp        |
| Angetriebene Vorderachse des Anhängers                                      | 2000 kp        |
| Nicht-angetriebene Hinterachse d. Anhängers                                 | <u>2000 kp</u> |
| Belastung der angetriebenen Achsen  | 3500 kp        |
| Belastung der nicht-angetriebenen Achsen                                    | <u>2500 kp</u> |
| Gesamtgewicht des Zuges   | 6000 kp        |

Bei einem Kraftschlußbeiwert von  $\kappa = 0,5$  beträgt die Reifenzugkraft des Zuges dann (unter Vernachlässigung der in diesem Fall nur geringen Gewichtsverlagerung durch die Zugkraft)  $Z_r = 3500 \cdot 0,5 = 1750$  kp. Da der Fahrwiderstand höchstens diesen Wert annehmen darf, kann der Fahrwiderstandsbeiwert in diesem Fall bis zu  $f_{max} = \frac{Z_r}{G} = \frac{1750}{6000} = 0,29$  betragen. Von der Motorleistung her steht die Umfangskraft  $U = 1750$  kp bei  $V = 3,4$  km/h zur Verfügung.

*Fall 5b: Schlepper mit einachsigen Triebachsanhänger*

Unter Verhältnissen, bei denen Widerstandsbeiwerte von  $f = 0,30$  und darüber auftreten können, wird der einachsige Triebachsanhänger notwendig. Auf die Zusatzgewichte am Schlepper und auf eine nennenswerte Deichsellast des Anhängers kann verzichtet werden. Ohne Zusatzgewichte betrug das Gesamtgewicht des Zuges im Beispiel 5500 kp. Davon liegen 500 kp auf der Vorderachse und 5000 kp auf angetriebenen Achsen. Die Gewichtsverlagerung infolge der Zugkraft ist in diesem Fall so gering, daß sie nicht berücksichtigt wird. Im allgemeinen wird man damit rechnen müssen, daß bei Böden mit Widerstandsbeiwerten über  $f_r = 0,30$  der Kraftschlußbeiwert auf  $\kappa = 0,4$  absinkt. Eine Achslast von 5000 kp und ein  $\kappa = 0,4$  ergeben eine Reifenzugkraft von  $Z_r = 2000$  kp. Diese reicht aus, um das Gesamtgewicht von 5500 kp durch ein Gelände zu bewegen, das einen Widerstandsbeiwert von  $f_{max} = \frac{2000}{5500} = 0,36$  besitzt. Dagegen hatte sich der Zug ohne Triebachse bei  $f = 0,30$  und  $\kappa = 0,5$  nicht einmal ohne jede Nutzlast mehr fortbewegen können. Die Motorleistung ermöglicht eine Umfangskraft von 2000 kp noch bei einer Geschwindigkeit von  $V = 3,0$  km/h.

*Fall 5c: Allradgetriebener Schlepper mit Triebachsanhänger*

Hat der Schlepper darüber hinaus Allrad-Antrieb, so erhöht sich die Reifenzugkraft um  $500 \cdot 0,4 = 200$  kp auf 2200 kp und der noch zu überwindende Widerstandsbeiwert auf  $f_{max} = \frac{2200}{5500} = 0,4$ . Die Motorleistung erlaubt dann noch eine Geschwindigkeit von  $V = 2,7$  km/h. Aber selbst ein Triebachs-Zug in Verbindung mit dem Allrad-Antrieb des Schleppers kann sich nicht mehr bewegen, sobald  $f = \kappa$  wird, weil dann der Widerstand größer wird als die

Reifenzugkraft. In der Ebene dürfte dieser Fall zwischen  $f = 0,35$  und  $0,40$  eintreten, weil bei so hohen Widerstandsbeiwerten der Kraftschlußbeiwert auf denselben Wert absinkt, wie aus einem Vergleich der angeführten Veröffentlichungen hervorgeht.

#### Fall 5d: Schlepper mit Triebachsanhänger am Berg

Am Berg tritt dieser Fall später ein. Bei einem Widerstandsbeiwert von  $f = 0,40$ , der sich aus Rollwiderstand und Steigungswiderstand zusammensetzt, dürfte jedoch wohl in den meisten Fällen der Kraftschlußbeiwert auch schon auf  $= 0,45$  gesunken sein. Für  $f = 0,40$  und  $= 0,45$  ergibt sich bei einem Gesamtgewicht des Zuges von  $5500$  kp ein Widerstand von  $2200$  kp, der ohne Allrad-Antrieb des Schleppers von einer Gesamt-Achslast von  $5000$  kp mit  $= 0,45$ , das heißt einer Reifenzugkraft von  $2250$  kp gerade noch überwunden werden kann. Dabei erlaubt die Motorleistung noch eine Geschwindigkeit von  $V = 2,7$  km/h.

Wäre der Kraftschlußbeiwert auch hier  $\kappa = 0,5$ , dann ergäbe sich ohne Allradantrieb des Schleppers eine Reifenzugkraft von  $Z_r = 5000 \cdot 0,5 = 2500$  kp, die noch für einen Widerstand von  $5500 \cdot 0,45 = 2500$  kp, also für ein Gelände mit dem Widerstandsbeiwert  $f = 0,45$  ausreichen würde. Dieser Fall wurde jedoch als zu unwahrscheinlich nicht in Bild 2 aufgenommen, das sonst alle behandelten Fälle von 2 bis 5 zusammenfassend darstellt.

#### Ergebnis

Die Rechnung anhand eines typischen Beispiels bestätigt die tatsächlich beobachteten und in den Veröffentlichungen angegebenen großen Zugkraftsteigerungen, die mit der Triebachse unter schwierigen Verhältnissen — sowohl im Schlamm wie am Berg — möglich sind. Diese Verhältnisse werden charakterisiert durch die Kennwerte  $f \geq 0,2$  und  $\kappa \leq 0,5$ . Bei günstigeren Umständen kann man ohne Triebachse auskommen.

Die Triebachse hat ihren sinnvollen Einsatzbereich (wie Bild 2 zeigt) weit jenseits der Möglichkeiten, die der Allradantrieb des Schleppers und die Raddruckverstärkung durch die Deichsellast des Einachsanhängers bis zur vollen Auslastung von Achsgehäuse und Reifen bieten. Sie ermöglicht wirtschaftlichen Lastentransport an Hängen, die sonst keine nennenswerten Nutzlasten mehr zulassen würden. Sie macht den Landwirt unabhängig von schwierigen Bodenverhältnissen.

Da solche Verhältnisse in der Praxis immer wieder drohen, ohne daß der Landwirt weiß, wann sie eintreten, und da Stecken-bleiben, beispielsweise in der Rübenerte oder beim Stallmistfahren oder auch nach einem Gewitterguß bei anderen Feldfuhren den Betriebsablauf stört und dadurch teuer ist, trauen viele Landwirte der Motorisierung noch nicht. Sie halten als Notreserve noch Pferde, die aber selbst bei sparsamster Weidehaltung jedes Jahr mehr an Futter kosten, als eine Triebachse an einmaligem Anschaffungspreis.

Dort wo hohe Fahrwiderstände und schlechte Bodenhaftung im Betrieb vorkommen, ist also die Triebachse eine wirtschaftliche Lösung. Sie kommt außerdem der Tendenz entgegen, die zu immer geringer werdendem Leistungsgewicht der Schlepper führt. Es lohnt sich also, die ihrer breiten Einführung noch entgegenstehenden Schwierigkeiten durch zweckmäßige Konstruktion und sinnvolle Anwendung zu überwinden.

#### Schrifttum

- [1] BRENNER, W. G., u. H. GAUS: Zapfwellengetriebene Ackerwagen. Landtechnik 6 (1951), S. 568—571
- [2] KLIEFOTH, F.: Zugkraft, Fahrgeschwindigkeit und Gewicht der Schlepper. Landtechnische Forschung 3 (1953), S. 117—124
- [3] BOCK, G.: Untersuchung der Fahrwiderstände eines 3 t-Ackerwagens mit 16"- und 20"-Reifen. Landtechnische Forschung 4 (1954), S. 33—40
- [4] SEGLER, G., u. D. V. PUTTKAMMER: Rübenabfuhr in nassen Jahren. Landtechnik 10 (1955), S. 602—603
- [5] MEYER, H.: Zur Problematik des Sattelanhängers für Acker-Schlepper. Landtechnische Forschung 6 (1956), S. 39—42
- [6] KLIEFOTH, F.: Der Einfluß der Reifengröße auf die Zugfähigkeit des Schleppers. Landtechnische Forschung 7 (1957), S. 99—102
- [7] LANGE, H.: Über die Zugfähigkeit von Reifen gleichen Durchmessers. Landtechnische Forschung 7 (1957), S. 103—105
- [8] SONNEN, F. J.: Untersuchung der Fahrwiderstände von Norm- und Breitstreifen an Ackerwagen. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 89—92
- [9] SONNEN, F. J.: Einfluß der Profilierung von AS-Reifen auf die Zugfähigkeit. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 92—95
- [10] SONNEN, F. J.: Größe und Tragfähigkeit von Schlepper-Triebachse-Reifen. Landtechnik 14 (1959), S. 151—153
- [11] SKALWEIT, H.: Reifenbelastung bei Schleppern durch Heckenbaugeräte und Sattelwagen. Landtechnik 14 (1959), S. 154—157

- [12] LÜHRS, H.: Die optimalen Betriebsachslasten für angetriebene Schlepperachsen und deren wirtschaftlichste Reifengrößen. Landtechnische Forschung 9 (1959), S. 111—115
- [13] SCHEFFTER, H.: Schlepperachslasten unter der gleichzeitigen Wirkung von Zugkräften und Aufsattellast. Landtechnische Forschung 9 (1959), S. 149—152
- [14] COENENBERG, H. H.: Zur Fahrmechanik der Triebachse. Landtechnische Forschung 10 (1960), S. 34—39
- [15] SCHÖN, A.: Triebachswagen in der Praxis. Landtechnische Forschung 10 (1960), 40—44.

#### Résumé

Friedrich Feldmann: "Actual and Possible Utilisation of Axles for Trailers."

A calculation made for a typical example confirms actual observed increases in tractive effort obtained when powered axles are used under difficult operating conditions such as heavy mud or steep hills. These observations have already been published. These relations are characterised by the values  $f \geq 0,2$  and  $K \leq 0,5$ . It is possible to dispense with a powered axle under favourable conditions.

The scope of application of the powered axle ranges from the possibilities offered by four-wheel drive tractors and increasing the wheel pressure by means of a loaded tow bar of a two-wheeled trailer right through to the full loading of axle housing and tyres. The powered axle permits loads to be economically transported on steep slopes which would otherwise not permit any worth-while load to be moved. The powered axle makes the farmer independent of difficult operating conditions.

The powered axle is a real solution to transport problems arising from traction resistance and heavy soils. It also meets the present tendency to make tractors lighter and lighter whilst increasing the engine output. It is therefore profitable to solve such problems that still remain by suitable designs and skilful application thereof.

Friedrich Feldmann: «Possibilités et domaines d'application de l'essieu moteur.»

Le calcul d'un exemple typique a confirmé les résultats d'observations pratiques publiés précédemment et qui ont révélé que l'essieu moteur confère un accroissement important de l'effort de traction dans des conditions difficiles comme par exemple lors d'un déplacement dans la boue ou sur une côte. Ces relations sont exprimées par les signes  $f \geq 0,2$  et  $K \leq 0,5$ . Dans des conditions plus avantageuses, on renonce à l'utilisation de l'essieu moteur.

L'essieu moteur trouve son application appropriée bien au-delà des possibilités d'application offertes par le tracteur à quatre roues motrices et le reportage du poids de la flèche de la remorque sur le pont arrière et les pneumatiques du tracteur jusqu'à ce que ceux-ci supportent leur charge maximum. L'essieu moteur permet des transports économiques sur les côtes qui sans lui ne pourraient être effectués qu'avec des charges utiles insignifiantes. Grâce à lui, l'agriculteur est libéré des contingences d'un sol difficile.

Là où on se heurte à des résistances à l'avancement élevées et à une mauvaise adhérence au sol, l'essieu moteur constitue une solution heureuse. Il s'adapte en outre à l'évolution qui est orientée vers les tracteurs toujours plus légers, mais à puissance de moteur élevée. Il est donc recommandé de s'efforcer de convaincre, par une construction rationnelle et une application appropriée, les difficultés qui s'opposent encore à son utilisation plus élargie.

Friedrich Feldmann: «Posibilidades y márgenes de empleo del eje motriz en remolques.»

Un cálculo sobre un ejemplo típico confirma los grandes aumentos del esfuerzo de tracción, observados en la práctica, comentados en publicaciones, que pueden conseguirse con él en condiciones difíciles, como en terreno fangoso o en cuestas. Esta situación se caracteriza con los valores  $f \geq 0,2$  y  $K \leq 0,5$ . En condiciones más favorables se puede prescindir del eje motriz.

El eje motriz se emplea de manera conveniente mucho más allá de las posibilidades que ofrece la impulsión a las cuatro ruedas del tractor y del aumento de presión sobre las ruedas que ejerce la carga de la lanza del remolque mono eje, hasta llegar al aprovechamiento completo de la caja del eje y de los neumáticos. Permite el transporte de cargas racionales en pendientes que de otra forma no permitirían el transporte de cargas útiles de alguna consideración, quedando el labrador independiente de las condiciones de terreno difíciles.

En todos los casos que opongan mucha resistencia a la rodadura, y en los que la adhesión al suelo sea poca, el eje motriz ofrece una solución racional. Viene también en favor de la tendencia al empleo de tractores siempre más ligeros con aumento creciente de la potencia del motor. Vale pues la pena ocuparse de la cuestión de vencer los obstáculos que se oponen a su introducción general con construcciones convenientes y con su empleo apropiado.