

## Ackerschlepper-Reifendynamik

### Teil 2: Dynamische Federungs- und Dämpfungswerte

Von Axel Kising und Horst Göhlich, Berlin\*)

DK 631.372:629.11.012.55:625.032.4

Das niederfrequente dynamische Verhalten von AS-Reifen ist in bezug auf die fahrdynamischen Eigenschaften der Ackerschlepper von außerordentlichem Interesse, da diese Fahrzeuge meist nicht mit Aufbaufederungssystemen ausgerüstet sind.

Im folgenden werden die dynamischen Kennwerte Federsteifigkeit und Dämpfungsgrad verschiedener AS-Reifen vergleichend gegenübergestellt und bewertet. Dabei wird der gesamte Geschwindigkeitsbereich bis 50 km/h berücksichtigt.

### 1. Einleitung

Die Aufnahme dynamischer Kennwerte von Ackerschlepper (AS)-Reifen war bisher aufgrund begrenzter versuchstechnischer Möglichkeiten nur für bestimmte Betriebsbedingungen möglich.

Mit der bereits in früheren Veröffentlichungen [1–4] vorgestellten Versuchsanlage für AS-Reifen des Institutsbereiches für Landtechnik und Baumaschinen in Berlin konnte erstmals der gesamte Geschwindigkeitsbereich bis 50 km/h mit Hilfe der Vertikalanregung der Reifenaufstandsfläche exakt untersucht werden.

Zur Ermittlung der dynamischen Kennwerte Federsteifigkeit und Dämpfungsgrad wurde dabei das Vergrößerungsverfahren mit stochastischer Fahrbahnanregung bevorzugt, da dieses Verfahren die geringste Störanfälligkeit aufweist [4]. Die Ermittlung der Federsteifigkeit erfolgt rechnerisch aus den Größen Eigenfrequenz und Reifenmasse; der Dämpfungsgrad wurde mittels des Verfahrens der Halbwertsbreite aus der jeweiligen Vergrößerungsfunktion des Einmassenschwingers berechnet, Bild 1.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft wird für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens gedankt.

\*) Dipl.-Ing. A. Kising war von 1983 bis 1988 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenkonstruktion, Institutsbereich Landtechnik und Baumaschinen der TU Berlin; Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich ist Leiter dieses Institutsbereiches.

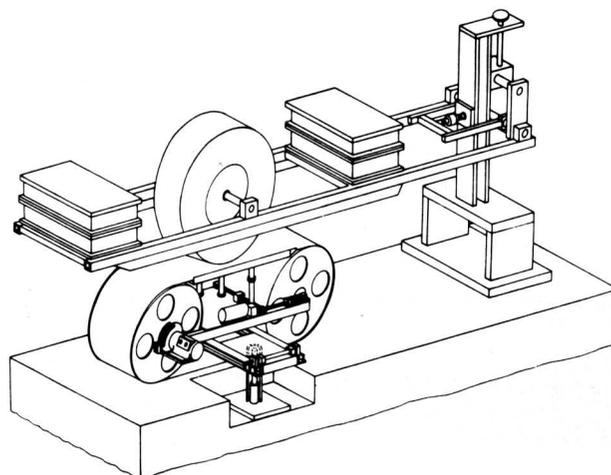


Bild 1. Schematische Darstellung der Reifenversuchsanlage mit vertikaler Schwingungsanregung.

### 2. Beschreibung der Versuchsreifen

Bei der Auswahl der Versuchsreifen wurden folgende Kriterien zugrundegelegt:

- Berücksichtigung von Standardreifengrößen heutiger Ackerschlepper für die Front- und Hinterachse
- Vergleich unterschiedlicher Größen eines Reifentyps
- Vergleich zwischen Radial- und Diagonalbauart
- Berücksichtigung von AS-Sonderreifen wie Pflegereifen und Grünlandreifen im Vergleich zu AS-Standardreifen.

Da sich die radiale Bauart gegenüber der Diagonalbauart weitgehend durchgesetzt hat – in der Erstausrüstung von Ackerschleppern liegt nach Herstellerangaben das Verhältnis der Anteile von Radial- und Diagonalreifen bei etwa 2 : 1 –, wurden bei der Auswahl geeigneter Versuchsreifen in erster Linie Radialreifen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, Bild 2 und 3.

Bei den Frontreifen handelt es sich um für Allradschlepper entwickelte Triebreifen. Die Reifen AS 1 und AS 7 sind Diagonalreifen; der Reifen AS 6 gilt als Niederquerschnittreifen mit einem Höhen/Breiten-Verhältnis von 70 %.



**Bild 2.** Untersuchte AS-Frontreifen.

von links nach rechts

AS 1 (12.4-28) AS 4 (13.6 R 24) AS 6 (14.9 R 24)  
AS 7 (13.6-24) AS 8 (13.6 R 24)



**Bild 3.** Untersuchte AS-Hinterreifen.

von links nach rechts

AS 2 (16.9 R 34) AS 3 (16.9 R 34) AS 9 (9.5 R 44)  
AS 10 (18.4 R 38) AS 11 (13.6-38) AS 12 (16.9 R 34)

Je nach Hersteller und Entwicklungsstadium ergeben sich unterschiedliche Stollenformen, -abstände und -überdeckungen.

Bei den AS-Hinterreifen wurde auf unterschiedliche Baugrößen und -formen geachtet. Der Reifen AS 2 kann als Standardreifen bezeichnet werden. Um den Profileinfluß zu untersuchen, wurde ein Reifen gleicher Größe mit identischem Reifenaufbau, aber ohne Laufflächenprofil hergestellt (AS 3). Der Reifen AS 9 ist ein Spezialreifen, der wegen seiner geringen Breite als Pflegereifen beim Durchfahren von Pflanzenreihen eingesetzt wird.

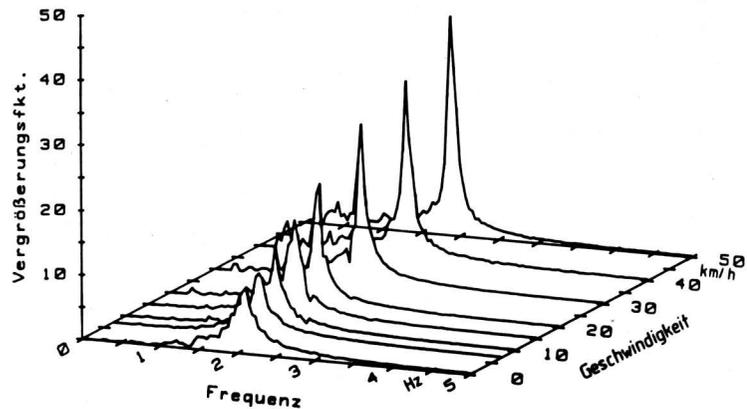
Bezüglich der Baugröße und Tragfähigkeit hebt sich der ebenfalls als Standardreifen zu bezeichnende Radialreifen AS 10 von den anderen Reifen ab. Er wird bei Schleppern mit mehr als 5 t Leergewicht eingesetzt. Als Diagonalreifen wurde bei den AS-Hinterreifen der AS 11 als Vergleichsreifen untersucht.

Ein weiterer Spezialreifen ist der sogenannte Grünlandreifen AS 12. Er hat um etwa 30 % niedrigere Profilstollen als der vergleichbare Standardreifen AS 2. Die niedrige Profilhöhe dient hier zum Schutz der Grasnarbe von Feldfutter- und Dauergrünlandflächen.

### 3. Dynamische Kennwerte von AS-Reifen bei verschiedenen Betriebsbedingungen

Die Aufzeichnung der Vergrößerungsfunktionen bei konstantem Reifeninnendruck in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit gewährt einen guten Einblick in das dynamische Reifenverhalten, Bild 4.

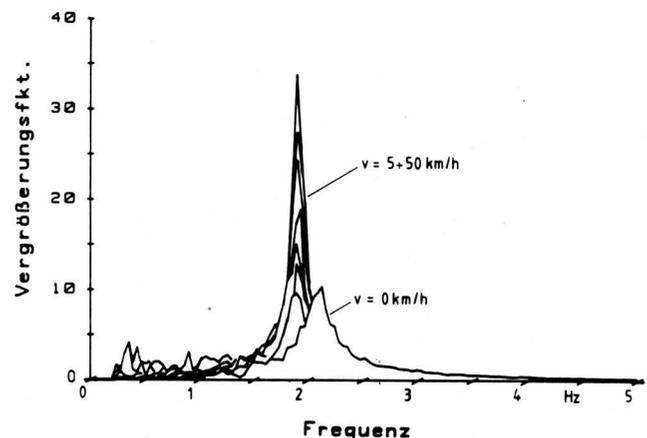
Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit steigen die Maxima der Vergrößerungsfunktionen an, dies ist gleichbedeutend mit einer Reduzierung der Reifendämpfung.



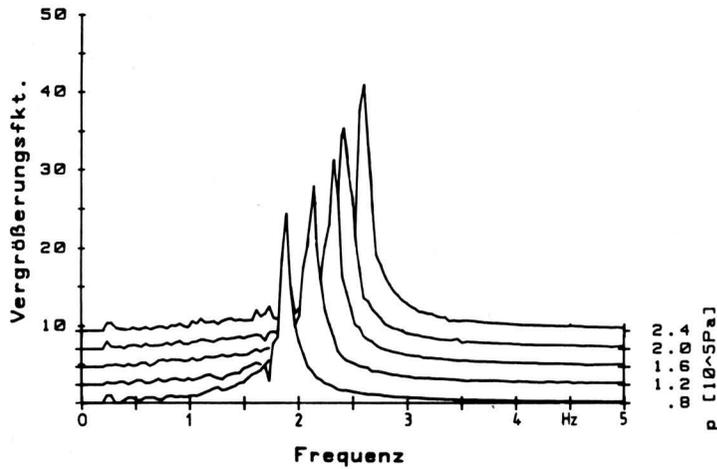
**Bild 4.** Vergrößerungsfunktion in Abhängigkeit von der Frequenz und der Fahrgeschwindigkeit; Reifen AS 2 (16.9 R 34),  $m = 1560 \text{ kg}$ ,  $p = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

Der Unterschied zwischen der dynamischen Federsteifigkeit des nicht-rollenden im Vergleich zum rollenden Reifen wird in Bild 5 deutlich. Die Verschiebung der Eigenfrequenz zu kleineren Werten bedeutet einen Abfall der dynamischen Federsteifigkeit. Hahn [5] führt dieses Phänomen auf Entspannungsvorgänge im Latsch beim Übergang von nicht-rollendem zum rollenden Zustand zurück. Oberhalb einer Rollgeschwindigkeit von 5 km/h liegt eine weitgehende Konstanz der Federkennwerte vor.

Den Einfluß des Reifeninnendruckes auf den Verlauf der Vergrößerungsfunktion zeigt Bild 6 bei konstanter Rollgeschwindigkeit. Die Resonanzfrequenzen und damit die Federsteifigkeiten erhöhen sich gleichsinnig mit der Zunahme des Reifeninnendruckes. Aus dem Anstieg der Amplitudenmaxima bei höheren Reifeninnendruckes kann wiederum auf eine Abnahme der Reifendämpfung geschlossen werden.



**Bild 5.** Vergrößerungsfunktion in Abhängigkeit von der Frequenz für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten; Reifen AS 2 (16.9 R 34),  $m = 1560 \text{ kg}$ ,  $p = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .



**Bild 6.** Vergrößerungsfunktion in Abhängigkeit von der Frequenz für verschiedene Reifennennedrucke; Reifen AS 2 (16.9 R 34),  $m = 1560 \text{ kg}$ ,  $v = 30 \text{ km/h}$ .

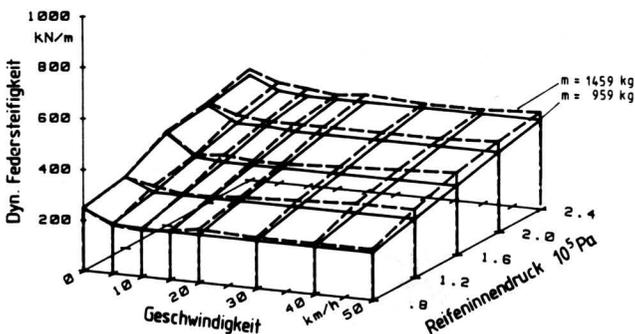
### 3.1 Dynamische Federsteifigkeit

Die verschiedenen reifenspezifischen Einflüsse auf die dynamische Federsteifigkeit sollen nachfolgend als Funktion der Betriebsgrößen Fahrgeschwindigkeit, Reifennennedruck und Radlast untersucht werden.

Für zwei unterschiedliche Belastungsstufen ist das Verhalten eines Radialreifens in **Bild 7** dargestellt. Beim Übergang vom nicht-rollenden zum rollenden Zustand fällt die dynamische Federsteifigkeit um ca. 15–25 % ab und bleibt dann über dem gesamten Geschwindigkeitsbereich bis 50 km/h nahezu konstant. Es besteht eine lineare Abhängigkeit zwischen dem Reifennennedruck und der dynamischen Federsteifigkeit.

Auf der höheren Belastungsstufe liegt die dynamische Federsteifigkeit, bis auf den niedrigen Druck- und Geschwindigkeitsbereich, deutlich über der bei niedriger Belastung. Der progressive Anstieg der statischen Federkennlinie erklärt dieses Verhalten.

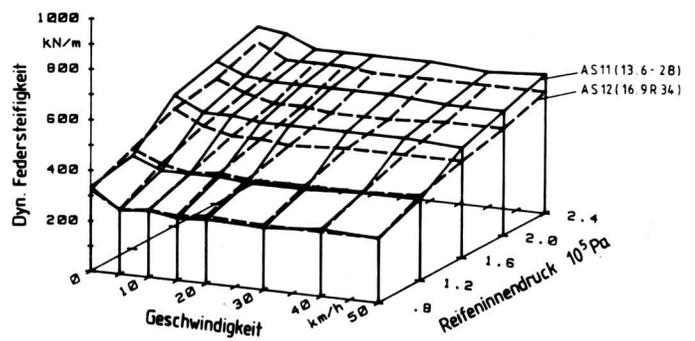
Für die weiteren Untersuchungen wurden Belastungen für die Front- bzw. Hinterreifen gewählt, die einer ca. 60–70 %-Auslastung in bezug auf die Reifentragfähigkeit entsprechen. Bei den ausgewählten Reifengrößen wurde die statische Radlast eines 5 t-Schleppers mit einem Achslastverhältnis zwischen Vorder- und Hinterachse von 40 : 60 zugrunde gelegt.



**Bild 7.** Dynamische Federsteifigkeit in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und vom Reifennennedruck für zwei verschiedene Radlasten; Reifen AS 4 (13.6 R 24).

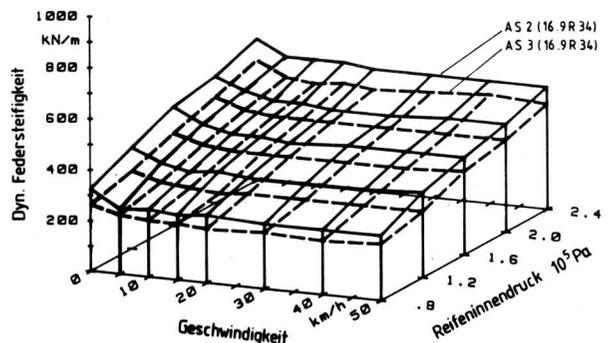
Der Unterschied zwischen einem Radial- und einem Diagonalreifen zeigt sich in **Bild 8**. Generell liegen die Werte für die dynamische Federsteifigkeit eines Diagonalreifens, bei gleichen Abmessungen, stets höher als die eines Radialreifens. Bei den beiden dargestellten Reifen ist ein hiervon abweichendes Verhalten festzustellen.

Unterhalb des Reifennennedruckes von  $1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  liegt eine weitgehende Übereinstimmung der Kennwerte vor. Da der Diagonalreifen schmäler ist als der Radialreifen, kompensiert er dies durch eine höhere "innere" Festigkeit. Ab dem Grenzdruck von  $1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  steigt die dynamische Federsteifigkeit des Diagonalreifens überproportional an. Die Gründe für dieses Verhalten können in einer Art "Grenzspannungszustand" der gekreuzten Lagen des Diagonalreifens liegen, der beim Überschreiten eines bestimmten Reifennennedruckes zu grundsätzlich anderen Gesetzmäßigkeiten bei der radialen Verformung führt. Beim Radialreifen ist ein solches Verhalten, schon aufgrund der gleichmäßigen Einbeziehung des gesamten Reifengürtels in den Verformungsvorgang, nicht zu erwarten.



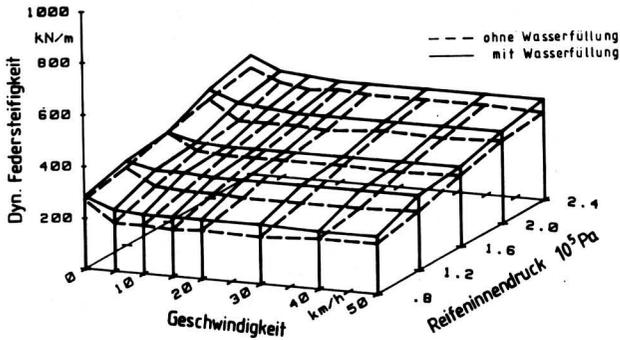
**Bild 8.** Dynamische Federsteifigkeit in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und vom Reifennennedruck für zwei Reifen unterschiedlicher Bauart; Diagonalreifen AS 11 (13.6–28),  $m = 1550 \text{ kg}$ , Radialreifen AS 12 (16.9 R 34),  $m = 1560 \text{ kg}$ .

Eine weitere wichtige Einflußgröße auf die dynamische Federsteifigkeit eines Reifens ist die Reifenprofilierung. Gegenüber dem Standardreifen AS 2 mit Normalprofil, weist der sonst baugleiche profillose Reifen AS 3 erheblich kleinere Werte der dynamischen Federsteifigkeit auf, **Bild 9**. Die grobstollige Reifenprofilierung stützt und versteift den Reifengürtel, wobei ihre Wirkung bis in die Reifenseitenwand hineinreicht.



**Bild 9.** Dynamische Federsteifigkeit in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und vom Reifennennedruck für einen Reifen mit Profil (AS 2 (16.9 R 34),  $m = 1560 \text{ kg}$ ) und einen Reifen ohne Profil (AS 3 (16.9 R 34),  $m = 1520 \text{ kg}$ ).

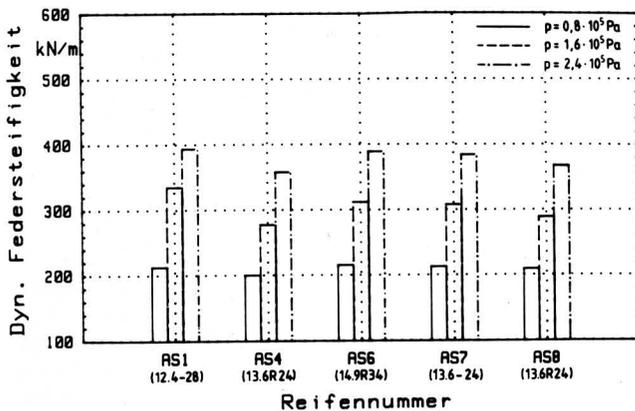
In der Praxis werden AS-Reifen in vielen Fällen mit Wasser gefüllt, um eine Erhöhung der Radlast bei gleichzeitiger Herabsetzung der Schwerpunktshöhe des Fahrzeugs zu erreichen. Füllt man einen Radialreifen zu 75 % seines Innenvolumens mit Wasser, so führt dies im gesamten Betriebsbereich zu einem Anstieg der dynamischen Federsteifigkeit, **Bild 10**. Als Ursachen hierfür können die Reduzierung des Luftvolumens und die höhere Radlast genannt werden. Von geringerer Auswirkung scheint die vermutete Ausbildung eines den Reifengürtel stabilisierenden "Wasserrings" bei hohen Rollgeschwindigkeiten zu sein. Im nicht-rollenden Zustand ist kein eindeutiger Unterschied zwischen den mit Luft oder Wasser gefüllten Reifen feststellbar.



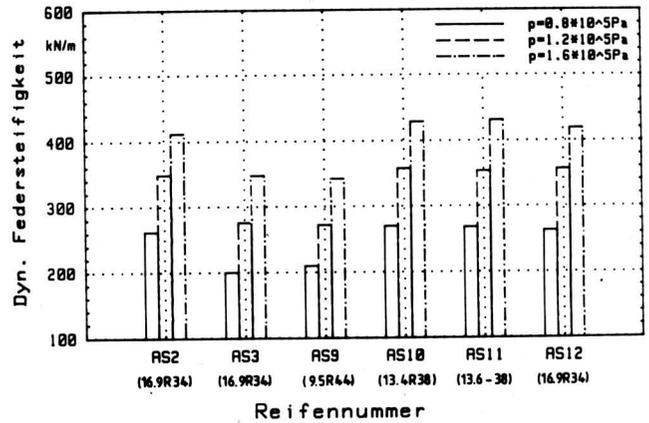
**Bild 10.** Dynamische Federsteifigkeit in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und vom Reifeninnendruck für einen Reifen ohne und mit Wasserfüllung (75 %); Reifen AS 6 (13.6 R 24),  $m = 963$  kg bzw.  $m = 1063$  kg.

Wegen der weitgehenden Konstanz der Werte bei mit verschiedener Geschwindigkeit rollendem Reifen wurden für die untersuchten Front- und Hinterreifen jeweils zusammenfassende Diagramme erstellt, um für mehrere Druckstufen einen Gesamtüberblick zu erhalten, **Bild 11 und 12**.

Im allgemeinen liegen die Werte für die dynamische Federsteifigkeit der AS-Hinterreifen aufgrund größerer Aufstandsflächen, um etwa 25–30 % über denen der vergleichbaren AS-Frontreifen. Der Radialreifen AS 10 weist in bezug auf seine Abmessungen relativ niedrige Werte auf. Dies liegt an der bei diesem Reifen geringeren Auslastung von etwa 45 % der zulässigen Tragfähigkeit, weil dadurch der progressive Anstieg der statischen Federkennlinie erheblich weniger zur Geltung kommt.



**Bild 11.** Dynamische Federsteifigkeit der untersuchten AS-Frontreifen in rollendem Zustand, Radlast  $m = 800$  kg.



**Bild 12.** Dynamische Federsteifigkeit der untersuchten AS-Hinterreifen in rollendem Zustand, Radlast  $m = 1300$  kg.

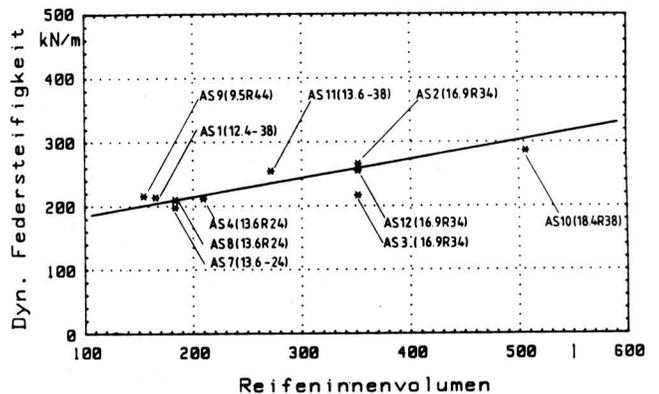
Die höchste dynamische Federsteifigkeit zeigt erwartungsgemäß im höheren Druckbereich der Diagonalreifen AS 12 bei den Hinterreifen und der Diagonalreifen AS 1 bei den Vorderreifen.

Auf ähnlichem Niveau wie die Diagonalreifen AS 1 und AS 7 liegt bei den Frontreifen der Niederquerschnittsreifen AS 6 wegen der größeren Aufstandsfläche.

Trotz der relativ geringen Reifenbreite des Pflegereifens AS 9, zeigt dieser bei höheren Stufen des Reifeninnendruckes eine erstaunlich hohe dynamische Federsteifigkeit, die auf den großen Felgendurchmesser und die daraus resultierende stärkere Einspannung des Reifengürtels wegen der niedrigen Seitenwandhöhe zurückgeführt werden kann.

Bei den bisherigen Darstellungen wurde die Bedeutung der Reifenabmessungen für die dynamische Federsteifigkeit hervorgehoben. Um diesen Einfluß noch deutlicher zu machen, wurden die dynamischen Federsteifigkeiten sämtlicher Reifen für den rollenden Zustand und einen konstanten Reifeninnendruck über dem Reifeninnenvolumen dargestellt, **Bild 13**.

Bei dem Reifeninnendruck von  $0,8 \cdot 10^5$  Pa zeigt sich eine nahezu lineare Abhängigkeit der dynamischen Federsteifigkeit vom Reifeninnenvolumen, wenn man von den Streuungen aufgrund der reifenspezifischen Unterschiede im Aufbau absieht. Auf eine Darstellung bei höherem Reifeninnendruck wird verzichtet, da sich ähnliche Tendenzen mit einer etwas größeren Streuung der Werte ergeben.



**Bild 13.** Dynamische Federsteifigkeit der untersuchten Reifen in Abhängigkeit vom Reifeninnenvolumen; rollend,  $p = 0,8 \cdot 10^5$  Pa.

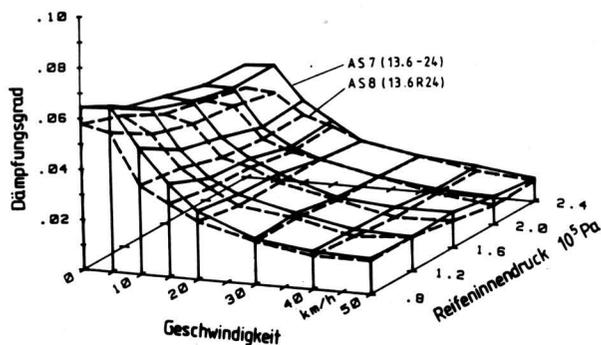
### 3.2 Dämpfungsgrad

Das Dämpfungsverhalten von AS-Reifen ist in erster Linie abhängig von der Fahrgeschwindigkeit, dem Reifeninnendruck und der Reifenbauart.

**Bild 14** zeigt den Dämpfungsgrad eines Diagonal- und eines Radialreifens als Funktion der Fahrgeschwindigkeit und des Reifeninnendruckes. Im Geschwindigkeitsbereich 0–5 km/h ergibt sich kein eindeutiger Verlauf des Dämpfungsgrades, da insbesondere beim nicht-rollenden Reifen das Verformungsverhalten erheblich nicht-linearer ist als im rollenden Zustand. Im Geschwindigkeitsbereich 5–30 km/h fällt der Dämpfungsgrad hyperbelförmig ab und stabilisiert sich ab etwa 30 km/h auf konstantem Niveau, bei ca. 30 % des Ausgangswertes. Als Erklärung für dieses Verhalten kann mit ansteigender Rollgeschwindigkeit die "Aufzehrung" des Werkstoffdämpfungsvermögens beim Abrollvorgang durch die zunehmende Vorverformung des erneut in die Latschfläche eintretenden Reifenmaterials angenommen werden. Der Reifenwerkstoff zeigt ein von der Beanspruchungsvorgeschichte geprägtes Werkstoffgedächtnis. Weiterhin verringert sich durch die Zentrifugalkraftwirkung des Reifengürtels und der Profilstollen die Reifeneinfederung, wodurch die anteilig verformte Reifenmasse reduziert wird.

Der Diagonalreifen hat im Geschwindigkeitsbereich bis 30 km/h eine deutlich höhere Dämpfung als der Radialreifen gleicher Bauartgröße. Zum einen ist die stärkere Verformung und Verspannung im Reifenaufbau aufgrund der gekreuzten Anordnung des Cordgewebes beim Diagonalreifen hierfür verantwortlich, zum anderen führen die stärkeren Relativbewegungen der Reifenstollen im Latschbereich zu höherer Kontaktflächenreibung und damit zu verstärkter Dämpfung.

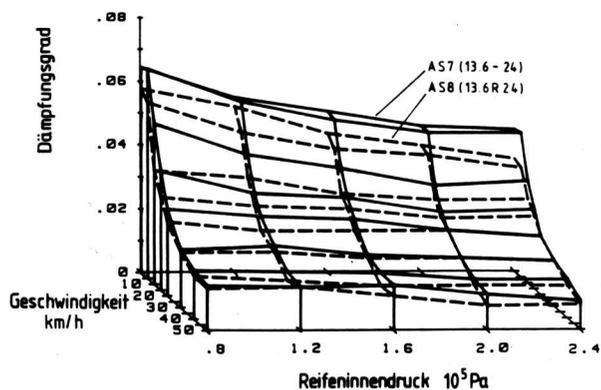
Mit der Zunahme der Rollgeschwindigkeit nähern sich die Dämpfungswerte des Radial- und Diagonalreifens immer weiter an und verlaufen ab 30 km/h dann auf gleichem konstantem Niveau.



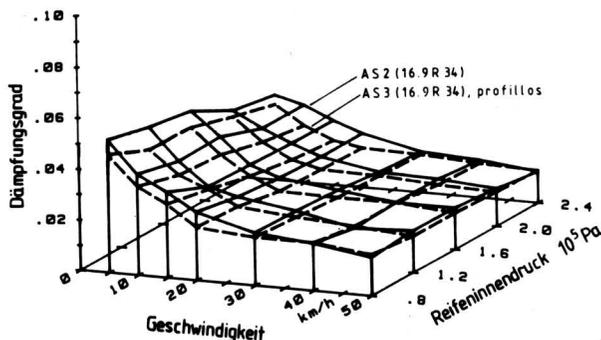
**Bild 14.** Dämpfungsgrad in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und vom Reifeninnendruck für einen Radial- und einen Diagonalreifen gleicher Größe; Reifen AS 8 (13.6 R 24) bzw. Reifen AS 7 (13.6–24),  $m = 952$  kg.

Der Einfluß des Reifeninnendruckes wird deutlicher, wenn man das Kennfeld in Bild 14 von einer anderen Blickrichtung betrachtet, **Bild 15**. Im Geschwindigkeitsbereich 0–30 km/h ergibt sich die Tendenz einer mit zunehmendem Reifeninnendruck abnehmenden Reifendämpfung. Bei Geschwindigkeiten über 30 km/h ist dann kein eindeutiger Einfluß des Reifeninnendruckes mehr feststellbar. Höherer Reifeninnendruck verringert den Anteil des verformten Reifenmaterials und reduziert so die Reifendämpfung.

Den Einfluß des Profils auf den Dämpfungsgrad zeigt **Bild 16**. Für Reifen ohne Profil liegt die Dämpfung deutlich unter der des Reifens mit Normalprofilhöhe, da das verformbare Reifenvolumen geringer ist. Auf eine Darstellung des Dämpfungsgrades bei nicht-rollendem Reifen wird verzichtet, weil aufgrund der Nichtlinearität starke Schwankungen in den Dämpfungswerten eintraten und dieser Betriebszustand von geringem fahrdynamischen Interesse ist.

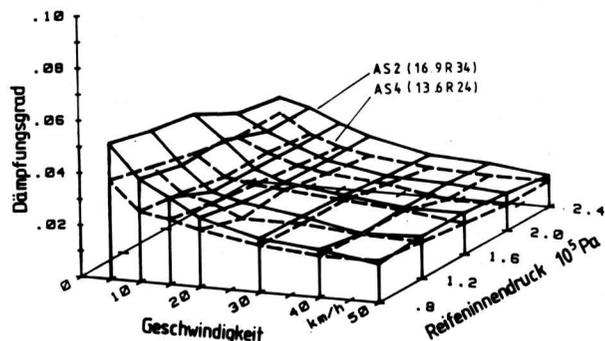


**Bild 15.** Darstellung nach Bild 14 in anderem Blickwinkel zur besseren Verdeutlichung des Einflusses des Reifeninnendruckes.



**Bild 16.** Dämpfungsgrad in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und vom Reifeninnendruck für einen Reifen mit Profil (AS 2 (16.9 R 34),  $m = 1560$  kg) und einen Reifen ohne Profil (AS 3 (16.9 R 34),  $m = 1520$  kg).

Zwischen den AS-Front- und -Hinterreifen existieren ebenfalls Unterschiede im Dämpfungsverhalten, **Bild 17**. AS-Frontreifen weisen geringere Dämpfungswerte im Bereich bis 30 km/h auf und zeigen hier einen stärkeren fahrgeschwindigkeitsabhängigen Dämpfungsabfall als die AS-Hinterreifen. Als Erklärung kann hier der stärkere Einfluß der Drehkreisfrequenz im Sinne zunehmender Zentrifugalkraftwirkung sowie der schnellere Wiedereintritt des im Latschbereich verformten Reifenmaterials gelten ("Werkstoffgedächtnis"). Auf weitere Darstellungen wurde verzichtet, da alle anderen Versuchstreifen sich im Dämpfungsverhalten tendenziell ähnlich verhielten und innerhalb der angegebenen Schwankungsbreite lagen. Unterhalb der Rollgeschwindigkeit von 30 km/h waren demnach reifenspezifische Einflüsse wirksam, oberhalb davon kann kein wesentlicher Unterschied mehr festgestellt werden.



**Bild 17.** Dämpfungsgrad in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und vom Reifeninnendruck für zwei Reifen unterschiedlicher Größe; Frontreifen AS 4 (13.6 R 24),  $m = 958$  kg bzw. Hinterreifen AS 2 (16.9 R 34),  $m = 1560$  kg.

#### 4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Kennfelder der dynamischen Federsteifigkeit und des Dämpfungsgrades als Funktion des Reifeninnendruckes und der Fahrgeschwindigkeit ermöglichen einen Gesamtüberblick über die dynamischen Grundschwingungseigenschaften von AS-Reifen.

Generell liegen die dynamischen Federkennwerte der rollenden Reifen um etwa 15–20 % niedriger als die aus den statischen Federkennlinien der nicht-rollenden Reifen ermittelten.

Die dynamische Federsteifigkeit steigt linear mit dem Reifeninnendruck an. Sie fällt vom nicht-rollenden zum rollenden Zustand um etwa 15 % ab und bleibt im Geschwindigkeitsbereich 5–50 km/h nahezu konstant. Wesentliche reifenspezifische Einflußgrößen sind die Reifenprofilierung, das Bauvolumen und die Bauart.

Die Reifenprofilierung führt zu einer Versteifung des Reifenaufbaus; das Bauvolumen bestimmt die Aufstandsfläche und damit die Traglast und die Bauart die Karkassensteifigkeit. Diagonalreifen weisen prinzipiell höhere Federsteifigkeiten auf als Radialreifen.

Die Dämpfungseigenschaften von AS-Reifen werden insbesondere im Geschwindigkeitsbereich bis 25 bzw. 30 km/h vom Reifeninnendruck und der Reifenbauart beeinflusst. Ein höherer Reifeninnendruck reduziert die Reifendämpfung. Diagonalreifen haben wegen der größeren inneren Verformungsvorgänge und der größeren Kontaktflächenreibung größere Dämpfungswerte als Radialreifen.

Oberhalb einer Fahrgeschwindigkeit von 25–30 km/h liegen die Werte bei allen untersuchten Reifen und unabhängig von sonstigen Betriebsbedingungen auf gleichem niedrigem Niveau.

Eine Verbesserung der Fahrsicherheit im höheren Geschwindigkeitsbereich kann aus diesen Gründen nicht durch eine Anhebung der inneren Dämpfung des Reifens erfolgen. Lediglich größere Einfederungswege, d.h. kleinere dynamische Federsteifigkeiten, sind ein taugliches Mittel zur Verbesserung der Fahrdynamik.

Da neben den niederfrequenten Schwingungseigenschaften von AS-Reifen mit zunehmender Rollgeschwindigkeit Eigenschaften wie das Überrollverhalten, die Profilerregung und das Rundlaufverhalten von zunehmendem Interesse hinsichtlich der Fahrdynamik und Fahrsicherheit sind, werden diese Größen in einer weiteren Veröffentlichung vorgestellt und bewertet.

#### Schrifttum

- [ 1 ] *Göhlich, H. u. A. Kising:* Flachbahnreifenprüfstand zur Kennwertermittlung von großvolumigen Traktor- und Baumaschinenreifen. TU-Forschung aktuell Jg. 4 (1987) Nr. 16/77, S. 52/54.
- [ 2 ] *Kising, A.:* Kenndatenermittlung von AS-Reifen für höhere Geschwindigkeiten als Basis numerischer Simulation. Vortrag Internationale Tagung Landtechnik, Braunschweig 22./23. Okt. 1987.
- [ 3 ] *Kising, A. u. H. Göhlich:* Dynamic properties of agricultural tyres. Vortrag AG-ENG, Paris 1988.
- [ 4 ] *Kising, A. u. H. Göhlich:* AS-Reifendynamik — Teil 1: Fahrbahn- und Prüfstandsergebnisse. Grndl. Landtechnik Bd. 38 (1988) Nr. 3, S. 78/87.
- [ 5 ] *Hahn, W.D.:* Die Federungs- und Dämpfungseigenschaften von Luftreifen bei vertikaler Wechsellast. Diss. TH Hannover 1972.

## Kenngröße zum Bewerten von Bodenbearbeitungswerkzeugen und -geräten bei experimentellen Vergleichen

Von Otto Bosse und Wolf-Dieter Kalk, Müncheberg\*)

DK 631.31:631.43

Für den Vergleich experimentell untersuchter Bodenbearbeitungswerkzeuge und -geräte und die Auswahl am besten geeigneter Varianten wird eine Bewertungskenngröße gefordert, die sowohl den Energieaufwand als auch die aufgenommenen Werte aller für die Bewertung des Bodenzustandes wichtigen Kriterien beinhaltet.

Es wird hier als Bewertungskenngröße die Vergleichsenergie vorgeschlagen, die als Quotient aus Energieaufwand und Bearbeitungsergebnis definiert ist. Das Bearbeitungsergebnis wird mit entsprechender Wichtung errechnet aus dimensionslosen Bewertungszahlen, die für jedes Bewertungskriterium — z.B. Bodenzustand, Zerkleinerung und Verdichtung — aus den vor und nach der Bearbeitung aufgenommenen Werten und den für den angestrebten Endzustand geforderten Zielwerten bestimmt werden.

\*) *Dr. agr. O. Bosse und Dr. sc. techn. W.-D. Kalk sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg (Direktor: Prof. Dr. sc. P. Kundler) der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR.*

### 1. Einleitung

Ein wichtiger Gegenstand der landtechnischen Bodenbearbeitungsforschung ist die möglichst objektive Auswahl von Werkzeugen und Geräten zur zielgerichteten und strukturschonenden Veränderung des Bodenzustandes. Jedes Bodenbearbeitungswerkzeug wird durch Zufuhr von Energie entsprechend den Betriebsparametern gegenüber dem Boden bewegt, wodurch Kräfte und Momente zwischen Werkzeug und Boden entstehen, die infolge mechanischer Spannungen im Boden (Beanspruchungszustand) dessen Deformation und Zerkleinerung (Bruchzustand) sowie das Verschieben des Bodens verursachen und die angestrebte Bodenzustandsveränderung bewirken, **Bild 1**. Der veränderte Bodenzustand ist der Nutzen der Bodenbearbeitung, die dafür aufgewendete Energie der Aufwand [3 bis 6].

Für die Bewertung von Werkzeugen und Geräten beim Bearbeiten des Bodens wird in der Regel der Zerkleinerungserfolg, d.h. das Verhältnis aus Zerkleinerungsergebnis und Energieaufwand genutzt [3]. Diese Bewertungskenngröße ist jedoch nicht umfassend genug. Neben dem Zerkleinern auftretende Bearbeitungswirkungen, z.B. Wenden, Lockern, Mischen, bleiben unberücksichtigt. Beim Vergleich von Werkzeugen, bei deren Einsatz unterschiedliche Energieverluste zwischen Schleppermotor und Werkzeug auftreten, z.B. bei gezogenen bzw. getriebenen Werkzeugen [7], führt das alleinige Verwenden der am Werkzeug verbrauchten Energie als Energieaufwand zu Fehlaussagen. Ändern sich Zerkleinerungsergebnis und Energieaufwand verhältnismäßig, ist ein Unterscheiden der Varianten nicht möglich.