

Landtechnische Forschung

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

Heft 4/1961

MÜNCHEN

11. JAHRGANG

Franz Große-Scharmann:

Die Triebkraftsteigerung bei Geländefahrzeugen durch das Schub-Schritt-Verfahren

Institut für Landmaschinen, TH München

Das Fahren außerhalb befestigter Fahrbahnen wird im wesentlichen beschränkt durch die Tragfähigkeit und die Schubfestigkeit des Bodens. Es ist bekannt, daß man die Tragfähigkeit des Bodens durch Vergrößern der Auflagefläche des Fahrwerks beziehungsweise Senkung des spezifischen Flächendruckes steigern kann. Beim Raupenlaufwerk kann die Auflagefläche, meist sehr leicht, beliebig groß gestaltet werden. Beim Luftreifen ist jedoch die Vergrößerung der Auflagefläche begrenzt: Vergrößerung des Raddurchmessers führt zu großen Raddrehmomenten; Verbreiterung des Reifens ist aus konstruktiven Gründen beschränkt; Reifendruck und Reifensteifigkeit, die bekanntlich für die unter dem Reifen herrschenden Flächendrücke maßgebend sind, können aus Verschleiß- und Festigkeitsgründen bei der Reifendecke nicht beliebig gesenkt werden.

Um die im Boden vorhandene Schubfestigkeit möglichst weitgehend auszunutzen, ist ebenfalls die Vergrößerung der Scherfläche, die in erster Näherung gleich der Auflagefläche gesetzt werden kann, günstig, so daß dadurch die in der Scherfläche auftretenden Schubspannungen kleiner werden. Untersuchungen [1 ÷ 5] haben ergeben, daß eine möglichst langgestreckte Auflagefläche anzustreben ist, wodurch besonders der bei jeder Triebkraftabstützung auftretende Schlupf herabgesetzt wird. Auch hier ist wiederum das Raupenlaufwerk wegen der Möglichkeit der beliebigen Gestaltung der Auflagefläche gegenüber dem Luftreifen vorteilhaft.

Die Nachteile eines Raupenlaufwerkes aber, nämlich die nur geringe Fahrgeschwindigkeit auf fester Straße wegen der großen ungefederten Massen und der starke Verschleiß infolge unzulänglichen Schutzes und schlechter Schmierung der dauernd im Schmutz befindlichen bewegten Teile, sind hinreichend bekannt. Den Luftreifen wegen seiner Vorzüge — Einfachheit, Elastizität, Dämpfung und Verschleißfestigkeit — für den Einsatz außerhalb befestigter Fahrbahnen einsatzfähiger zu machen, ist schon lange Ziel der Forschung. Dabei galt das Hauptaugenmerk meist der Triebkraftsteigerung bei gleichzeitiger Schlupfminderung, da der Schlupf neben dem Nachteil der Wirkungsgradminderung auch noch auf landwirtschaftlich genutztem Boden wegen Verschmieren der Krümeloberfläche die Erträge mindert.

Oft kommt es jedoch darauf an, daß das Fahrzeug überhaupt in der Lage ist, sich in dem betreffenden Gelände fortzubewegen. Dabei kann man meist folgende zwei Fälle unterscheiden:

1. Der Boden ist bis in größere Tiefe hinein sehr weich und locker, so daß das Fahrzeug tief einsinkt, beziehungsweise sich die Antriebsräder mittels der Stollen eingraben, so daß das Fahrzeug infolge des großen Roll- beziehungsweise Steigungswiderstandes steckenbleibt.
2. Auf einem relativ festen Untergrund lagert eine mehr oder weniger dicke schlammige Oberschicht. Das Fahrzeug sinkt nicht tief ein, jedoch weist die schmierende Schlammschicht nicht die notwendige Schubfestigkeit auf, so daß es zum Durchrutschen der Antriebsräder kommt, wobei das Reifenprofil schnell verstopft und damit unwirksam wird.

Die Idee des Schub-Schritt-Verfahrens

Die Überlegungen¹⁾ des vorliegenden Beitrages²⁾ gehen davon aus, daß die an einem stillstehenden Rad abstützbare Triebkraft größer sein müsse als die an einem gleichzeitig vorwärtsrollenden Triebtrieb. Unter dem Ausdruck Schub-Schritt-Verfahren versteht man die praktische Anwendung dieser Idee an einem Fahrzeug, und zwar in der Art, daß dessen Räder abwechselnd stillstehen und dabei Schubkräfte auf den Fahrzeugrumpf übertragen und dann wieder um ein bestimmtes Stück (Schritt) gegenüber dem Fahrzeugrumpf vorrollen. Die jeweils stillstehenden, Triebkraft abstützenden Räder und die jeweils rollenden Räder sind so aufeinander abgestimmt, daß eine möglichst kontinuierliche Schubkraft und gleichmäßige Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges entsteht. Werden die jeweils vorrollenden Räder teilweise oder ganz von senkrechter Last befreit, so kann man dadurch den Rollwiderstand beträchtlich senken und bei vollkommener Entlastung sogar zum Verschwinden bringen. Die Entlastung der jeweils vorrollenden Räder hat weiterhin eine zusätzliche Belastung der in dem Moment stillstehenden, Triebkraft abstützenden Räder zur Folge, wodurch diese wiederum größere Triebkräfte abstützen können. Aus Stabilitätsgründen ist eine vollkommene Entlastung jedoch erst bei einem sechsrädrigen Fahrzeug praktisch zu verwirklichen. Wird keine oder nur eine teilweise Entlastung der vorrollenden Räder vorgenommen, so können diese beim Vorrollen dann zur Triebkraftabstützung mit herangezogen werden, wenn man sie rotierend antreibt.

Das Schub-Schritt-Verfahren kann als Zusatzeinrichtung an einem luftbereiften Geländefahrzeug dienen, die nur dann ein-

¹⁾ Den Anstoß zu der Idee des Schub-Schritt-Verfahrens gab K. SCHRÖTER.
²⁾ Dieser Beitrag ist ein Auszug aus der am Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule München (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H. v. SYBEL) durchgeführten Dissertation.

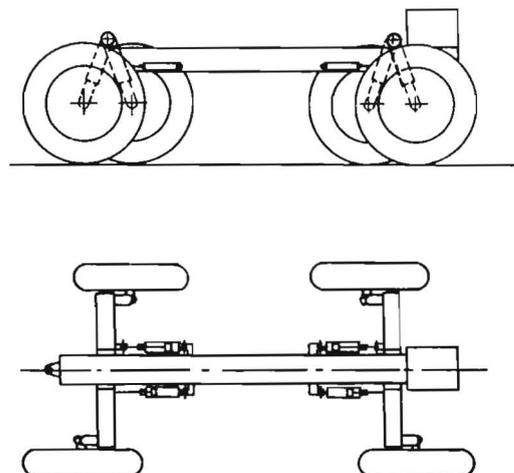


Bild 1: Allradangetriebenes Zweifachfahrzeug mit Schub-Schritt-Einrichtung

Bodenmechanik, die durch Versuche in der Bodenrinne nachgeprüft und zahlenmäßig nachgewiesen wurden.

Wie kann man nun schon auf theoretischem Wege Klarheit in den Vorgang der Triebkraftabstützung erstens bei einem blockierten Rad und zweitens bei einem rotierenden Triebrad gewinnen?

Aus der theoretischen Bodenmechanik möge zum Verständnis nur die Tatsache wieder in Erinnerung gerufen werden, daß beim Abscheren eines bindigen Bodens die Schubspannung τ in Abhängigkeit vom Scherweg ΔX sich etwa nach der in Bild 4 dargestellten Weise ergibt [6 ÷ 8]. Mit zunehmendem Scherweg ΔX steigt auch die Schubspannung τ , bis die Bruchschubspannung τ_s erreicht ist. Dabei wird die Kohäsion c des Bodens überwunden und die Schubspannung sinkt auf den konstanten Wert der Reibungsspannung zwischen den Bodenpartikeln $\sigma \cdot \operatorname{tg} \varrho$ (σ = Normalspannung; ϱ = Winkel der inneren Reibung) ab.

Triebkraftabstützung bei einem blockierten Rad

Setzt man nun ein durch ein Gesperre blockiertes Rad auf den Boden auf und belastet es mit einer senkrechten Last G , so ergibt sich in der Auflagefläche eine Druckspannungsverteilung σ , die je nach Raddurchmesser und -breite, Reifenluftdruck und Reifenteifigkeit, Bodenzustand und so weiter verschiedenartig ausfällt, die aber zunächst als gleichförmig angenommen werden möge.

Zieht man nun mit einer horizontalen Kraft T an dem blockierten Rad, so verschiebt es sich in Richtung der ziehenden Kraft, wobei analog dem oben erläuterten Abscherdiagramm mit zunehmender Verschiebung die in der Scherfläche (= Auflagefläche) auftretenden Schubspannungen τ , die integriert über die Scherfläche die horizontale Kraft T ergeben, ansteigen, bis die Bruchschubspannung τ_s erreicht ist, die Kohäsion c überwunden wird und die Schubspannung in der Scherfläche wieder auf den Reibungsanteil $\sigma \cdot \operatorname{tg} \varrho$ absinkt. Bei weiterer Verschiebung sinkt das Rad tiefer in den Boden ein, wodurch sich vor dem Rad ein Erdhügel bildet, gegen den sich das Rad zusätzlich abstützt.

Zum besseren Verständnis soll dieser ganze Vorgang in zwei Abschnitte unterteilt werden. Im ersten Abschnitt der Verschiebung möge der Scherweg nur so groß sein, daß noch an keiner Stelle der Boden abgesichert worden ist. Auch möge der durch die geringe Verschiebung vor dem Rad entstandene Erdhügel außer acht bleiben. Es werden hier unter dem Rad Verformungs- und Spannungsverhältnisse auftreten, wie sie in Bild 5 für die vereinfachende Annahme gleich großer Druckspannungsverteilung σ in der Auflagefläche dargestellt sind: Unter dem Reifen verformt sich der Boden in horizontaler Richtung so, daß ursprünglich senkrechte Linien sich schräg stellen. Bild 6 zeigt einen Schnitt durch den Boden unter der Radmitte nach der Verformung, woraus sich erkennen läßt, wie ursprünglich senkrecht in den Boden eingebrachte Kreidestränge nach der Verformung alle schräg stehen, und zwar ist die Schrägstellung beziehungsweise der Verformungsweg ΔX an allen Stellen unterhalb des Rades gleich groß. Aus dieser Tatsache folgt, daß bei Annahme gleich großer Normalspannungen σ in der Auflagefläche in Verbindung mit dem Abscherdiagramm an allen Stellen der Auflagefläche auch gleich große Schubspannungen τ vorliegen müssen. Ist die Verschiebung ΔX des Rades gerade so groß geworden, daß die maximale Schubspannung τ_s erreicht wird, so hat die dabei erreichte Triebkraft den Wert

$$T = \int_{(F)} \tau_s \cdot dF = \tau_s \cdot F. \quad (1)$$

Triebkraftabstützung bei einem rotierend angetriebenen Rad

Der Vorgang der Triebkraftabstützung beim rotierend angetriebenen Rad ist schon in der Literatur [1; 2; 3; 5] dargelegt worden. Er sei noch einmal für die vereinfachende Annahme gleich großer Normalspannungen σ in der Auflagefläche dargestellt (Bild 7). Bewegt sich ein Rad drehend und gleichzeitig ziehend vorwärts, so kommt bei A der Reifen in Berührung mit dem Boden und hebt sich bei B wieder vom Boden ab. Bei A ist noch keine horizontale Bodenverformung vorhanden ($\Delta X = 0$). Der Punkt (zum Beispiel Stollen) des Rades, der bei A mit dem Boden in Berührung kommt, bleibt mit dem betreffenden Bodenteilchen verbunden, bis sich das Rad um das Stück E (Eingriffslänge) vorwärtsbewegt hat und der Punkt (Stollen) sich wieder vom Boden abhebt; dabei hat er

Liebe Leser,

in den letzten Wochen sind durch eine Reihe von Fachzeitschriften und auch Tageszeitungen die Meldungen von einer Erhöhung der Abonnementspreise gegangen. Mehr oder weniger lange Ausführungen über Sinn und Zweck einer Zeitschrift, einer Zeitung, über die geleistete Arbeit, über die Verbesserung von Papier, Umfang und Inhalt sowie über vieles andere wurde den meisten Notizen über die Preiserhöhung vorausgeschickt.

Wir erhöhen nach reiflicher Überlegung unsere Preise je Heft auch, liebe Leser, wir müssen es tun. Das wollen wir Ihnen ohne lange Umschweife schreiben. Ihnen eine ausführliche Begründung dieser Preisänderung zu geben, ersparen wir uns, da wir annehmen, daß Sie uns vertrauen und Verständnis für unsere Maßnahme haben.

Daß wir uns auch in Zukunft bemühen werden, alles für die „Landtechnische Forschung“ und damit für Sie, liebe Leser, zu tun, ist für uns selbstverständlich.

Ihr Hellmut-Neureuter-Verlag

To Our Readers:

A number of technical journals and daily newspapers have, during the course of the last few weeks, advised their readers that they are compelled to increase their subscription rates. Most of the notices concerning increases in rates were prefaced by remarks, either lengthy or short, concerning the aims and purposes of a newspaper or technical journal, the services they had already rendered, the improvement in the quality of the paper, the size and the scope of the publication, etc.

After much deliberation, we find that we also are unfortunately compelled to increase our rates. We won't make any lengthy preambles or go into explanation why we are compelled to do this, since we feel sure that you have confidence in us and therefore understand our position.

We feel that it is superfluous on our part to repeat that we shall continue to do everything in our power to increase the utility and values of the "Landtechnische Forschung" to our readers.

Yours faithfully,
Hellmut-Neureuter-Verlag

A nos Lecteurs,

Au cours des dernières semaines, un certain nombre de revues techniques et de journaux ont signalé qu'ils doivent augmenter leurs prix d'abonnement. Cet avertissement a été généralement accompagné de déclarations plus ou moins longues sur le sens et le but d'une revue, respectivement d'un journal, sur le travail accompli, sur l'amélioration future du papier et du contenu et sur d'autres détails.

Après avoir longuement réfléchi, nous augmentons également le prix de notre revue, car nous sommes forcés à le faire. Nous renonçons à vous donner une longue explication sur la nécessité de ce changement de prix, car nous supposons que vous avez confiance en nous et que vous comprenez cette mesure.

Il va de soi que nous consacrons également dans l'avenir tous nos efforts à la «Landtechnische Forschung» afin que nos lecteurs en puissent tirer tout le profit voulu.

Hellmut-Neureuter-Verlag

Distinguido lector:

En el transcurso de las semanas proximopasadas buen número de revistas y también de diarios, han anunciado aumentos de precio del abono. En la mayoría de estos casos se han hecho observaciones más o menos extensas sobre tendencia y propósito de la revista o del diario, sobre el trabajo realizado, mejora de calidad del papel, aumento de páginas, del contenido y sobre muchas cosas más.

Después de detenido examen nosotros también aumentaremos el precio del cuaderno, porque no tenemos más remedio. Esto, distinguido lector, es lo que sentimos tener que comunicarle, y lo hacemos sin rodeos. Nos abstendremos de detallar los motivos de este aumento, porque creemos que Vd. tendrá confianza en nosotros y que Vd. se dará cuenta de la necesidad de esta medida.

Huelga insistir en que nosotros haremos cuanto esté en nuestras manos en bien de la «Landtechnische Forschung» y por esto también en bien de Vd.

Atentamente le saludan a Vd. sus ss. ss.

Hellmut-Neureuter-Verlag

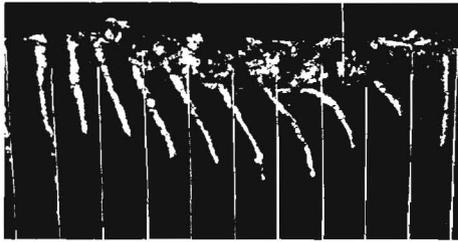


Bild 6: Verformung des Bodens unter einem blockierten, Triebkraft abstützenden Rad im ersten Abschnitt der Verschiebung

gegenüber dem festen Raum eine horizontale Verschiebung ΔX_{max} zurückgelegt. Aufgrund geometrischer Überlegungen ergibt sich, daß in der Auflagefläche bei konstantem Schlupf horizontale Bodenverformungen ΔX vorliegen, die vom ersten Berührungspunkt bis zum Abhebe- punkt linear zunehmen.

Entsprechend diesen horizontalen Bodenverformungen und in Verbindung mit dem Abscherdiagramm des betreffenden Bodens ergibt sich eine Schubspannungsverteilung τ unter dem Reifen, wie sie in Bild 7 ungefähr dargestellt ist. Für verschiedene Schlupfwerte ergeben sich verschiedene Schubspannungsverteilungen. Die Schubspannungen τ werden entsprechend den Bodenverformungen ΔX unter dem Reifen von A nach B zunächst steil ansteigen (Bereich elastischer und plastischer Verformung), bis an einer bestimmten Stelle der Auflagefläche bei einem bestimmten Verformungsweg ΔX die größte Schubspannung τ_s vorliegt, die Kohäsion überwunden wird und Abscherung erfolgt (Abscherbereich). Die Schubspannungen werden dann auf den konstanten Wert $\sigma \cdot \operatorname{tg} \varrho$ des Gleitens der Bodenteilchen aufeinander (Bereich reinen Gleitens) absinken. Die Summe aller in der Auflagefläche auftretenden Schubspannungen ergibt wiederum die Triebkraft:

$$T = \int_{(F)} \tau \cdot dF. \quad (2)$$

Der Wert dieses Integrals fällt für verschiedene Schlupfwerte verschieden groß aus, wie sich aus der Schubspannungsverteilung in Bild 7 leicht einschen läßt; niemals aber kann es den Wert

$$T = \int_{(F)} \tau_s \cdot dF,$$

der sich als Maximalwert beim blockierten Rad ergeben hatte, erreichen. Daraus geht klar hervor, daß man am blockierten Rad

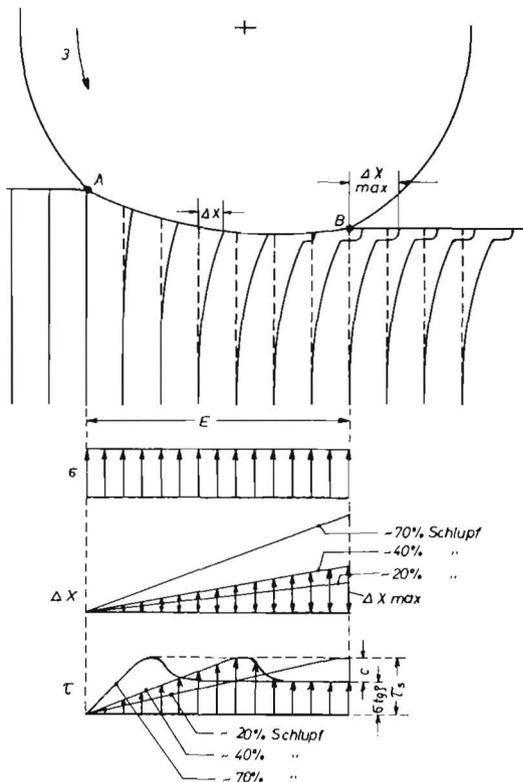


Bild 7: Horizontale Bodenverformung, Druck- und Schubspannungen unter einem rotierend angetriebenen Rad

eine größere Triebkraft abstützen kann als an einem gleichzeitig rotierenden Triebbad.

Der zweite Abschnitt der Verschiebung beim blockierten Rad

Im zweiten Abschnitt der Verschiebung eines blockierten Rades (Verschiebung so groß, daß an allen Stellen der Auflagefläche der Boden bereits abgeschert) sinkt das Rad weiter in den Boden ein und schiebt Erdmassen vor sich her, verdichtet diese dabei und bildet vor sich einen Erdhügel (Bild 8). Der Erdhügel entsteht durch Heben des Bodens von unten her. Zur Klärung des hierbei erfolgenden Abstützvorgangs ist es wiederum nützlich, die Er-

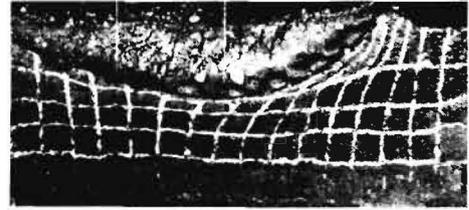


Bild 8: Verformung des Bodens unter einem blockierten Rad nach einem großen Verschiebungsweg

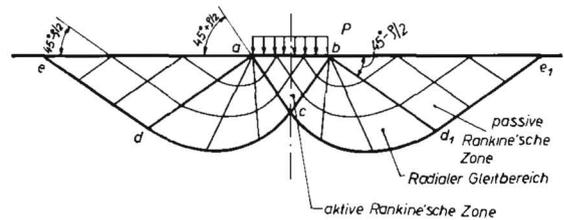


Bild 9: Gleitlinienfeld unter einer Streifenlast

kenntnisse der theoretischen Bodenmechanik zu Hilfe zu nehmen. Es möge hier nur das durch das Spannungsfeld erzeugte Gleitlinienfeld unter einer Streifenlast [8] in Erinnerung gerufen werden (Bild 9). Wenn auch beim Rad in der Form der Abstützfläche die Bedingungen für eine Streifenlast (Länge viel größer als Breite) nicht erfüllt sind, so können diese Betrachtungen doch zur Vermittlung einer Vorstellung über den Vorgang der Triebkraftabstützung nützlich sein. Beim Rad (Bild 10) bildet sich vor der Abstützfläche eine aktive RANKINESCHE ZONE, die praktisch als Keil verdichteten Bodens bei der Verschiebung mit dem Rad fest verbunden bleibt. Die Spannungsfelder in den passiven RANKINESCHEN ZONEN unter und vor dem Rad bewirken eine Verdichtung des Bodens. Damit ist im allgemeinen wegen des senkrechten Druckes des dem Rad vorgelagerten Bodens und wegen der Kohäsion und inneren Reibung des Bodens eine Erhöhung der Kohäsion verbunden. Sie erhöht sich um so mehr, je weiter die Stelle von der Erdoberfläche entfernt ist, bis schließlich innerhalb

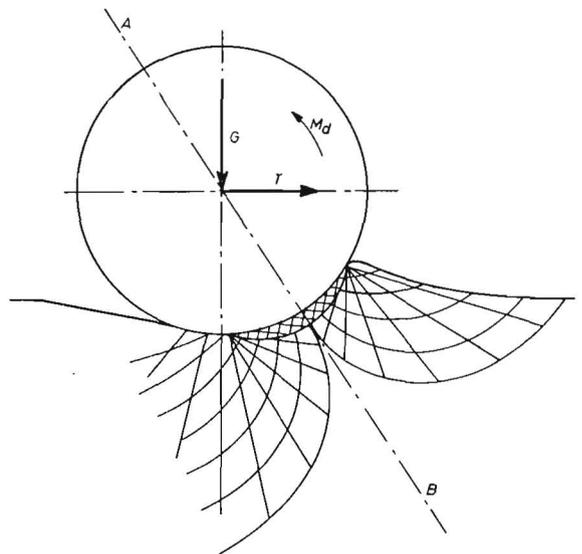


Bild 10: Die durch das blockierte Rad bei der Verschiebung erzeugten Gleitlinienfelder parallel zur Radebene

der Gleitflächen der Boden abgesichert wird, wodurch ein Anheben des Bodens vor dem Rad von unten her zustande kommt. Die so entstehende Abstützkraft am Rad ist demzufolge um so größer, je größer das dem Rad vorgelagerte, beanspruchte und verformte Bodenvolumen ist und je tiefer sich dieses in den Boden hinein erstreckt, das heißt, je tiefer das Rad eingesunken ist und je größer die im Boden vorhandene Kohäsion und innere Reibung ist.

Wegen der beim blockierten, Triebkraft abstützenden Rad erfolgenden Verschiebung nach rückwärts hat man es beim Schub-Schritt-Verfahren auch mit einer Art Schlupf zu tun. Die theoretische Schrittlänge l (Bild 11) wird bei jedem Schritt um die Verschiebungsstrecke X des Rades bei der Triebkraftabstützung verkürzt. Ähnlich dem Schlupf beim rotierend angetriebenen Rad kann man auch hier einen Schlupf definieren durch die Gleichung:

$$s' = \frac{X}{l} \quad (3)$$

Das Wesen dieses Schlupfes ist vergleichbar mit dem Zurückrutschen des Fußes beim Schreiten. Es unterscheidet sich vom Schlupfvorgang beim rollenden Triebad, da es sich um einen diskontinuierlichen Vorgang handelt. Der Schlupf s' nimmt mit wachsender Schrittlänge l ab, wenn man für die Verschiebung X zunächst einen konstanten Wert annimmt. Da ein großer Schlupf s' mit einem großem Leistungsaufwand verbunden ist, soll ein möglichst langer Schritt l angestrebt werden. Die Grenze der praktisch durchführbaren Schrittlänge l ist konstruktiv bedingt. Wird die Verschiebung X gleich der Schrittlänge l , so ergibt sich 100% Schlupf, was bedeutet, daß das Fahrzeug sich nicht mehr vorwärtsbewegt.

Experimentelle Untersuchungen

Zur Nachprüfung der theoretischen Betrachtungen und zur zahlenmäßigen Ermittlung der Triebkraftsteigerung beim Schub-Schritt-Verfahren gegenüber dem rotierenden Triebad wurden in der Bodenrinne Vergleichszugkraftversuche mit einem rotierend angetriebenen Rad und mit einem blockierten Rad durchgeführt. Der Boden in der Prüfrinne ist nach LÜHRS [5] als mittelschwerer Lehmboden anzusprechen. Für die Versuche wurde die von LÜHRS [5] gebaute Apparatur benutzt, bei der unter Verwendung eines Einzelrades Radlastkonstanz unabhängig von der Größe der auftretenden Triebkraft gegeben ist. Es wurden Reifenabmessungen, Reifenluftdruck und Reifenprofil, Radlast, Schrittlänge, Verschiebungsgeschwindigkeit, Radentlastung beim Vorwärtsrollen, Bodenfeuchtigkeit und der Porenanteil des Bodens variiert. Die über Dehnungsmeßstreifen gemessenen Zugkräfte, Rollwiderstände und Radeinsenkungen wurden als Funktion des Weges direkt im Oszillographen registriert. Außerdem konnte durch Konstanthalten der Raddrehzahl beim rotierend angetriebenen Rad durch Aufprägen einer Zeitmarke auf die Oszillogramme der Schlupf erfaßt werden.

Zur Darstellung von Zugkraftmeßergebnissen ist es üblich, die Triebkraft T mittels Division durch die Radlast G dimensionslos zu machen. Die so erhaltene „dimensionslose Triebkraft“ oder der „Triebkraftbeiwert“ oder „Kraftschlußbeiwert“ $\kappa = T/G$ gibt dabei jedoch keinerlei physikalische Gesetzmäßigkeiten wieder³⁾. Trotzdem soll aber auch hier für die Darstellung der Versuchsergebnisse der Triebkraftbeiwert beibehalten werden, weil dadurch ein leichter Vergleich mit den Versuchsergebnissen des rotierend angetriebenen Rades möglich ist. Die Angabe der Radlast, für die die betreffende Darstellung dann jedesmal gilt, darf dabei nicht übersehen werden.

³⁾ Ursprünglich in Analogie zum COULOMBSchen Reibungsgesetz für ein angetriebenes Rad auf fester Fahrbahn (Straßen- oder Schienenfahrzeug) angewendet, wurde diese Darstellung dann auch für ein angetriebenes Rad auf nachgiebigem Boden übernommen. Während für das Straßenfahrzeug das COULOMBSche Reibungsgesetz noch weitgehend erfüllt ist, weil dort praktisch nur Reibungskräfte wirken, so ist das beim Geländefahrzeug nicht mehr in dieser einfachen Weise gegeben, da der Reifen mittels seiner Stollen eine Verzahnung mit dem Boden bildet und beim Abscheren des Bodens neben den Reibungskräften Boden auf Boden auch noch die im Boden vorhandenen Kohäsionskräfte auftreten. Da beim Schub-Schritt-Verfahren in noch weitgehendem Maße als beim rotierend angetriebenen Rad die Kohäsion des Bodens ausgenutzt wird, ist hier die Definition des Triebkraftbeiwertes noch fragwürdiger.

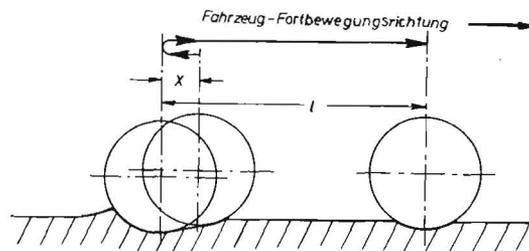


Bild 11: Schrittlänge l und Verschiebungsstrecke X beim Schub-Schritt-Verfahren

Die Änderung der Triebkraft

Der Vorgang der Triebkraftabstützung soll anhand von Bild 12 betrachtet werden: Dort sind die Oszillogramme einer Versuchsreihe mit dem Reifen 8—24 AS bei 0,8 atü Reifenluftdruck und 430 kp Radlast bei 22% Wassergehalt und 60% Porenanteil wiedergegeben. Diese Versuchsreihe soll als Beispiel für andere, in der gleichen Weise durchgeführte Versuchsreihen gelten. Die Versuche wurden in der in Bild 12 angegebenen Reihenfolge nach Einsetzen des Rades in den unbefahrenen, lockeren Boden mit großer Schrittlänge und kleiner Schrittlänge durchgeführt. Im ersten Abschnitt der Verschiebung (bis etwa 10 cm) steigt der Triebkraftbeiwert steil an. Alle Kurven liegen unabhängig von der Schrittlänge dicht zusammen. Das erklärt sich daraus, daß die Triebkraft in der Hauptsache auf den in der Auflagefläche auftretenden Schubspannungen beruht, während die Abstützung an den vorgelagerten Erdmassen noch kaum gewirkt haben kann. Nach etwa 10 cm Verschiebungsweg setzt der Abschervorgang ein, was besonders deutlich an den Kurven 1 bis 3 zu erkennen ist. Danach sinkt nach Überwindung der Kohäsion die Schubspannung in der Auflagefläche auf den Reibungsanteil $\sigma \cdot \tan \phi$ ab, während aber gleichzeitig die Abstützwirkung an den vorgelagerten Erdmassen zunimmt. Bei den Kurven 1 bis 3 ist die weitere Zunahme der Triebkraft nicht sehr groß. Dagegen erfolgt bei den Kurven 4 bis 6, die für kleine Schrittlängen gelten, eine starke Triebkraftsteigerung. Sie beruht darauf, daß das Rad sich noch an den vorhergehenden Abstützvorgang verdichteten Untergrund abstützt. Die dermaßen abstützbare Triebkraft ist um so größer, je öfter kurze Schritte nacheinander ausgeführt werden, da dadurch das Volumen der vorgelagerten, verdichteten Erdmassen um so größer ist. Von allen Varianten hat die Bodenfeuchtigkeit und die Bodendichte den größten Einfluß auf die Größe der erreichbaren Triebkraft, weil dadurch die Kohäsion weitgehend beeinflusst wird. In den Bildern 13 und 14 sind die aus vielen Versuchsreihen ermittelten Triebkraftbeiwerte über dem Wassergehalt des Bodens aufgetragen. Die Triebkraftbeiwerte steigen mit zunehmendem Wassergehalt an und fallen schließlich bei sehr hohen Wassergehalten wieder leicht ab. Die Meßwerte der verschiedenen Reifen liegen dafür innerhalb der auftretenden Streuung, so daß man von einer deutlichen Überlegenheit einer bestimmten Reifenabmessung nicht sprechen kann. Es ist jedoch zu erkennen, daß der Reifen kleineren Volumens, der infolge seiner kleineren Auflagefläche tiefer einsinkt, im zweiten Abschnitt, wo es

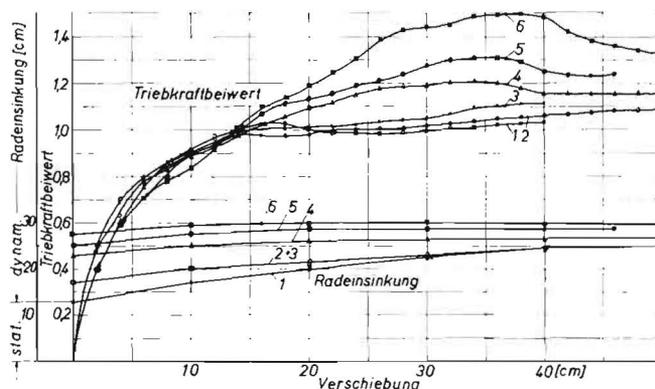


Bild 12: Triebkraftbeiwert beim Schub-Schritt-Verfahren

Darstellung einer Versuchsreihe (aus den Oszillogrammen übertragene Meßwerte). Reifen: 8—24 AS; Reifenluftdruck: 0,8 atü; Radlast: 430 kp; Boden: 22% W.G., 60% Porenanteil; \times = ohne vorhergehenden Schritt; \circ = 140 cm Schrittlänge; \square = 110 cm; \triangle = 45 cm; \ominus = 40 cm; \boxtimes = 35 cm

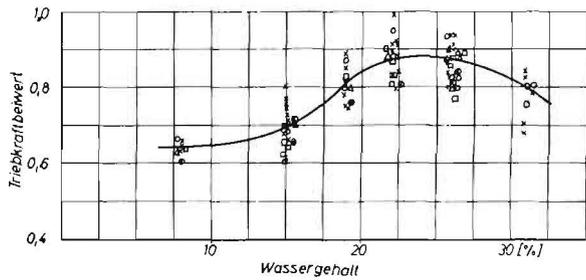


Bild 13: Triebkraftbeiwerte in Abhängigkeit vom Wassergehalt des lockeren Bodens (60% Porenanteil) nach 10 cm Verschiebungsweg für große und kleine Schrittweiten und nach Einsetzen des Rades in unbefahrenen Boden

Radlast: 430 kp; Reifenluftdruck: 0,8 atü; Reifen: × = 8-24 AS; ○ = 8-36 AS; □ = 9,00-20 (profillos); △ = 12-18; ⊙ = 7-12 AM

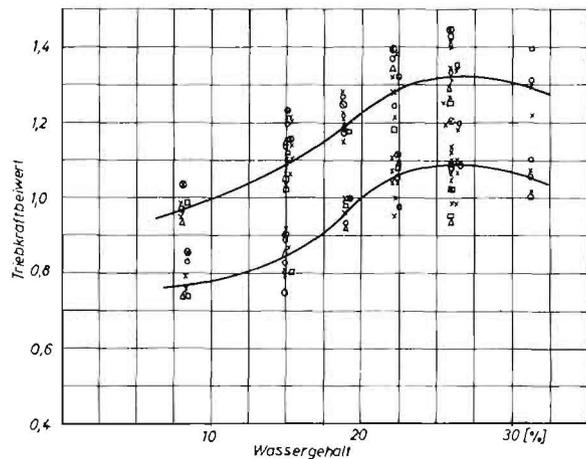


Bild 14: Triebkraftbeiwerte in Abhängigkeit vom Wassergehalt des lockeren Bodens (60% Porenanteil) beim blockierten Rad

Oberer Kurve: maximale Triebkraftbeiwerte nach kleiner Schrittweite (~ 40 cm; 1. Schritt)

Untere Kurve: Triebkraftbeiwerte nach 40 cm Verschiebungsweg, nach großer Schrittweite (~ 120 cm) und nach Einsetzen des Rades in unbefahrenen Boden, Radlast: 430 kp; Reifenluftdruck: 0,8 atü; Reifen: × = 8-24 AS; ○ = 8-36 AS; □ = 9,00-20 (profillos); △ = 12-18; ⊙ = 7-12 AM

auf die Einsinktiefen ankommt, größere Triebkräfte abstützen kann.

Ein Einfluß des Reifenluftdruckes konnte selbst bei großer Variation von 0,2 bis 2,0 atü auf dem sehr weichen, lockeren Boden nicht festgestellt werden. Diese Tatsache läßt sich auch leicht erklären: der Reifen sinkt auf nachgiebigem Boden sehr weit ein und plattet sich überhaupt nicht oder nur auf einer verhältnismäßig kleinen Fläche ab. Dort herrscht der maximale Flächendruck, der sich aus Reifenluftdruck und Reifensteifigkeit zusammensetzt, während in dem weitaus größeren Teil der Auflagefläche ein niedrigerer Flächendruck auftritt, auf den infolge der relativ großen Reifensteifigkeit der Reifenluftdruck praktisch gar keinen Einfluß mehr hat. Somit trägt die Anwendung großvolumiger Reifen vielmehr zur Vergrößerung der Auflagefläche bei als die Senkung des Reifenluftdruckes. Erst dann, wenn auch die Reifensteifigkeit im Vergleich zum Reifenluftdruck weitgehend gesenkt werden könnte, würde der Einfluß des Reifenluftdruckes auf die Größe der Auflagefläche auch auf nachgiebigen Böden an Bedeutung gewinnen.

Das Profil des Reifens hat die Aufgabe, eine Verzahnung mit dem Boden herzustellen. Ist nun der Boden in allen Schichten homogen, so ist es gleichgültig, in welcher Schicht der Boden abgeschert wird. In diesem Falle vergrößert das Profil lediglich den Durchmesser des Reifens. Da es sich in der Bodenrinne um einen in allen Schichten homogenen Boden handelte, reichte selbst die geringe Rauigkeit eines profillosen Reifens aus, um eine Verzahnung mit dem Boden herzustellen. In der Praxis jedoch ist die Homogenität des Bodens in den meisten Fällen nicht gegeben. Die Oberschicht des Bodens kann feuchter oder lockerer sein, es kann zum Beispiel durch einen Regenschauer eine dünne Schmierschicht entstanden sein, oder der Boden kann mit Pflanzen bewachsen sein, die beim Befahren zerdrückt werden und ebenfalls eine schmierende Oberfläche ergeben. In diesen Fällen ist natürlich ein grobes Stollenprofil notwendig, wobei es hier lediglich die Aufgabe hat, die weni-

ger feste Oberschicht zu durchstoßen, um festere Bodenschichten zu erreichen. Es ist einleuchtend, daß das höhere Profil eher die Aussicht hat, tieferliegende, festere Bodenschichten zu erreichen als das niedrigere, vielleicht abgefahrene Profil. Ferner werden schmale, in großen Abständen angeordnete Stollen wegen des an ihren Aufstützflächen entstehenden größeren Flächendrucks leichter eindringen und daher günstiger sein. Große Abstände von Stollen in offener Bauweise tragen zur Selbstreinigung des Profils bei und ermöglichen zum Beispiel bei einer auf festem Boden lagenden dickeren Schlammschicht leichter das Ausquetschen des Schlammes zur Seite.

Will man die Schrittweite verkleinern, um eine möglichst hohe Triebkraft auf Grund der Erkenntnisse aus Bild 12 zu erreichen, so muß man mit der Vergrößerung des Schlupfes rechnen, also auch mit einem Mehraufwand an Leistung. Der gewünschte Abstützeffekt kann beim Fahrzeug mit Schub-Schritt-Verfahren aber auch dadurch erreicht werden, daß man die Abstände und die Schrittweiten der zwei oder drei auf jeder Fahrzeugsseite angeordneten Räder aufeinander abstimmt. Dann können die nachfolgenden Räder jeweils die von den vorderen Rädern gefestigte Schritt-Spur wieder benutzen, wodurch der oben beschriebene Verfestigungseffekt eintritt. Mit Rücksicht auf möglichst kleinen Schlupf und auch wegen der beim diskontinuierlichen Vorgang auftretenden Massenbeschleunigungen wird man eine möglichst große Schrittweite anstreben, ohne auf größtmögliche Triebkraft verzichten zu müssen.

Der Einfluß der Vorverdichtung auf die erreichten Triebkraftwerte läßt sich erklären, wenn man die Kohäsion des Bodens näher betrachtet. Besitzt der Boden schon eine große Kohäsion, das heißt, ist er vorverdichtet, so fällt der Kohäsionsanteil bei der Triebkraftabstützung, das ist der Teil, der lediglich von der Größe der Auflagefläche und der Verzahnung des Reifens mit dem Boden abhängt, anteilmäßig stärker ins Gewicht. Hier wird also die gleiche Radlast größere Triebkraftbeiwerte $\alpha = T/G$ erbringen als bei Böden, die auf Grund der senkrechten Belastung durch das Rad erst zusätzliche Kohäsion bilden, das heißt die, die noch nicht vorverdichtet sind.

Vergleichsversuche mit dem rotierend angetriebenen Rad

Die Vergleichsversuche mit dem rotierend angetriebenen Rad wurden jeweils unter den gleichen Bedingungen wie beim blockierten Rad durchgeführt (Bild 15). Im allgemeinen haben sich hier die schon bei anderen Autoren [1-5] gewonnenen Erkenntnisse bestätigt. Es fällt in allen Diagrammen, in denen die Triebkraft und die Radeinsinkung gleichzeitig aufgeschrieben wurden, auf, daß erst bei etwa 30 bis 40% Schlupf die Radeinsinkung beträchtlich zunimmt, während gleichzeitig der Anstieg des Triebkraftbeiwertes bedeutend geringer wird. Das läßt schließen, daß bei etwa 30 bis 40% Schlupf im größten Teil der Auflagefläche des Reifens der Boden abgeschert wird und damit das Gleiten einsetzt. Mit zunehmendem Schlupf fräst sich der Reifen immer tiefer in den Boden ein. Während bis etwa 30 bis 40% Schlupf die Triebkraftherzeugung im wesentlichen auf der elastischen Verformung des Reifens und der elastischen und plastischen Verformung des Bodens beruht, überwiegt ab 30 bis 40% Schlupf das Gleiten der abgescherten Bodenteile aneinander.

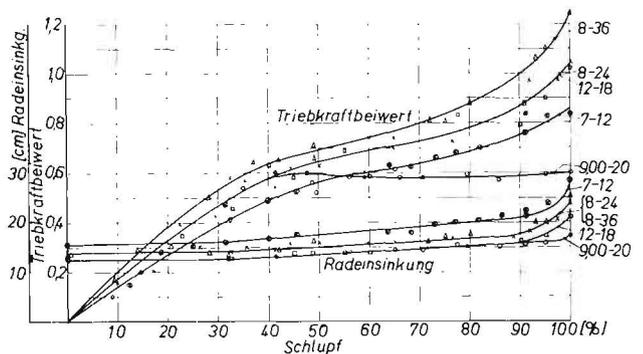


Bild 15: Triebkraftbeiwert des rotierend angetriebenen Rades auf feuchtem, lockerem Boden bei verschiedenen Reifenabmessungen und -profilen. Radlast: 430 kp; Reifenluftdruck: 0,8 atü; Boden: 26% W.G., 60% Porenanteil; Reifen: × = 8-24 AS; △ = 8-36 AS; ○ = 9,00-20 (profillos); □ = 12-18; ⊙ = 7-12 AM

Möglichkeiten der Triebkraftsteigerung beim Schub-Schritt-Verfahren

Um einen Vergleich über die Möglichkeiten der Triebkraftsteigerung durch das Schub-Schritt-Verfahren darzustellen, wurde in Bild 16 neben den bereits in den Bildern 13 und 14 dargestellten Kurven die in vielen Versuchsreihen ermittelten Triebkraftbeiwerte beim rotierend angetriebenen Rad, und zwar bei 70% Schlupf über dem Wassergehalt des Bodens aufgetragen. Diese bei 70% Schlupf erreichten Triebkraftbeiwerte mögen als maximal in der Praxis noch erreichbar angesehen werden, während bei höheren Schlupfwerten sehr rasch Eingraben und Bewegungsunfähigkeit des Fahrzeuges eintritt. Bild 16 zeigt deutlich, welche Triebkraftsteigerung durch das Schub-Schritt-Verfahren

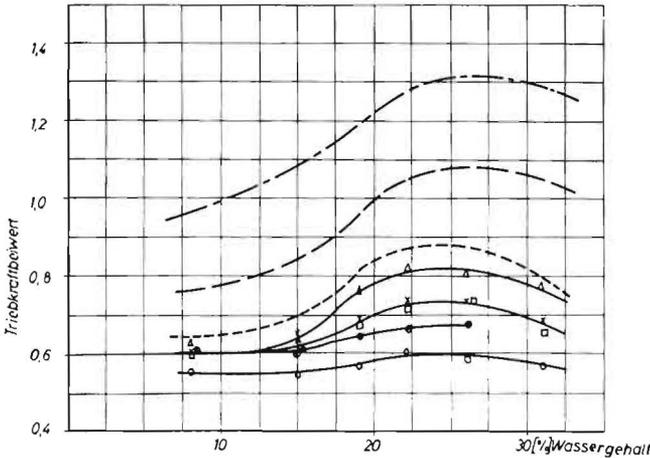


Bild 16: Triebkraftbeiwerte des rotierend angetriebenen Rades bei 70% Schlupf in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Bodens bei 60% Porenanteil (ausgezogene Linie)

Zum Vergleich mit dem Schub-Schritt-Verfahren sind die in den Bildern 13 und 14 dargestellten Kurven mitangezeichnet: ——— maximale Triebkraftbeiwerte bei kleiner Schrittweite; ——— Triebkraftbeiwerte nach 40 cm Verschiebung bei großer Schrittweite und nach Einsetzen des Rades in unbefahrenen Boden; - - - - Triebkraftbeiwerte nach 10 cm Verschiebung.
Radlast: 430 kp; Reifenluftdruck: 0,8 atü; Reifen: × = 8—24 AS; Δ = 8—36 AS; ○ = 9,00—20 (profillos); □ = 12—18; ⊙ = 7—12 AM

möglich ist. Selbst nach einem kurzen Verschiebungsweg von 10 cm sind die erreichten Triebkräfte bereits höher als beim rotierend angetriebenen Rad bei 70% Schlupf. Wird der erläuterte Abstützeffekt an den vom Vorhergehenden Abstützvorgang stark verfestigten Erdmassen (obere Kurve in Bild 16) noch ausgenutzt, so läßt sich die Triebkraft fast auf das Doppelte steigern.

Versuche auf Boden mit schlammiger Oberschicht

Während bei den bisherigen Versuchen der Boden in allen Schichten möglichst homogen war mit gleicher Feuchtigkeit und gleichem Porenanteil, wurde auch der Fall untersucht, daß auf einer festen Unterschicht eine mehr oder weniger dicke schlammige Oberschicht lagert. Zu diesem Zweck wurde der Boden der Bodenrinne mittels Vibrator verdichtet und auf diesem festen, praktisch wasserundurchlässigen Boden eine Schlammsschicht von 10 cm Dicke hergestellt. Dann wurden Versuche sowohl mit blockiertem als

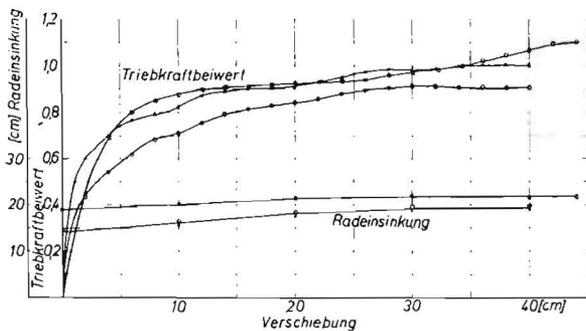


Bild 17: Versuche mit blockiertem Rad auf Boden mit schlammiger Oberschicht (10 cm dicke Schlammsschicht auf festem Untergrund)
Reifen: 8—24 AS; Reifenluftdruck: 0,8 atü; Radlast 430 kp; × = nach Einsetzen des Rades in unbefahrenen Boden; ○ = 120 cm Schrittweite; □ = 45 cm Schrittweite

auch mit rotierend angetriebenem Rad durchgeführt. Dabei konnte beobachtet werden, daß beim Einsetzen des Rades der Schlamm zur Seite gedrängt wird, bis das Rad den festeren Untergrund erreicht hat. Dieser Verdrängungsvorgang ist von der Zeit abhängig, das heißt, das Rad wird um so sicherer den festen Untergrund erreichen, je mehr Zeit ihm dafür zur Verfügung steht. Da nun beim Schub-Schritt-Verfahren das Rad bedeutend länger an einer Stelle verharrt als das rotierend angetriebene, ist auch hier das Schub-Schritt-Verfahren dem rotierend angetriebenen Rad überlegen. Während ferner das angetriebene Rad infolge des Schlupfes dauernd Schlamm unter seine Auflagefläche fördert, der dann Schmiermittel zwischen Reifen und festem Untergrund ist, dringt das blockierte Rad nach Erreichen der festeren Unterschicht beim Verschieben noch ein wenig in diese ein, wo es dann festen Halt vorfindet und beim Verschieben den Schlamm vor sich herschiebt, ohne den festen Griff am Untergrund zu verlassen. In den Bildern 17 und 18 sind die Versuche mit dem Reifen 8—24 AS für das blockierte und für das rotierend angetriebene Rad dargestellt, die die sehr große Überlegenheit des Schub-Schritt-Verfahrens gegenüber dem rotierend angetriebenen Rad auf festem Boden mit schlammiger Oberschicht bestätigen.

Zusammenfassung

Um den Luftreifen für das Fahren außerhalb befestigter Fahrbahnen einsatzfähiger zu machen, wird das Schub-Schritt-Verfahren vorgeschlagen, dem die Erkenntnis zugrunde liegt, daß die an einem stillstehenden Rad abstützbare Triebkraft größer ist als an einem rotierend angetriebenen Rad. Die konstruktive Gestaltung eines Fahrzeuges mit Schub-Schritt-Einrichtung ist demnach so, daß dessen Räder abwechselnd stillstehen und dabei Triebkräfte auf dem Boden abstützen, die als Schubkräfte auf den Fahrzeugrumpf übertragen werden gegenüber dem stillstehenden Rad verschieben. Danach rollen die Räder um ein bestimmtes Stück (Schritt) gegenüber dem Fahrzeugrumpf vor, wobei sie zwecks Herabsetzung des Rollwiderstandes teilweise oder ganz von senkrechter Last befreit werden können. Die Abstimmung der jeweils stillstehenden, Triebkraft abstützenden Räder und der voreilenden Räder aufeinander erfolgt dabei so, daß eine möglichst kontinuierliche Schubkraft und gleichmäßige Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges entsteht.

Durch theoretische Überlegungen, die sich auf die Erkenntnisse der Bodenmechanik stützen, und durch experimentelle Untersuchungen in der Bodenrinne wurde nachgewiesen, daß die abstützbare Triebkraft an einem blockierten Rad beträchtlich größer ist als an einem rotierend angetriebenen Rad, was durch die andersartige Beanspruchung und Verformung des Bodens unter dem Rad erklärt wird.

Schrifttum

- [1] BEKKER, M. G.: Theorie of Land Locomotion. Ann. Arbor, the University of Michigan Press 1956
- [2] SÖHNE, W.: Die Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden. In: 10. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1952 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 3) S. 75—87
- [3] SÖHNE, W.: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. In: 11. Konstrukteurheft, 2. Teil, VDI-Verlag Düsseldorf 1953 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 5) S. 49—63

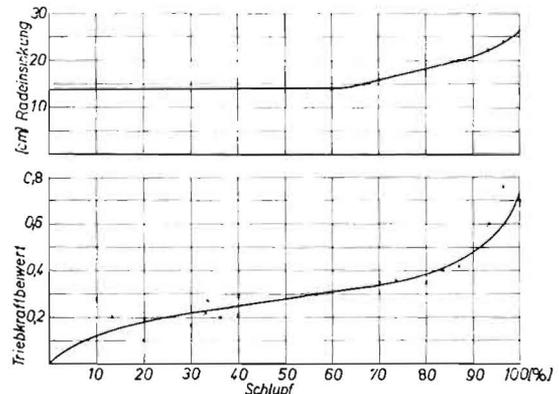


Bild 18: Versuche mit angetriebenem Rad auf Boden mit schlammiger Oberschicht (10 cm dicke Schlammsschicht auf festem Untergrund)
Reifen: 8—24 AS; Reifenluftdruck: 0,8 atü; Radlast 430 kp

- [4] BOCK, G.: Beobachtungen bei Feldversuchen über die Zugfähigkeit von Schleppern. In: 11. Konstrukteurheft, 2. Teil, VDI-Verlag Düsseldorf 1953 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 5) S. 42—48
- [5] LÜHRS, H.: Wirkungsgraduntersuchungen an Ackerschleppertreibradreifen, ihre Bedeutung für den Schlepperkonstrukteur. Dissertation T. H. München. München 1959
- [6] SÖHNE, W.: Reibung und Kohäsion bei Ackerböden. In: 11. Konstrukteurheft, 2. Teil, VDI-Verlag Düsseldorf 1953 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 5) S. 64—80
- [7] SÖHNE, W.: Einige Grundlagen für eine Landtechnische Bodenmechanik. In: 13. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1956 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 7) S. 11—27
- [8] TERZAGHI, K., und R. JELINKE: Theoretische Bodenmechanik. Berlin 1954

Europäische Übersetzungszentrale gegründet

Vor kurzem haben mehrere europäische Länder, die Vereinigten Staaten von Amerika und Kanada in Paris beschlossen, eine europäische Übersetzungszentrale (ETC) zu gründen. Der Plan für diese Zentrale wurde von den Vereinigten Staaten von Amerika inaugurirt. In den USA bestehen heute schon zwei Übersetzungszentralen, die vor allem Texte wenig gebräuchlicher Sprachen übersetzen und sammeln. Mit diesen beiden Zentralen soll die europäische Übersetzungszentrale, um Doppelarbeiten zu vermeiden, laufend zusammenarbeiten und Übersetzungen austauschen. Als ersten Schritt zur Verwirklichung der oben erwähnten Ziele besuchte K. E. OLSON, ein Berater der europäischen Produktivitätszentrale (EPA), mehrere westeuropäische Länder, um sich über die Situation in bezug auf Übersetzungen zu informieren und um einen Sitz für die europäische Übersetzungszentrale ausfindig zu machen. Nach einigen Überlegungen wurde Delft in den Niederlanden zum Sitz dieser Zentrale bestimmt.

Folgende Länder wollen sich an den Arbeiten des ETC beteiligen: Österreich, Belgien, Dänemark, Bundesrepublik Deutschland, Italien, Luxemburg, die Niederlande, Norwegen, Portugal, Spanien, Schweden und die Schweiz. Jedes Mitglied soll die Übersetzungen in einer nationalen Zentrale zusammenfassen und von dort aus an die europäische Zentrale weiterleiten. Solche nationalen Zentralen bestehen heute schon in Belgien, Frankreich, der Bundesrepublik Deutschland, den Niederlanden und Spanien.

Die europäische Übersetzungszentrale will zunächst unter anderem folgende Arbeiten durchführen:

1. Übersetzungen und bibliographische Angaben wissenschaftlicher und technologischer Literatur in slawischer Sprache sammeln;
2. Informationen und Reproduktionen von Übersetzungen aus den slawischen Sprachen, die in Europa oder in den USA erhältlich sind, liefern;
3. Übersetzungen in Form von Mikrofilmen mit den Zentralen in USA austauschen.

Koordinierung der Normen

Vor kurzem haben die nationalen Normenausschüsse der EWG- und EFTA-Länder in Paris ein «Comité Européen de Coordination des Normes» (CEN) geschaffen, um die Normen auf den für den Warenverkehr in Europa wichtigen Fachgebieten miteinander in Einklang zu bringen. Damit wurde das ursprünglich nur für die EWG-Länder gebildete Komitee auf alle Länder der beiden europäischen Gruppen erweitert.

An diesem europäischen Komitee sind beteiligt:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden und die Schweiz.

Die zuständige deutsche Organisation ist der Deutsche Normenausschuß (DNA). Die einzelnen Projekte werden jeweils von den Ländern bearbeitet, die sich bereit erklären, entsprechende Sekretariate zu führen.

Alle Arbeiten werden in engem Kontakt mit den bestehenden intereuropäischen technischen Organisationen geleistet, die sich mit Normungsfragen beschäftigen; sie stehen im Einklang mit der Tätigkeit der «International Organization for Standardization» (ISO), deren Arbeit durch die Abstimmung von Normen zwischen den europäischen Ländern erleichtert und gefördert wird.

Résumé

Franz Große-Scharmann: "Increasing the Tractive Effort of Agricultural Vehicles by Application of the 'Thrust-Step' Drive."

In order to increase the efficiency of pneumatic tyres when passing over rough ground, it is suggested that the "Thrust-Step" drive be applied. This drive depends upon the fact that the thrust of a driving force is greater at a stationary wheel than at a rotating driven wheel. In this system the driving mechanism of the vehicle is so designed that its wheels are alternately stationary, thereby causing the driving forces to act as a thrust against the ground. The driving forces are then transmitted to the body of the vehicle and push it forward at a point opposite to the stationary wheel. The wheels then move forward over a prescribed distance ("Step"). In order to decrease the rolling resistance the wheels can be wholly or partially freed of all loads. The adjustment of the alternately stationary wheels transmitting the driving force to the ground and the other forward-moving wheel is so arranged that, as far as possible, a continuous thrust is exerted and a steady speed of the vehicle maintained.

It was demonstrated by means of theoretical data, based upon the principles of soil mechanics and upon experimental investigations carried out in furrows, that the driving force acting as a thrust at a blocked wheel is considerably greater than that acting upon a rotating driven wheel. This is explained by the varying loading and deformation of the soil caused by the passage of the wheel.

Franz Grosse-Scharmann: «L'augmentation de la force motrice des véhicules agricoles au moyen de la méthode dite «poussée d'un pas»».

Afin d'élargir le champ d'application des pneumatiques en dehors de chemins solides, on a proposé la méthode dite «poussée d'un pas» qui est basée sur le fait qu'une roue immobile peut transmettre une force plus grande qu'une roue en rotation. Les roues d'un véhicule équipé d'un dispositif dit «poussée d'un pas» sont immobilisées alternativement de sorte qu'elles transmettent des forces au sol qui agissent en poussée sur le corps du véhicule et le poussent en avant par rapport à la roue immobile. Ensuite, les roues avancent d'une certaine distance (d'un pas) par rapport au corps du véhicule. Pendant l'avancement elles peuvent être soulagées partiellement ou totalement de charges verticales afin de réduire la résistance au roulement. L'adaptation des roues immobiles servant de support de la force aux roues en rotation doit être calculée de façon à obtenir un effort de poussée autant que possible continue et une vitesse de marche régulière du véhicule.

Des réflexions théoriques basées sur les connaissances de la mécanique du sol et des essais entrepris dans l'ornière, ont confirmé que la force pouvant être transmise à une roue bloquée est beaucoup plus grande que celle transmise à une roue en rotation. On explique ce fait par la sollicitation différente et la déformation différente subies par le sol au-dessous de la roue.

Franz Grosse-Scharmann: «El aumento del esfuerzo de propulsión de vehículos todo-terreno por el procedimiento de «empuje y paso»».

Para aumentar las posibilidades de empleo de neumáticos fuera de las vías de rodadura firmes, se propone el procedimiento de «empuje y paso» que se basa en el hecho de que el esfuerzo de propulsión que se apoya en una rueda parada, es más grande que el que se apoya en una rueda en rotación. La construcción de un vehículo con dispositivo de «empuje y paso» es por consiguiente tal que sus ruedas estarán alternativamente paradas, sirviendo entonces de apoyo en el suelo al esfuerzo de propulsión que, transmitido al cuerpo del vehículo, lo empuja adelante en relación con la rueda parada. Entonces las ruedas adelantan, rodando un tanto determinado (paso) en relación con el cuerpo del vehículo, siendo posible aliviarlas totalmente o en parte, de la carga vertical, para reducir la resistencia a la rodadura. La sincronización de las ruedas paradas que sirven de apoyo al esfuerzo de propulsión, con las ruedas en rotación, será de forma que el esfuerzo de empuje resulte lo más continuo posible y la velocidad de marcha del vehículo seguida.

Consideraciones teóricas, basadas en el conocimiento de la mecánica del suelo, e investigaciones experimentales en el surco han demostrado, que el esfuerzo de propulsión que necesita en qué apoyarse, es bastante más elevado en una rueda bloqueada que en una rueda en rotación, lo que se explica por las sollicitaciones diferentes y por la deformación del suelo debajo de la rueda.