

## Zur Stufung der Fahrgeschwindigkeiten der Ackerschlepper

*Institut für Schlepperforschung, Braunschweig-Völkenrode*

Mit dem Ackerschlepper als Energiequelle für landwirtschaftliche Arbeiten auf Feld und Hof ist es möglich geworden, diese Aufgaben bei den verschiedensten Geschwindigkeiten auszuführen. Während beim Gespannzug die Geschwindigkeit mit ca. 3,6 km/h fest vorgegeben war, können mit Schleppern Vorschübe von einigen 100 m/h bis Geschwindigkeiten von 20 km/h und mehr verwirklicht werden.

Da der Dieselmotor des Schleppers in seiner Drehzahlwandlung recht eng begrenzt ist, werden zwischen ihm und die Triebräder mehrere Drehzahl-Drehmomenten-Wandler geschaltet. Meist wird die Drehzahlreduzierung in drei Hauptstufen durchgeführt: Schaltgetriebe, Kegelraduntersetzung am Differential und Endvorgelege in den Achstrichtern. Durch das Schaltgetriebe ist eine stufenweise Reduzierung der Enddrehzahl möglich. Bei diesen Nenndrehzahlen bzw. Geschwindigkeiten kann die maximale Motorleistung abgegeben werden. Fahrgeschwindigkeiten, die dazwischen liegen, sind durch Änderung der Motordrehzahl einzustellen; hierbei sinkt die höchste verfügbare Motorleistung jedoch etwa proportional der Drehzahl. Auf Grund der Vielzahl der landwirtschaftlichen Arbeiten und der Einsatzbedingungen sollte eine feinstufige Wahl dieser Enddrehzahl, d. h. der Fahrgeschwindigkeit möglich sein.

Im Folgenden wird dargestellt, welche Fahrgeschwindigkeiten die heutigen Schlepper erlauben, also wie ihre Getriebe gestuft sind. Die Anforderungen der landwirtschaftlichen Praxis werden geschildert und daraus die Bedingungen für eine optimale Stufung eines Schaltgetriebes in Schleppern abgeleitet.

### **Die vielfältigen Aufgaben der Schlepper im landwirtschaftlichen Betrieb**

Obwohl die Schlepper im landwirtschaftlichen Betrieb so vielfältig eingesetzt werden, kann verhältnismäßig leicht eine gewisse Systematik aufgestellt werden, die den Einsatz nach Gesichtspunkten der Fahr- und Arbeitsgeschwindigkeit ordnet.

Zuerst sei kurz auf die vielen Transportarbeiten eingegangen, die als Zubringerdienste in die einzelnen Arbeitskette immer wieder eingeflochten werden. Auf angehängten, aufgesattelten und auch angebauten Wagen und Geräten werden Nutzlasten vom Hof zum Feld, zum Händler usw. befördert. Diese Transporte müssen möglichst schnell und sicher ausgeführt werden. Die Fahrgeschwindigkeit wird dementsprechend immer möglichst hoch liegen. Auf Äckern und üblichen Feldwegen ist sie begrenzt durch die Wegführung und durch die Schwingungen und Stöße, die für Fahrer und Ladung erträglich sein müssen. Auf Landstraßen und guten Feldwegen setzt zur Zeit die Verkehrsgesetzgebung die obere Grenze mit 20 km/h. In bergigem Gelände wird die verfügbare Motorleistung die Höchstgeschwindigkeit begrenzen.

Bei der überwiegenden Zahl der Transportarbeiten wird nur ein relativ geringer Teil der Motorleistung zur Fortbewegung benötigt. Die Einstellung der Fahrgeschwindigkeit wird am einfachsten durch Verstellung der Motordrehzahl erreicht.

Der Zeitgewinn durch mehrere abgestufte schnelle Transportgänge wird daher nicht allzu hoch liegen. Somit scheint es ausreichend zu sein, einen schnellen Transportgang, der Geschwindigkeiten bis 20 km/h erlaubt, durch eine reduzierte

Stufe für schwere Transporte zu ergänzen, die im Bereich von 12 bis 14 km/h liegt. Noch geringere Fahrgeschwindigkeiten zum Anfahren oder für schwierige Verhältnisse ergeben sich aus den unten zu besprechenden Arbeiten.

In einer weiteren Gruppe können alle Arbeiten mit gezogenen Maschinen und Geräten zusammengefaßt werden, wobei die gesamte vom Schlepper aufzubringende Leistung über den Kraftschluß zwischen Triebtradreifen und Boden aufgebracht wird. Das Adhäsionsgewicht der Triebräder kann bei einigen Arbeiten durch die Geräte erhöht werden. Hierunter fällt eine Vielzahl landwirtschaftlicher Einsatzfälle, von denen beispielsweise in der Bodenbearbeitung das Pflügen, Schälen und Grubbern genannt seien, in der Düngung das Kunstdüngerstreuen, in der Bestellung weiterhin das Drillen, in der Ernte besonders verschiedene Heuwerbungsmaschinen mit Bodenantrieb [1—7].

Bei diesen Arbeitsgängen ist der Landwirt bestrebt, seine verfügbaren Arbeitskräfte bei hoher Arbeitsgüte möglichst wirkungsvoll und rationell einzusetzen. Dieses ist jedoch nur zu erreichen, wenn die verfügbare Motorleistung möglichst gut ausgenutzt wird. Auf jedem Boden und bei jedem Bodenzustand, für jede Kombination Schlepper und Gerät, ergibt sich ein anderer Zugwiderstand. Entsprechend der Motorleistung kann damit jeweils eine bestimmte Fahrgeschwindigkeit erreicht werden. Sofern die Arbeitsbreite des Gerätes richtig auf den Schlepper abgestimmt ist, ergibt sich entsprechend eine gute Arbeitsqualität.

Die optimale Arbeitsgeschwindigkeit zur Ausnutzung der Motorleistung ist in jedem Zeitpunkt eine andere, da z. B. der Bodenwiderstand oder die Bestandsdichte sich fortlaufend verändern. Außerdem liegt eine Vielzahl verschiedener Arbeiten und Gerätekombinationen vor, so daß nicht festgelegt werden kann, in welchem Bereich die optimalen Geschwindigkeiten gut angenähert bzw. die Gänge eingestuft sein müssen. Vielmehr sollte im gesamten Bereich eine gute Abstufung der Getriebe vorliegen. Nur so kann, auf alle Einsatzfälle bezogen, eine gute Motorauslastung erzielt [6] und die Nachteile einer Stufung überhaupt gering gehalten werden [8, 9].

Dieser Arbeitsbereich ist durch einige Arbeitsgänge nach oben begrenzt, die bei recht hoher Geschwindigkeit durchgeführt werden müssen: das Schälen mit 8—9 km/h und die Heubearbeitung mit 8—12 km/h. Beim Schälen wird relativ hoher Schlupf an den Triebrädern auftreten, so daß die konstruktive Geschwindigkeit an die Größenordnung der Heubearbeitung herankommen wird. Diese Geschwindigkeit kann gleichzeitig für schwere Transporte eingesetzt werden (siehe oben).

Sofern die Motorleistung voll ausgenutzt werden soll, wird die untere Grenze für diese Zugarbeiten durch den Kraftschluß Reifen—Boden gebildet. Diese Grenzgeschwindigkeit ist von verschiedenen Einflüssen abhängig [10], die vom Schlepper und vom Boden bedingt sind. Unter Annahme günstiger Werte ergibt sich rechnerisch eine minimale Grenzgeschwindigkeit von etwa 5 km/h, bei der die Antriebsräder durchzudrehen beginnen. Die entsprechende konstruktive Fahrgeschwindigkeit wird höher, d. h. bei etwa 5,5 km/h bis 6,5 km/h liegen.

Die Betrachtung zeigt, daß ein Schlepper für Zugarbeiten im Geschwindigkeitsbereich von 6 bis 13 km/h ein feingestuftes Getriebe haben sollte, wobei der untere Teil besondere

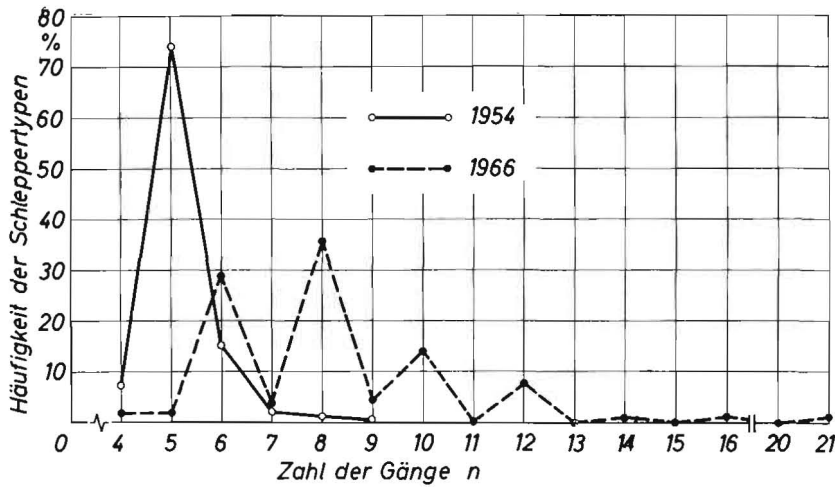


Bild 1: Die Entwicklung der Schaltgetriebe in Ackerschleppern

Bedeutung hat, da dort die meisten Arbeiten ausgeführt werden [7]. Niedrigere Geschwindigkeiten als 6 km/h können durch Verstellung der Motordrehzahl erzeugt werden.

Das nächste bedeutende Einsatzgebiet der Schlepper stellen die Arbeiten dar, bei denen der Schlepper neben der Vortriebsleistung für den ganzen Zug über Nebenabtriebe, z. B. die Zapfwelle, weitere Energie an die Arbeitsmaschine abgeben muß. Hier sind u. a. anzuführen: gezogener Mäh-drescher, Kartoffel- und Rübenvollerntemaschinen, Bodenfräsen, Feldhäcksler, Triebachswagen, Zetter und Wender in der Futterernte. Die Mehrzahl dieser Arbeitsmaschinen ist ausgelegt für eine bestimmte Drehzahl der Zapfwelle (540 U/min bzw. 1000 U/min), die recht genau eingehalten werden muß, damit die Maschine ihre Funktion einwandfrei ausführen kann. Maschinen und Schleppermotor können nur dann gut ausgelastet werden, wenn die zugeführte Gutmenge immer an den Leistungsgrenzen gehalten wird. Da besonders bei Erntemaschinen die Bestandsdichte stark variiert, kann eine gute Maschinenauslastung nur über Änderungen der Fahrgeschwindigkeit erzielt werden. Diese Auslastung muß durchgeführt werden unter Erhaltung der Zapfwelldrehzahl. Demnach kann nicht die Motordrehzahl verändert werden, sondern lediglich die Übersetzung im Schaltgetriebe. Für Zapfwellenarbeiten sind also mit Zahnradschaltgetrieben entsprechend der Zahl der Gänge nur einige wenige Geschwindigkeiten denkbar. Die Getriebe sollten darum für diese Arbeiten möglichst feinstufig ausgeführt werden, den stufenlosen angenähert sein [8].

Insgesamt müssen diese Arbeiten wieder bei recht unterschiedlichen Geschwindigkeiten durchgeführt werden, um alle Einsatzfälle einzubeziehen. Die untere Grenze der Geschwindigkeit ist durch extrem schwere Einsatzbedingungen gegeben, beispielsweise des Mähdreschers in dichtem Bestand mit Untersaat oder beim Tieffräsen schwerer Böden. Hierfür sollte ein Vorschub von 1,5 bis 1,8 km/h möglich sein. Hohe Geschwindigkeiten verlangen u. a. das Zetten und Wenden in der Futterernte mit Werten um 10 km/h.

Gerade in den letzten Jahren hat sich der Einsatz des Frontladers mit seinem Reversierbetrieb in der Praxis verstärkt eingeführt. Zu dieser Arbeitsgruppe des Reversierens sind auch der Rangierbetrieb zum Koppeln von Maschinen und Geräten und bei Verstopfungen in Erntemaschinen zu rechnen.

Bei diesen Einsätzen ist es zur Erzielung hoher Arbeitsleistungen erforderlich, daß der Schlepper schnell, möglichst unter Last [9] seine Fahrtrichtung ändern kann. Parallel zur Vortriebsleistung wird Energie für die Hydraulik verlangt. Die erzeugte Druckölmenge ist proportional der Motordrehzahl. Schnelle Frontladerarbeit erfordert dementsprechend hohe Motordrehzahl, so daß ein feinstufiges Getriebe von Vorteil ist. Zur Erzeugung hoher Stoßkräfte und hoher Anfahrbeschleunigungen sollte ein Gang oberhalb der Kraftschlußgrenze eingesetzt werden.

Als letzte Einsatzgruppe der Schlepper sei der Antrieb stationärer Maschinen nur kurz erwähnt, wie er beispielsweise bei Seilwinden oder Antrieb über eine Riemenscheibe üblich ist. Da hier der Fahrtrieb ausgeschaltet ist, treten keine Probleme der Abstimmung von mehreren Geschwindigkeiten aufeinander auf. Eine Verstellung und Anpassung der Arbeitsgeschwindigkeit kann über Motordrehzahl (mit Leistungseinbuße) und im Arbeitsaggregat selbst vorgenommen werden.

Die Anforderungen des landwirtschaftlichen Einsatzes an die Stufung eines Schleppergetriebes können nach dem Vorstehenden wie folgt zusammengefaßt werden. Ein Schlepper, der für alle gängigen landwirtschaftlichen Arbeiten gut geeignet sein soll, sollte möglichst feinstufig Fahrgeschwindigkeiten von ca. 1,6 km/h bis 12,5 km/h ermöglichen. Darüber hinaus sollte ein schneller Transportgang mit 20 km/h verfügbar sein. Durch Verstellung der Motordrehzahl bei Betrieb im niedrigsten Gang sind dann Vorschübe in der Größenordnung um 300—400 m/h möglich, die in Spezialbetrieben für einige Pflanz- und Pflegearbeiten, also leichte Zugarbeiten erforderlich sind. Ein leichter schneller Wechsel der Fahrtrichtung und des Ganges ist zusätzlich anzustreben

Bei Spezialschleppern, die nur auf Teilgebieten eingesetzt werden sollen, sind andere Getriebeauslegungen denkbar.

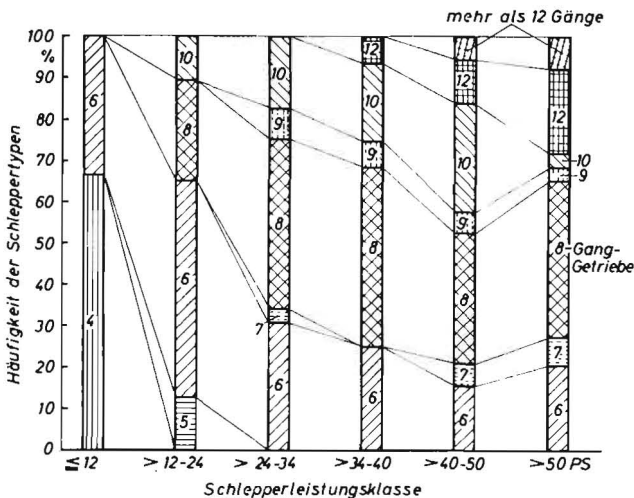


Bild 2: Die Getriebebestufung der Schleppertypen 1966 in den verschiedenen Leistungsklassen

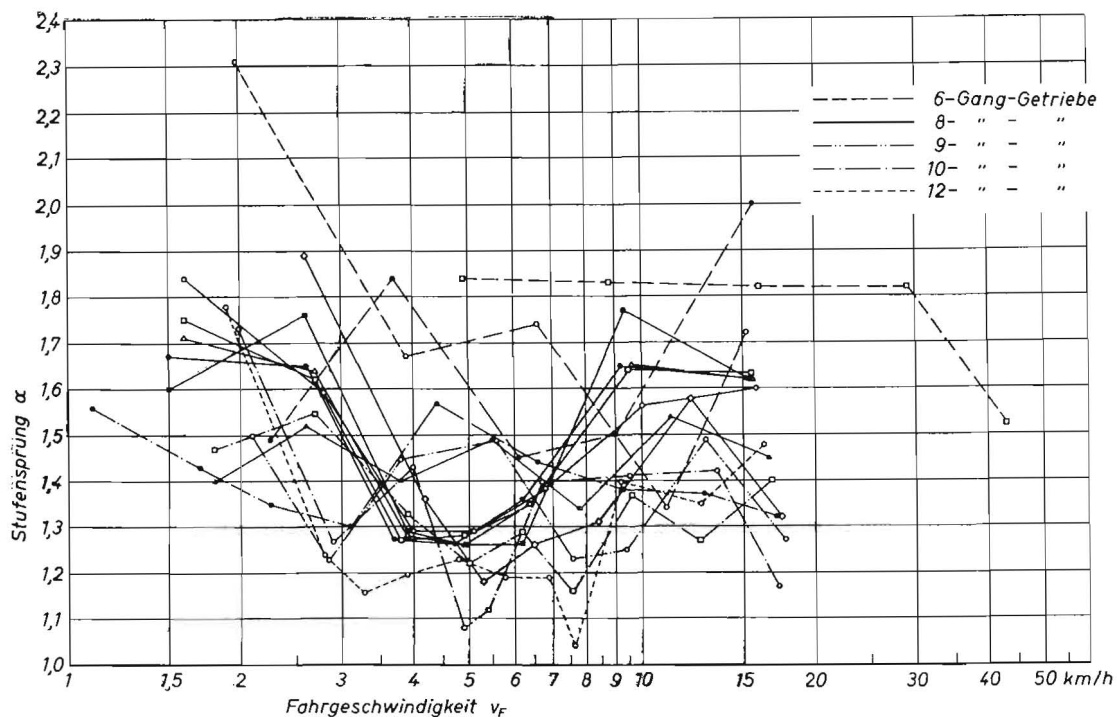


Bild 3: Die Stufensprünge der Getriebe in Schleppern mit 34—40 PS Motorleistung

Ein ausgesprochener Zugschlepper benötigt keine Fahrgeschwindigkeit unter ca. 6 km/h; Schlepper zum Grabenräumen mit Zapfwellengeräten benötigen die volle Motorleistung bei Vorschüben von einigen hundert Metern in der Stunde. Die Spezialmaschinen werden jedoch bei der heutigen Struktur unserer Landwirtschaft nur in kleineren Stückzahlen Absatz finden.

Die Bedienung des Getriebes sollte den Fahrer so wenig wie möglich beanspruchen, beispielsweise sollten Aufbau und Anordnung der Getriebebeschaltung und -abstufung übersichtlich sein. Bei vielen landwirtschaftlichen Arbeiten sind Bestrebungen zu erkennen, sie mit größeren Fahrgeschwindigkeiten auszuführen. In diesem Sinne können auch die Entwicklungen sogenannter Schnellgangschlepper gesehen werden, die Geschwindigkeiten bis 25 km/h und gar 30 km/h erlauben. So kann in der Zukunft mit einer langsamen Verschiebung der obengenannten Bereiche zu höheren Werten gerechnet werden.

#### Abstufung heutiger Schleppergetriebe

Bei den Zahnradschaltgetrieben herkömmlicher Bauart in Schleppern ist in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Entwicklung zu feinstufigen Einheiten zu erkennen, die ihre Begründung in den obengeschilderten Anforderungen der landwirtschaftlichen Praxis hat. Während um das Jahr 1940 neben dem 3-Gang-Getriebe noch das 4-Gang-Getriebe vorherrscht [6], ist die Mehrzahl der Schleppertypen 1954 mit einer 5-Gang-Einheit ausgerüstet (Bild 1). In den letzten zwölf Jahren bis 1966 haben sich dann Getriebe mit 8 Gängen durchgesetzt, wobei auch noch 6-Gang-Getriebe eingebaut werden, jedoch ebenso Einheiten mit 10, 12 bis zu 21 Gängen (alle Angaben beziehen sich hier auf die Vorwärtsgänge; eine entsprechende Anzahl Gänge für die Rückwärtsfahrt ist außerdem vorhanden). Diese große Gangzahl wird meist dadurch ermöglicht, daß ein weiteres Schaltgetriebe, die Gruppenschaltung, eingebaut wird. Daneben sind Lastschaltgetriebe und stufenlose Einheiten entwickelt worden, die in diesem Rahmen nicht besprochen werden sollen.

Getriebe mit niedriger Anzahl der Gänge sind vornehmlich bei Schleppern kleinerer Leistung zu finden (Bild 2). Schlep-

per mittlerer und großer Leistung sind meist mit einem vielstufigen Getriebe ausgerüstet. In den Gruppen bis 12 PS und 12—24 PS herrschen das 4- und 6-Gang-Getriebe vor, während in den Leistungsklassen über 24 PS das 8-Gang-Getriebe den größten Anteil stellt. Mit der Leistung fällt hier die Häufigkeit der 6-Gang-Einheiten, während die der Einheiten mit 10, 12 und mehr Stufen steigt. Bei Schleppern über 75 PS, die wegen ihrer geringen Typenzahl in Bild 2 nicht gesondert aufgenommen werden konnten, ist der Anteil mit 6 Gängen wieder relativ hoch. Fehlende Getriebeabstufung soll durch verstärkte Motorleistung ausgeglichen werden. Diese Entwicklung scheint nur sinnvoll und tragbar, wenn diese Schlepper nicht für alle landwirtschaftlichen Arbeiten eingesetzt werden, beispielsweise nicht für Zapfwellen-, sondern nur für reine Zugarbeiten, also eine weitere Spezialisierung stattfindet. Da Schlepper dieser Leistung nur für Großbetriebe Bedeutung haben, die mehrere Einheiten zum Einsatz bringen, ist dieser Gedanke nicht abwegig.

Von besonderer Bedeutung für den Schleppereinsatz ist, wie bereits gezeigt, die Stufung des Getriebes. Für die heutigen Schleppermodelle wurden die Stufensprünge  $\alpha$  ihrer Getriebe näher untersucht (Bild 3 und 4, insgesamt 115 Schleppertypen des deutschen Marktes). Bei mehreren Ausführungsformen eines Typs wurde die einfachere und gängigere zur Auswertung herangezogen, ebenso wurden Schnellgangausführungen außer Acht gelassen.

Die Stufe zwischen zwei Gängen wird üblicherweise beschrieben durch das Verhältnis der beiden Nenngeschwindigkeiten

$$\alpha_n = \frac{V_{n-1}}{V_n}$$

worin  $n$  die Nummer des Ganges bedeutet. In Bild 3 ist dieser Stufensprung  $\alpha$  aufgetragen über dem geometrischen Mittelwert der beiden benachbarten Nenngeschwindigkeiten  $\alpha_n = f(V_n \cdot \sqrt{a_n})$ . Der Übersichtlichkeit halber sind im Bild 3 lediglich Getriebe der Schlepper mit Motorleistungen von 34 PS bis 40 PS berücksichtigt. Die einzelnen Werte des Stufensprungs sind durch Geraden verbunden, an deren Schnittpunkten entsprechend die errechneten Punkte  $\alpha$  liegen.

Die im dargestellten Leistungsbereich untersuchten 15 Getriebe mit 6 bis 12 Gängen zeigen keineswegs eine eindeu-

tige Tendenz der Getriebestufung. Für 8-Gang-Getriebe wird eine solche vorgetäuscht. Hier handelt es sich jedoch um ähnliche Getriebe eines Getriebeherstellers. Im wichtigen Geschwindigkeitsbereich streut der Stufensprung von  $\alpha = 1,04$  bis  $1,89$ , auch wenn die 6-Gang-Getriebe ausgeklammert werden. Ebenso ist eine gleichmäßige Stufung bei kaum einem Fabrikat zu finden. Lediglich die bereits angeführten 8-Gang-Einheiten zeigen zwischen etwa  $3,2 \text{ km/h}$  und  $7,5 \text{ km/h}$  einen gleichmäßigen Stufensprung  $\alpha \approx 1,28$ . Wenn andererseits bei einem Getriebe mit 12 Gängen einmal nur ein Stufensprung  $\alpha = 1,04$ , also ein Geschwindigkeitsunterschied von nur  $4\%$  vorliegt, so hat das Getriebe für den praktischen Einsatz nur elf echte Gänge. So geringe Unterschiede sind vom Fahrer nicht erkennbar. (Es sind sogar Getriebe bekannt mit zwei Gängen absolut gleicher Übersetzung).

Trotz dieser großen Streuung ist in Bild 4 der Versuch gemacht, die Mittelwerte der Streubereiche für die Getriebe aller Schleppertypen über 12 PS mit gleicher Stufenzahl aufzuzeigen.

Die absolute Größe des Wandlungsbereiches wird mit wachsender Gangzahl erweitert, außerdem sinkt der Betrag des mittleren Stufensprungs im Hauptarbeitsbereich der Schlepper von  $\alpha_{\text{mittl.}} = 1,55$  bei 5 Gängen auf  $\alpha_{\text{mittl.}} = 1,22$  bzw.  $1,20$  bei 10 bzw. 20 Gängen.

Ein Schaltgetriebe mit mehr als 5 bis 6 Gängen läßt sich nur schwer in einer Einheit verwirklichen. Meist sind dem Hauptschaltgetriebe ein oder mehrere Gruppengeräte in Reihe geschaltet. Die gebräuchlichsten Anordnungen in modernen Schleppern sind in Bild 5 dargestellt.

Bei 6-Gang-Getrieben ist neben der Gruppenschaltung noch die Schaltung aller Gänge in einer Einheit möglich. Bei Getrieben mit noch mehr Gängen ist dieses nur mit Hilfe einer Servoschalteinrichtung zu erreichen, wie beispielsweise bei dem gezeigten 9-Gang-Getriebe. Hier wird auch die Lastschaltung ermöglicht. Die Gruppenschaltung kann so ausgeführt werden, daß die Gruppen mit ihren Nenngeschwindigkeiten nebeneinander liegen. Ihre Bereiche können sich jedoch auch überschneiden, so daß ein oder zwei Gänge der „Ackergruppe“ schneller sind als ein oder zwei Stufen der „Straßengruppe“. Das Ineinandergreifen ist bei 6-, 8- und auch bei 10-Gang-Getrieben oft verwirklicht. Daneben sind auch noch Getriebe gebräuchlich, die mit zwei, drei und mehr Gruppenschaltungen ausgerüstet sind, wie es an einem 9-, 10- und dem 16-Gang-Getriebe demonstriert wird. Hier hat der Fahrer entsprechend mehr Hebel zu bedienen, das Schalt-schema wird teilweise recht unübersichtlich; besonders bei der angeführten 10-Gang-Einheit ist der nächst höhere oder niedrigere Gang schwer zu finden.

Als letzte bleiben zu erwähnen die 5- und 6-Gang-Getriebe, bei denen jeder einzelne Gang über ein vorgeschaltetes Getriebe erhöht oder, bei anderen Ausführungen, erniedrigt werden kann. Ein solches Getriebe kann meist unter Last geschaltet werden und erfordert einen weiteren, jedoch einfach zu bedienenden Hebel.

Da allgemein eine Erhöhung der jetzigen Geschwindigkeitsgrenze von  $20 \text{ km/h}$  durch den Gesetzgeber auf  $25 \text{ km/h}$  oder gar  $30 \text{ km/h}$  erwartet wird, werden viele Schleppertypen auch in Schnellgangversionen angeboten. Hierzu sollte lediglich der Transportgang in seiner Übersetzung geändert werden, und es ist zu überlegen, dann einen Gang um  $18$  bis  $20 \text{ km/h}$  für schwere Transporte zu schaffen. Dagegen ist es nicht sinnvoll, alle Gänge im Verhältnis der Endgeschwindigkeiten anzuheben. Dann wird die Abstimmung auf den landwirtschaftlichen Einsatz zwangsläufig verschoben.

### Ein gleichmäßig feingestuftes Getriebe

Beim Entwurf eines Schaltgetriebes für Ackerschlepper, das optimal fein und auch gleichmäßig gestuft ist, sind für die Betriebsseite verschiedene Gesichtspunkte zu beachten, auf die nacheinander kurz eingegangen werden soll.

Während der landwirtschaftlichen Arbeit ist die Hauptaufgabe des Schlepperfahrers und sonstigen Bedienungspersonals, das Augenmerk auf eine zufriedenstellende Funktion der Geräte und gute Arbeitsqualität des Verfahrens zu legen. Die Bedienung, unter anderem des Getriebes, hat untergeordnete Bedeutung, das Schalten muß schnell und mechanisch erfolgen können. Dazu muß das Schalt-schema einen einfachen Aufbau haben. Die Gänge sollten in ihrer Stufung möglichst hintereinander liegen, es sollten möglichst wenig Gruppen (eigentlich nicht mehr als zwei) zu bedienen sein. Das Verschachteln der Abstufung bei zwei Gruppen erschwert die Übersicht (beispielsweise Schema 4 und 5 in Bild 5), bei drei verschachtelten Gruppen ist während der Fahrt der nächst niedrigere Gang noch schwieriger zu finden (Schema 10 in Bild 5). Mehr als zwei Gruppen scheinen aus dem genannten Grunde für ein Schleppergetriebe nicht sinnvoll; es sei denn, die Gruppen liegen jeweils geschlossen beieinander.

Um des einfachen Schaltens willen sollten die jeweils benachbarten Gänge durch Bedienung nur eines Hebels wählbar sein. Bei geschlossenen Gruppen, wie in Schema 1 oder 3 angedeutet, ist dieses innerhalb der Gruppe möglich, nur beim Übergang zur nächsten Gruppe sind zwei Hebel zu betätigen. An den Nahtstellen beim überlappten Aufbau nach 4, 5, 6 und 9 ist zwar eine enge Stufung erreicht, jedoch müssen zwei Hebel bedient werden, um sie auszunutzen. Bei den Stufungen nach Schema 11, 12 und 13 ist jeweils entweder der nächst höhere oder niedrigere einfach zu schalten. Dieses letzte Schema ist relativ das einfachste bei diesen vielgängigen Getrieben, sofern nicht an Servoschalteinrichtungen gedacht wird (Schema 7 in Bild 5).

Die Geschwindigkeiten benachbarter Gänge müssen sich merklich unterscheiden, damit der Fahrer während der Fahrt deutliche Unterschiede empfindet und wirklich den geeigneten Gang finden kann. Solange keine Anzeige der momentanen Belastung des Motors vorhanden ist, wird es nicht sinnvoll sein, den Stufensprung kleiner als  $20\% - 25\%$  zu wählen ( $\alpha = 1,20 \dots 1,25$ ). Gegenüber einem ideal stufenlosen Getriebe ergibt sich damit  $10\% - 12\%$  Verlust, bezogen auf die mittlere Fahrgeschwindigkeit [6, 8], der für ein gestuftes Getriebe als unvermeidlich angesehen werden muß. Eine feinere Stufung ist außerdem aus Gründen des Getriebeaufbaues nicht mehr sinnvoll.

Nun sei kurz ausgeführt, wie ein Getriebe am günstigsten abgestuft ist, das den obenaufgeführten Bedingungen des landwirtschaftlichen Einsatzes optimal genügt. Diese Einheit sollte eine feine Stufung im Bereich von  $V_{\text{min}} = 1,6$  bis  $V_{\text{max}} = 13 \text{ km/h}$  haben und einen Schnellgang  $V = 20 \text{ km/h}$  (bzw.  $25 \text{ km/h}$  oder  $30 \text{ km/h}$  für eine Schnellgangausführung).

Nach der Bestimmungsgleichung für die Gangzahl

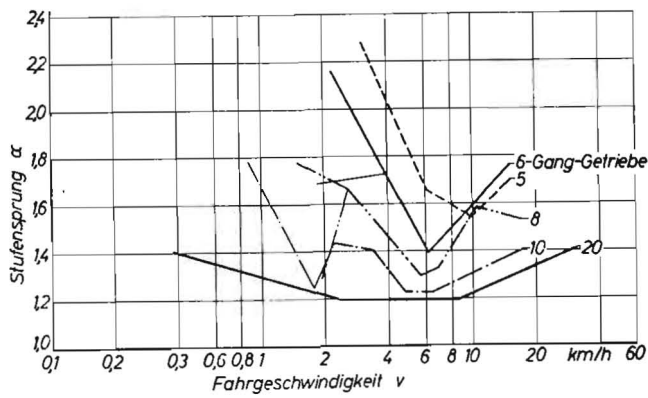
$$n = 2 + \frac{\log \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}}}{\log \alpha}$$

ergibt sich (siehe auch Bild 6):

$$\begin{aligned} n = 10: & \quad \alpha_{\text{mittl}} = 1,30 \\ n = 12: & \quad \alpha_{\text{mittl}} = 1,23 \end{aligned}$$

Eine weitere Erhöhung der Gangzahl würde auch nur eine geringe Minderung des mittleren Stufensprungs ergeben, wie die Tendenz der Kurven in Bild 6 zeigt. Ein Getriebe mit zehn bzw. zwölf Gängen ist gut mit einem Hauptgetriebe und zwei Gruppen zu erreichen. Ein Getriebe mit mehr als zwölf Gängen ist technisch sehr viel aufwendiger, das Schalt-schema wird unübersichtlicher, und es sind für den landwirtschaftlichen Einsatz keine weiteren Vorteile zu erwarten. Weitere Eigenschaften wie beispielsweise ein schlechterer Wirkungsgrad eines solchen Vielganggetriebes, bestärken noch diese Aussage, genauere Zahlenunterlagen hierzu sind im Augenblick nicht greifbar.



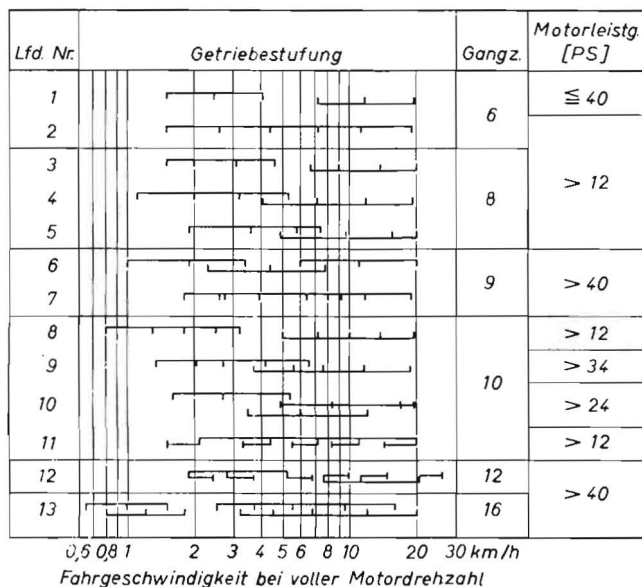


**Bild 4 Stufensprung  $\alpha$  bei Zahnradgetrieben in Schleppern über 12 PS Motorleistung**  
(Mittelkurven aus insgesamt 115 Getrieben)

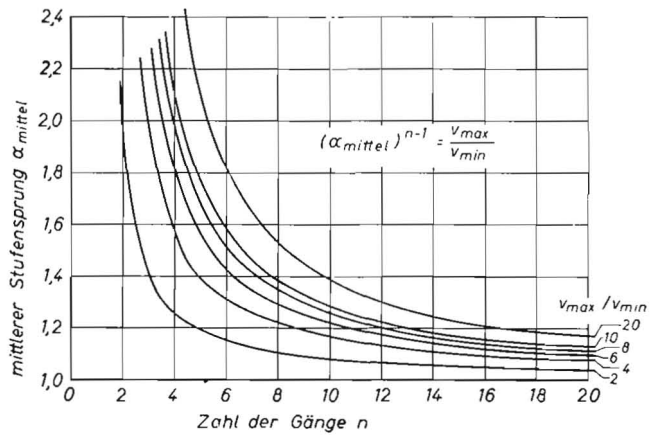
Einige Möglichkeiten der Ausführung für die Stufung eines solchen Getriebes sind in Bild 7 angedeutet. Die ersten beiden Zeilen zeigen die Stufung, wie sie oben als günstig erkannt worden ist. In dieser günstigen Form, also in einer Gruppe, ist sie nur mit Servoschalteinrichtungen zu verwirklichen. Im weiteren soll nur die 12-Gang-Einheit betrachtet werden, für das Getriebe mit 10 Gängen ergibt sich jeweils entsprechendes.

Bei Verzicht auf die beschriebene optimale Abstufung kann leicht ein Getriebe mit 2 Gruppen angegeben werden, mit gleichmäßiger Stufung über den ganzen Bereich (Beispiel 3 in Bild 7). Dann verschlechtert sich der Stufensprung von  $\alpha = 1,23$  auf  $\alpha = 1,25$ . Die beiden Gruppen können nebeneinander liegen, wie im Bild angedeutet, oder auch an den Bereichsgrenzen sich überschneiden. Das Schaltschema wird dadurch noch nicht bedeutend schwieriger.

Ein Gruppengetriebe, das den größeren Sprung bei den Transportgängen berücksichtigt, bringt an der Nahtstelle der beiden Gruppen Schwierigkeiten. An der Grenze zwischen Zapfwellen- und Zugarbeiten könnte zuerst ein größerer Sprung in Kauf genommen werden (Beispiel 4, im übrigen Bereich wird  $\alpha = 1,20$  als feinere Stufung). In Grenzfällen wird diese Stufung jedoch von Nachteil sein. Bei Überlapung dagegen, ergibt sich eine zu feine Stufung, die kein optimales Schalten mehr ermöglicht. Nur durch einen größeren Sprung der unteren Gänge kann die Überschneidung



**Bild 5: Einige Beispiele für Stufungen in ausgeführten Schleppergetrieben**



**Bild 6: Mittlerer Stufensprung bei Zahrschaltgetrieben**

verbessert werden (Beispiel 5). Einen Kompromiß stellt ebenso die von Lastschaltgetrieben bekannte Zwei-Stufen-Schaltung für das angestrebte System (Beispiel 6) dar. Für die Feinstufigkeit geht ein Gang für die Transportgeschwindigkeit verloren, der jedoch als Schnellgang angesehen werden kann. Bei nahezu gleichem Stufensprung  $\alpha = 1,26$  kann der ganze Bereich gleichmäßig ausgeführt werden. Eine weitere Unterteilung in zwei Gruppen ist dann auf einfache Weise möglich.

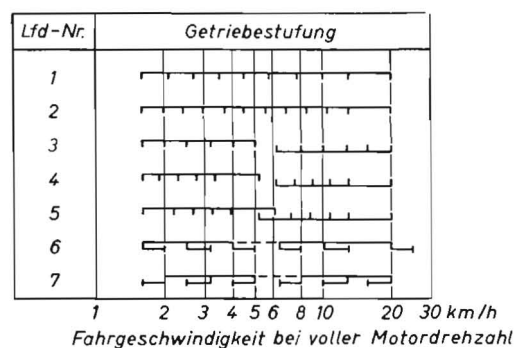
Diese Beispiele könnten noch weitergeführt werden. So könnten auch Getriebe mit drei und mehr ineinander verschachtelten Gruppen nochmals diskutiert werden. Vielleicht läßt sich auch noch eine etwas günstigere Stufung finden, die dann doch sicher in anderer Richtung Zugeständnisse erfordert. Insgesamt haben die angeführten Beispiele jedoch gezeigt, auch mit den vereinfachten Anforderungen, daß ein Stufenschaltgetriebe bezüglich seiner gleichmäßigen Feinstufigkeit durchaus seine Grenzen hat.

### Zusammenfassung

Eine Betrachtung der verschiedensten mechanisierten landwirtschaftlichen Arbeiten zeigte den breiten Bereich der Fahrgeschwindigkeiten, die ein Schlepper bei voller Motorleistung verwirklichen muß:  $v = 1,6 \dots 13$  km/h und einen Schnellgang mit 20 km/h (oder 25 km/h bzw. 30 km/h). Diese Werte können sich in Zukunft etwas nach oben erweitern oder verschieben.

In den heutigen Schleppern sind in der Mehrzahl zwar Acht-Gang-Getriebe eingebaut, es sind auch vielfach schon zehn und zwölf Stufen, vereinzelt bis 21 Gänge verwirklicht. Die einzelnen Stufensprünge sind meist recht ungleichmäßig und kaum aufeinander abgestimmt.

Bei einer gleichmäßigen geeigneten Abstufung des Getriebes kann eine Zehn- höchstens Zwölf-Gang-Einheit die Anforderung



**Bild 7: Einige günstige Beispiele für Schaltschemen bei 10- und 12-Gang-Getrieben**

derungen optimal erfüllen, die günstig mit Servo- bzw. Lastschalteinrichtungen vervollkommen werden kann. Diese verbessern wesentlich den Bedienungskomfort des Schleppers. Bedeutende arbeitswirtschaftliche Vorteile gegenüber den herkömmlichen Getrieben sind nicht zu erwarten.

Bei mehreren Schaltgruppen, die sich überlappen, wird das Schaltschema leicht unübersichtlich. Ein feiner gestuftes Aggregat mit mehr als zwölf Gängen ergibt für den landwirtschaftlichen Einsatz mehr Nachteile als Vorzüge, die im einzelnen beleuchtet wurden.

Weitere echte Vorteile für den landwirtschaftlichen Einsatz können nur mit einem echten stufenlosen Getriebe erzielt werden, das mit seinem gesamten Betriebsverhalten für den Schlepper geeignet und auf ihn abgestimmt ist.

#### Schrifttum:

- [1] BRENNER, W. G. und GRAF LUCKNER, H.: Die Arbeitsgeschwindigkeiten von Schlepper-Landmaschinen. Landtechnik 5 (1950) S. 615—622
- [2] LENTZ, A.: Arbeitsgeschwindigkeiten der Schlepper. Landtechnische Forschung 2 (1952) S. 1—6
- [3] KLIEFOTH, FR.: Zugkraft, Fahrgeschwindigkeiten und Gewicht der Schlepper. Landtechnische Forschung 3 (1953) S. 117—124
- [4] BLUMENTHAL, R.: Getriebeabstufung für Ackerschlepper. Deutsche Agrartechnik 7 (1957) S. 7—13
- [5] MEYER, H. und COENENBERG, H. H.: Welche Stufung der Fahrgeschwindigkeiten sollte der Schlepper haben? Landtechnik 14 (1959) S. 710 bis 713
- [6] MEYER, H.: Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. Grundlagen der Landtechnik 11 (1959) S. 5—12
- [7] MEYER, H.: Verbrennungsmotoren und Schlepper. Handbuch der Landtechnik S. 51—172. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1961
- [8] WENDEBORN, J. O.: Unter Last und stufenlos schaltbare Fahrtriebe für Schlepper. Grundlagen der Landtechnik 16 (1966) S. 51—59
- [9] KLIEFOTH, FR.: Was bedeuten die neuen, unter Last zu schaltenden Getriebe für den Schlepperbetrieb? Landtechnik 20 (1965) S. 722—734
- [10] SONNEN, F. J.: Zahlenmäßige Festlegung von Schleppergrößen. Landtechnische Forschung 12 (1962) S. 26

#### Résumé

J. O. Wendeborn: "Velocity Staging of Tractors"

*A consideration of the most different mechanized agricultural operations showed the wide range of traveling speeds to be effected by a tractor at full motor capacity:  $v = 1,6 \dots 13$  km/h and a quick gear with 20 km/h (or 25 km/h and 30 km/h, resp.). In future these values may somewhat increase of shift.*

*Today's tractors are usually equipped with an 8-speed gear, in many cases they have even ten and twelve speeds and sometimes up to 21 speeds. The progressive ratios are often fairly non-uniform and hardly coordinated.*

*With a uniform staging of the gear, a ten- or at most 12-speed unit can meet best the requirements. A servo-respectively shift arrangement depending on the load contributes favourably to a further improvement increasing at the same time substantially the operating comfort of the tractor. Considerable advantages as to labour economy cannot be expected.*

*With several shift groups which are overlapping, the shift scheme easily becomes unclearly arranged. A more finely staged aggregate with more than 12 speeds yields for the agricultural operation more disadvantages than advantages which are described in detail.*

*Other real advantages for the agricultural practice can only be obtained with a true infinitely variable speed gear, the total action of which is suited for and coordinated with the tractor.*

J. O. Wendeborn: "A propos de l'échelonnement des vitesses des tracteurs"

*L'examen des différents travaux agricoles mécanisés montre quelle large gamme de vitesses d'avancement un tracteur doit pouvoir développer à la pleine puissance du moteur:  $v = 1,6$  à 13 km/h et une vitesse accélérée de 20 km/h (ou 25 km/h respectivement 30 km/h). Ces valeurs peuvent encore être étendues ou être déplacées vers le haut dans l'avenir.*

*La plupart des tracteurs actuels sont munis d'une boîte de vitesse à huit combinaisons, mais on trouve souvent déjà dix et douze combinaisons et quelquefois même 21 vitesses. Les échelons entre les différentes vitesses sont en général très irréguliers et ne sont guère adaptés les uns aux autres.*

*Une boîte à dix ou douze combinaisons au maximum qui sont bien échelonnées, peut répondre de façon optimum aux nécessités des travaux agricoles. Une telle boîte de vitesses peut être complétée favorablement par des servo-commandes respectivement des variateurs de vitesse en marche. Ceux-ci améliorent de beaucoup le confort de conduite du tracteur, mais n'apportent pas des avantages essentiels du point de vue du travail agricole par rapport aux boîtes conventionnelles.*

*Plusieurs groupes de vitesses qui se recoupent, conduisent à un schéma de combinaisons peu clair. Une boîte de vitesses comportant des échelons plus fins répartis sur plus de douze vitesses crée pour le travail agricole plus d'inconvénients que d'avantages que l'auteur expose en détail. D'autres avantages réels pour le travail agricole ne peuvent être obtenus qu'avec une boîte à changement de vitesses continu dont le fonctionnement est bien adapté au tracteur.*

J. O. Wendeborn: "Acerca de la graduación de las velocidades en los tractores"

*Un estudio de los más diversos trabajos agrícolas mecanizados demostrado el amplio campo de las velocidades que tiene que alcanzar un tractor a plena potencia del motor:  $v = 1,6 \dots 13$  km/h y una marcha rápida de 20 km/h (ó 25 km/h ó 30 km/h). En el futuro, estos datos pueden ser algo mayores.*

*Si bien la mayor parte de los tractores de hoy en día van equipados con cajas de cambio de ocho velocidades, también es cierto que se ha llegado a conseguir ya, en muchos casos, diez y doce graduaciones, y en casos aislados hasta 21 marchas. Los distintos saltos entre una graduación y otra son casi siempre bastante desiguales y apenas sincronizados entre sí.*

*Con una graduación regular y adecuada de la caja de cambio quede una unidad de 10 ó todo lo mas de 12 marchas cumplir las exigencias en forma óptima, pudiéndose perfeccionar dicha unidad favorablemente con servo-dispositivos. Estos mejoran de manera considerable el confort en el manejo del tractor. Ventajas significantes en la economía del trabajo frente a las tradicionales cajas de cambio no son de esperar.*

*En varios grupos de cambios que se entrecruzan, el diagrama de cambios resulta con facilidad poco claro. Un grupo más finamente graduado con más de 12 marchas reporta, para su puesta en servicio en los trabajos agrícolas, más inconvenientes que ventajas, los cuales fueron aclarados con detalle.*

*Otras reales ventajas en las faenas agrícolas no pueden conseguirse más que con una genuina caja de cambio sin escalonado que, en cuanto a su total comportamiento en el servicio, resulte adecuada al tractor y en consonancia con él.*