

## Einige Grundbedingungen und Möglichkeiten für die automatische Regelung stufenloser Getriebe in Schleppern

*Institut für Schlepperforschung, Braunschweig-Völkenrode*

Aus landtechnischen Veröffentlichungen der letzten Jahre war ersichtlich, daß in vielen Ländern an der Entwicklung von Schleppern mit stufenlosen Getrieben gearbeitet wird [1÷16]. Diese Bemühungen sind dadurch begründet, daß sich bei der Mehrzahl der mit Ackerschleppern auszuführenden Arbeiten wesentliche Vorteile durch die stufenlose und kraftschlüssige Übersetzungsänderung des Fahrgetriebes ergeben.

Diese beruhen, im Gegensatz zu Straßenfahrzeugen, darauf, daß sie nicht nur „Lücken“ des Schaltgetriebes ausfüllen und der Fahrbequemlichkeit dienen sollen. Vielmehr haben die mit Schleppern zu bewältigenden landtechnischen Arbeitsprozesse eher Analogien zu den Zerspanungsfunktionen von Werkzeugmaschinen sowie den vielfältigen technologischen Funktionen von Verarbeitungsmaschinen. Dementsprechend gestatten stufenlose Getriebe ein Abstimmen der Arbeitsgeschwindigkeit auf die verfügbare Motorleistung zum Erzielen hoher Flächenleistungen oder Maschinen-Durchsätze beziehungsweise auf die gewünschte Arbeitsgüte; bei Zahnradgetrieben ist das nur in relativ groben Stufen möglich, die auch durch viel stärkere Motoren nur unzureichend und bei Arbeiten mit zapfwellengetriebenen Maschinen und Geräten fast überhaupt nicht ausgeglichen werden können.

Die erwähnten sowie weitere Bestimmungsgründe für die Vorteile stufenloser Getriebe in Schleppern gelten jedoch nur unter der Bedingung, daß der Fahrer auch in der Lage ist, diese Vorteile weitgehend zu nutzen. — Sonst bliebe nur das Einsparen zumindest eines Teiles der Kuppel- und Schaltvorgänge. Das Erzielen der gewünschten Arbeitsgüte sowie der möglichen höheren Flächenleistungen bedingen jedoch häufige Übersetzungsänderungen, in der Mehrzahl zum Erreichen und Einhalten einer momentanen optimalen Motorleistung.

Dazu hat sich zwar in Versuchseinsätzen erwiesen, daß ein geschickter Fahrer diese Übersetzungsanpassung im Rahmen des übrigen Fahrgeschehens schon relativ feinfühlig vornehmen kann, ohne dabei physisch und psychisch über Gebühr belastet zu werden [1; 2]; es war aber zugleich auch ersichtlich, daß diese Aufgabe von einer automatischen Regelung meist noch besser bewältigt werden kann.

Nach den Definitionen der Regelungstechnik (DIN 19226) handelt es sich bei der fortlaufenden Übersetzungsanpassung um einen typischen Regelvorgang, das heißt um die automatische Überwachung eines Prozesses, die im allgemeinen darin besteht, daß der „Ist-Wert“ einer Meßgröße fortlaufend festgestellt, mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen und auf diesen zurückgeführt wird. Im Rahmen des ganzen Arbeits- und Fahrgeschehens fungiert der Fahrer aber ohnehin schon in diesem Sinne in vielfältiger Weise als Regler. Man sollte ihn deshalb von überflüssigen Regelaufgaben entlasten, damit er sich auf die wesentlichen konzentrieren kann. Bei Vorhandensein einer automatischen Übersetzungsregelung des stufenlosen Getriebes könnte er sich dann auf die nur zeitweilig erforderlichen „Steuervorgänge“ im Sinne einer mehr oder minder willkürlichen Beeinflussung des Systems von außen her beschränken, zum Beispiel beim Wenden am Feldende, Rangieren oder dergleichen.

Im folgenden werden hierzu die recht verschiedenartigen Anforderungen an eine solche automatische Übersetzungsregelung behandelt. Ferner sollen die für ihr Erzielen möglichen und zweckmäßigen Regelgrößen, ihr anzustrebendes Betriebsverhalten sowie dessen Realisierbarkeit diskutiert werden.

Dabei ist es für die folgenden Überlegungen zunächst belanglos, ob die Schlepper mit mechanisch-stufenlosen Getrieben oder hydrostatischen Leistungsübertragungen ausgestattet werden. Die Folgerungen gelten in gewissem Umfang auch für vielstufig-kraftschlüssig-schaltbare Getriebe, an denen ebenfalls gearbeitet wird [17; 18].

### Bedingungen für eine automatische Regelung stufenloser Schleppergetriebe

Aus der Vielfalt der landwirtschaftlichen Arbeitsbedingungen lassen sich für die automatische Getrieberegulation als wichtigste die folgenden Forderungen ableiten:

1. Bei schweren Arbeiten mit gezogenen oder angebauten Geräten, zeitweise aber auch bei Transporten, soll die Motorleistung möglichst weitgehend ausgenutzt werden. Sind Schlepper und Gerät für den jeweiligen Betrieb gut aufeinander abgestimmt, so kann die Übersetzungsregelung meist auf eine hohe und gleichmäßige Dauerlast des Motors in der Nähe der Höchstleistung eingestellt werden.
2. Bei leichteren Zugarbeiten unterhalb der Höchstgeschwindigkeit hängt die jeweils mögliche Geschwindigkeit meistens von der Arbeitsgüte und vielfach auch von dem Reaktionsvermögen des Fahrers, beispielsweise von der Lenkgenauigkeit, ab. Hierbei sollte eine automatische Übersetzungsregelung Relationen von Motorbelastung und -drehzahl einstellen, die die geforderte Leistung bei minimalem Kraftstoffverbrauch liefern [19÷22].
3. Bei Arbeiten mit zapfwellengetriebenen Geräten und Maschinen, vor allem Sammelerntemaschinen, sind dagegen keine oder nur geringe Variationen der Motordrehzahl möglich oder erwünscht. Dann soll die Übersetzungsregelung des Fahrgetriebes (von Hand oder automatisch) die bei gestuftem Getriebe nicht mögliche Anpassung der Geschwindigkeit an den optimalen Durchsatz der betreffenden Maschinen oder entsprechende andere Bedingungen bewirken.
4. Der Fahrer muß jederzeit und ohne Verzug die automatische Regelung „übersteuern“ können, also ohne irgendwelche vorherige Umschaltungen.
5. Die Verstellwege der einzelnen Hebel beziehungsweise Pedale müssen ferner eine gefühlsmäßig richtige Zuordnung zu den jeweils bewirkten Änderungen haben, so daß der Erfolg eines Eingriffs mühelos und treffsicher vorzuschätzen ist.
6. Die automatische Regelung muß Betriebsverhalten und Eigenschaften des Schleppermotors so berücksichtigen können, daß beispielsweise Belastungs- und Drehzahlbereiche vermieden werden, die die Lebensdauer des Motors über Gebühr beeinträchtigen könnten (Erreichen der Rauchgrenze oder dergleichen).
7. Die automatische Übersetzungsregelung sollte, auch wenn sie durch den Fahrer „übersteuert“ wird, schnell und exakt, aber doch sanft und ruckfrei erfolgen. Beim Beschleunigen muß sie der Steigerung der Motordrehzahl „nacheilen“ (sonst könnte der Motor abgewürgt werden); beim Abstoppen des Schleppers oder Zuges mittels Motorbremse soll ein unzulässiges „Überdrehen“ des Motors, zumindest aber ein zu schneller Drehzahlanstieg verhindert werden, so daß dem Fahrer Zeit für weiteres Eingreifen, wie beispielsweise zum Bremsen, bleibt.

Neben diesen speziellen Anforderungen sei noch auf die allgemeinen regelungstechnischen Forderungen hingewiesen: Der Regler muß stabile Betriebszustände mit weichen Übergängen ohne Nachschwingen einstellen, betriebssicher, robust, einfach und billig sein. Ob die Aufgaben durch einen P-Regler (Proportional-Regler), I-Regler (Integral-Regler), Kombinationen wie zum Beispiel PI-Regler oder PID-Regler oder noch andere Arbeitsweisen befriedigend zu lösen sind, kann hier nicht beurteilt werden. Statt dessen ist zu untersuchen, welche Kennwerte als Regelgrößen in Betracht kommen sowie als Meßgrößen erfaßbar sind und ob sie den anzustrebenden Wirkungsablauf des Regelkreises und damit des Schleppers befriedigend gewährleisten können.

### Mögliche und zweckmäßige Regelgrößen

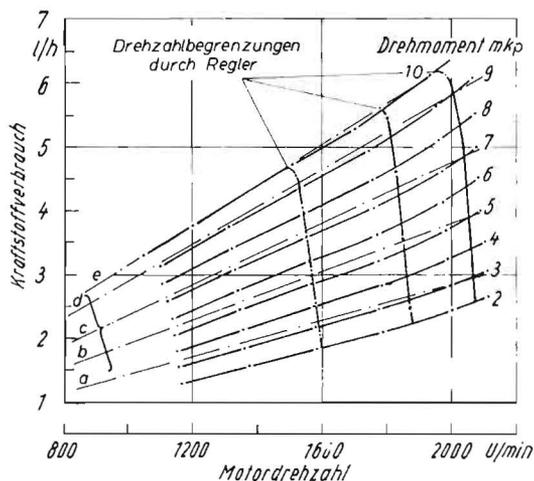
Der bei Schlepperarbeiten momentan bestehende Fahrzustand ließe sich hinsichtlich der Erfordernisse für eine automatische Übersetzungsregelung auf recht verschiedene Weise erfassen:

Die momentan abgegebene Leistung könnte zum Beispiel durch Drehmomente und Drehzahlen im Triebwerk erfaßt werden, groß angenähert bei Zugarbeiten auch über eine Messung des Zugwiderstandes oder analoge Größen. So wäre die Leistung aber nur als Produkt mehrerer und meist schwierig erfäßbarer Meßwerte zu erhalten. Für eine automatische Getrieberegulung käme sie daher nur in gewissen Sonderfällen in Betracht.

Es liegt dagegen nahe, die Eingangsleistung des stufenlosen Getriebes beispielsweise über Öldrücke, Kräfte im Getriebe oder dergleichen festzustellen, die dem Eingangs-Drehmoment und der Motordrehzahl proportional sind. Die Bedingungen hierzu sind wesentlich günstiger, weil mechanisch-stufenlose Getriebe heute durchweg eine lastabhängige Anpressung der Reibflächen haben, während die Eingangsleistung hydrostatischer Antriebe aus Öldruck, Pumpenschwenkwinkel und dergleichen erhalten werden kann. Die automatische Regelung könnte somit von verhältnismäßig leicht erfäßbaren Meßwerten als Ist-Werten ausgehen, die zudem den momentanen Zustand trägheitsarm wiedergeben. Die gleichzeitig über die Zapfwelle abgegebene Leistung wäre jedoch in der im Fahrgetriebe registrierten nicht enthalten und müßte gegebenenfalls gesondert erfaßt werden.

Diese für Hersteller stufenloser Getriebe besonders naheliegenden Regelgrößen sind jedoch aus anderen Gründen, vor allem hinsichtlich des Motors, problematisch: Eine solche „interne“ Regelung im Fahrgetriebe kann keine Leistungsschwankungen des Schleppermotors, insbesondere Minderleistungen, berücksichtigen. So können sich bekanntlich Leistungsschwankungen des Motors durch atmosphärische Bedingungen wie Luftdruck, Temperatur und Feuchte von  $\pm 10$  bis  $\pm 20\%$  ergeben [23; 24]. Es wäre aber noch bedenklicher, die sich im Laufe der Zeit einstellenden Leistungsminderungen des Motors durch Verschleiß, Ruß- und Ölkohlensatz, insbesondere aber durch Verschlechterung der Verbrennung als Folge mangelhafter Einspritzung und dergleichen, bei der Entwicklung der automatischen Getrieberegulung achtlos zu übergehen.

Die „Betriebsempfindlichkeiten“ der heutigen Schleppermotoren sind zwar recht verschieden, scheinen aber bei der Mehrzahl darin übereinzustimmen, daß ständiger Vollast-Betrieb über längere Zeit hinsichtlich der Lebensdauer doch wohl nicht unbedenklich ist, weil man mit der Vollast-Begrenzung allgemein recht nahe an die Rauchgrenze des Motors herangeht [24]. Bei gestuften Getrieben ist das im allgemeinen noch zulässig, weil bei diesen ständiges Verweilen an der Vollastgrenze praktisch nicht möglich ist. Andererseits dürfte die Mehrzahl der heutigen Schleppermotoren aber noch Dauerbelastungen von 90 bis 95% der Vollast durchaus vertragen.



**Bild 1:** Kraftstoff-Verbrauch eines Dieselmotors als Funktion von Drehzahl und Drehmoment

Die dazu dünn strichpunktierten Geraden a bis d sind Orte jeweils gleicher Regelstangenstellung bei Teillast, e entsprechend bei Vollast

Wollte man mit der erwähnten „getriebe-internen“ Regelung solche Leistungsschwankungen und -minderungen des Motors berücksichtigen, so müßte die dem Motor abverlangte Höchstlast meist wesentlich kleiner als dessen eingestellte Vollast bleiben. In der Praxis müßte für eine derartige Regelung die Vollast-Begrenzung des Motors hinreichend reduziert und bei Zapfwellenbetrieb das Getriebe ausschließlich von Hand geregelt werden.

Diese Schwierigkeiten und Besorgnisse lassen sich aber weitgehend ausschalten, weil die Stellung der Regelstange der Einspritzpumpe des Dieselmotors ein Maß für die gesamte Motorbelastung und eine recht brauchbare Meßgröße für die automatische Getrieberegulung ist (Bild 1). Die momentane Regelstangenstellung kann zwar auch nicht feststellen, ob der Motor beispielsweise durch schlechte Verbrennung bereits innerhalb der Rauchgrenze arbeitet; sie erfaßt aber die Belastung durch Zapfwellenbetrieb mit und kann teilweise auch die Leistungsschwankungen des Motors durch atmosphärische Einflüsse oder beim Warmlaufen berücksichtigen. Ferner kann eine von ihr ausgehende automatische Regelung stärkeres „Würgen“ oder gar Abwürgen des Motors verhindern. Dann ist aber die vom Fahrer vorgegebene Stellung des Drehzahlhebels am Regler der Einspritzpumpe auch ein meist wohl hinreichend genaues Maß für die Motordrehzahl.

Somit lassen sich die beiden für die automatische Getrieberegulung wichtigen Meßgrößen an der Einspritzpumpe des Motors direkt und meist auch angenähert linear als geradlinige beziehungsweise Winkel-Wege erhalten. Beim Abtasten dieser Meßgrößen am Motor können zudem unter Umständen noch Randbedingungen berücksichtigt werden, wie Variationen des höchsten Belastungs-Sollwertes in Abhängigkeit einer kennzeichnenden Temperatur des Motors. So könnte Gefährdungen durch ein erhöhtes Belastungsniveau vorgebeugt und sogar zur Sicherung einer angemessenen Lebensdauer des Motors beigetragen werden.

Aus dem stationären Verhalten läßt sich aber noch nicht folgern, ob diese Meßgrößen auch dynamisch den eigentlichen regelungstechnischen Anforderungen genügen. Hierzu sind noch ihre denkbaren Nachteile zu analysieren:

Der Drehzahl-Stellhebel am Regler der Einspritzpumpe gibt statt der momentan tatsächlich vorhandenen Drehzahl nur den vom Fahrer eingestellten Sollwert an. Erhebliche Abweichungen von diesem liegen kurzzeitig nach jeder Verstellung des Hebels und stationär bei andauernder Vollast des Motors beziehungsweise Lauf des Motors als Bremse (zum Beispiel im Gefälle) vor.

Ferner ist die momentane Stellung der Regelstange der Einspritzpumpe von dem im gleichen Augenblick vom Motor tatsächlich abgegebenen Drehmoment um den gleichzeitig von seinen Schwungmassen abgegebenen oder gespeicherten Drehmomentanteil verschieden. Eine abtriebsseitige Belastungsänderung kann sich an der Regelstange erst nach einer gewissen kleinen Drehzahländerung des Motors bei dem nachfolgenden Eingreifen des Reglers der Einspritzpumpe auswirken. So ergeben sich kleine „Phasenverschiebungen“ zwischen dem effektiv abgegebenen Drehmoment und der von der Regelstange angezeigten Belastung.

Bei dem derzeitigen Entwicklungsstand der Einspritzpumpen und ihrer Regler sowie heute durchschnittlichen „relativen Schwungradgrößen“ [25] darf jedoch angenommen werden, daß sich die erwähnten Phasenverschiebungen sowie Drehzahlabweichungen keinesfalls stärker als bei gestuften Getrieben auswirken.

Die Benutzung der an der Einspritzpumpe direkt erfäßbaren Regelgrößen zwingt andererseits zu einer Zusammenarbeit zwischen Getriebe- und Motorhersteller, bei der zwangsläufig auch die Eignung vorzugebender Sollwert-Verläufe und Belastungskonstrukteure und -fahrer kann es außerdem in gleicher Weise wertvoll sein, wenn die Verstellorgane für Motordrehzahl und -leistung sowie Beeinflussung der automatischen Getrieberegulung zentral an der Einspritzpumpe des Motors zusammenlaufen.

Würde trotzdem die Übersetzungsverstellung als Funktion des Antriebsdrehmomentes des Fahrgetriebes vorgenommen, so könnte dessen Sollwert von der Einspritzpumpe her durch eine einfache „Lastbegrenzung“ beeinflußt werden. Damit ließe sich wohl eine teilweise Brauchbarkeit der Regelung auch für „Zapfwellen-Arbeiten“ sowie eine gewisse Anpassung an Leistungsschwankungen des Motors erzielen.

### Mögliche Sollwertverläufe der automatischen Getrieberegung

Bild 2 zeigt links ein (von Bild 1 abweichend angenommenes) Kennfeld eines Dieselmotors, für das über der Drehzahl das Höchstdrehmoment (= Vollast), die Reglerkurve und Kurven gleichen Kraftstoffverbrauches (in Anlehnung an gemessene Verläufe) unterstellt wurden.

Bei Schleppern mit normalem Schaltgetriebe können Motorbelastung und Drehzahl bei schwerer Bodenbearbeitung besonders in dem stark ausgezogenen Bereich — bei leichter Bodenbearbeitung mit herabgesetzter Motordrehzahl dagegen in dem stark gestrichelten Bereich — auf der betreffenden Reglerkurve und gegebenenfalls auch dem Vollastdrehmoment-Verlauf pendeln, sofern der Fahrer die „Gashebelstellung“ jeweils unverändert läßt. Im rechten Teil des Bildes 2 wurde dazu eine Häufigkeitsverteilung mit einer oft vorliegenden Streuung (a) (nach [1; 26]) angedeutet. Auf der Reglerkurve des Motorkennfeldes wurde ferner ein Sollwert-Punkt  $P_s$  angegeben. Je nach dem Unempfindlichkeitsgrad der automatischen Getrieberegung und der Größe der durch Boden oder Bestand bedingten Schwankungen des Arbeits- und Fahrwiderstandes können Motorbelastung und -drehzahl sich ebenso wie bei normalem Schaltgetriebe auf der Reglerkurve und der Vollastgrenze mehr oder weniger weit von dem Sollwertpunkt entfernen.

Die höchste Lage des Sollwertes  $P_s$  wird im wesentlichen einerseits davon abhängen müssen, welche höchste Dauerbelastung und -drehzahl der Motor thermisch sowie hinsichtlich seiner Rauchgrenze verträglich<sup>1)</sup>. Andererseits wird die höchste Lage von  $P_s$  vom Verhältnis der Empfindlichkeit der automatischen Regelung zu den abtriebsseitig vorkommenden Belastungsschwankungen bestimmt (in Bild 2 rechts durch eine Häufigkeitsverteilung mit kleiner Streuung (b) angedeutet). Die letztere kann bei optischer Belastungsanzeige in manchen Fällen bereits bei Regelung von Hand erreicht werden. Ferner liegt ein Einfluß der Schwungradbemessung vor, auf den auch noch einzugehen ist.

Bild 3 zeigt Möglichkeiten zur Variation der Motorleistung durch verschiedene Kombinationen von Drehmoment und Drehzahl. Die Reglerkurve (1) des Drehzahlreglers sowie das Abbiegen (5) bei Erreichen der Vollast sind bereits aus Bild 2 bekannt.

Bei der selbsttätigen Übersetzungsanpassung eines hydrokinetischen Wandler (Föttinger-Getriebe) richtet sich die Motorbelastung etwa nach der sogenannten „Propellerkurve“ (2) solcher Wandler.

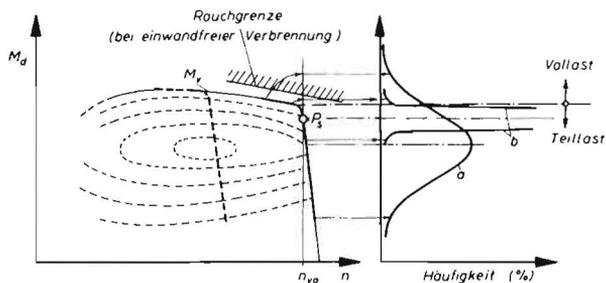
Würden von der Übersetzungsregelung Drehzahl und Drehmoment etwa proportional verändert, so ergäbe sich der Sollwertverlauf (3a). Regelung auf konstantes Motordrehmoment lieferte den Sollwertverlauf (3b), der von einer Regelung auf konstante Einspritzmenge je Hub beziehungsweise Regelstangenstellung (Verlauf 4) etwas verschieden sein kann. Damit liegt im allgemeinen zwischen den Sollwertverläufen (2) und (4) eine nach dem günstigsten Kraftstoffverbrauch. Außerdem dürfte bei den meisten Motoren in einem ähnlichen Bereich das günstigste Temperatur- und Verschleißverhalten und vielfach auch beste Laufruhe vorliegen.

Bei Arbeiten mit zapfwellengetriebenen Geräten und Maschinen kann ebenfalls das Fahren mit automatischer Getriebeverstellung, jedoch im Interesse der Arbeitsgüte reduzierter Motorbelastung, wünschenswert sein. Dazu müßten außer den besprochenen, durch  $P_s$  verlaufenden, auch entsprechend tiefer liegende Sollwertverläufe auf oder in der Nähe der Reglerkurve (1) eingestellt werden können.

Das führt aber zu der Frage, in welchem Umfang der Schleppfahrer bei der Arbeit den Sollwertverlauf selbst beeinflussen können soll. So würden im Extremfall drei Hebel notwendig:

1. Drehzahlhebel (wie bisher);
2. „Belastungshebel“ zur Vorgabe der durch  $P_s$  wählbaren Motorbelastung bei Höchstdrehzahl und
3. Hebel für „Last-Drehzahl-Verhältnis“, durch den getrennt oder teilweise abhängig die Neigung des Sollwertverlaufs eingestellt werden könnte.

<sup>1)</sup> Alle diese motorischen Fragen werden später von berufener Seite noch gesondert untersucht werden.



**Bild 2: Kennfeld und Betriebsverhalten eines Dieselmotors**  
 Links: Vollastdrehmoment und Drehzahlbegrenzung durch Regler der Einspritzpumpe; Kurven gleichen Kraftstoffverbrauches dünn gestrichelt. Bei Arbeiten mit Höchstdrehzahl arbeitet der Motor zum Beispiel auf dem stark ausgezogenen Bereich, bei herabgesetzter Drehzahl zum Beispiel auf dem dick gestrichelten Verlauf.  
 Rechts: Die Belastungs-Schwankungen bei der Arbeit wurden durch Häufigkeitsverteilungen für gestufte Getriebe (a) und für automatisch oder von Hand geregelte stufenlose Getriebe (b) angedeutet. (Weitere Erläuterungen im Text)

Die zu 2. und 3. benannten Funktionen sowie das gegebenenfalls erforderliche „Übersteuern“ durch den Fahrer könnten auch zu einem Hebel mit sinnfälligen Bewegungen in zwei Koordinatenrichtungen zusammengefaßt werden. Hierzu ist noch zu untersuchen, welche Hebelbewegungs-Richtungen und -Stellwege am schnellsten gefühlsmäßig richtig erfaßt werden können.

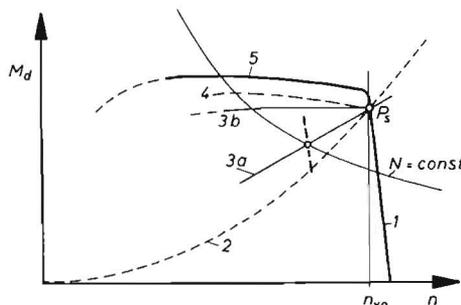
### Gedanken zur konstruktiven Ausführung der Getrieberegung

Auf den heute üblichen Regler eines Dieselmotors kann nicht verzichtet werden, weil er Drehzahl- und Leistungsbegrenzung für alle Betriebszustände des Motors sicherstellen muß. Eine automatische Getrieberegung kann diesen Regler keinesfalls erübrigen und daher nur eine Zusatzeinrichtung sein, die trotz optimaler Funktion und Betriebssicherheit mit einem Minimum an Aufwand erzielbar sein sollte. Ihr Vorhandensein kann aber die Bemühungen der Motoren- und Einspritzpumpenhersteller um einen nennenswerten Anstieg des Vollastdrehmoments bei fallender Drehzahl erübrigen, weil dieser Betriebsbereich des Motors (Verlauf 5 in Bild 3) durch das stufenlose Getriebe mit automatischer Regelung weitgehend vermieden wird. Das kann Vereinfachungen des Einspritzpumpenreglers ermöglichen.

Die Hersteller stufenloser Getriebe beziehungsweise des ganzen Schleppertriebwerkes dürften Vorteile in der erwähnten „getriebe-internen“ Regelung sehen, weil dabei der Regler vollständig in das Triebwerk einbezogen werden kann. Auf deren funktionelle Nachteile wurde bereits hingewiesen.

Die für Ackerschlepper zweckmäßigen Bauarten stufenloser Getriebe [1; 2] müssen für die Verstellung von Hand zumindest mit „Hilfskraftbetätigungen“ nach Art sogenannter „Vorwähl-Steuerungen“ ausgestattet sein, wobei die letzteren für „sanftes Folgen“ auf ruckweise vorgegebene Übersetzungsverstellungen sorgen sollen. Der Mehraufwand für die automatische Regelung kann sich daher auf einen Ist-Wert-Geber an der Einspritzpumpe, dessen Einstellkinematik und die Übertragung der festgestellten Abweichungen vom Sollwert zum Getriebe beschränken.

Der Aufwand für eine zuverlässige optische „Motorbelastungs-Anzeige“ kann auch nicht sehr viel geringer sein. Bei vorhandener



**Bild 3: Möglichkeiten zur Variation der Motorleistung**  
 Auf der Regler-Begrenzung (1), auf der „Propellerkurve“ hydrokinetischer Wandler-Getriebe (2), Drehmoment proportional der Drehzahl (3a), ungefähr konstantes Drehmoment (3b), auf Kurve gleichen Kraftstoffverbrauches bzw. gleicher Regelstangenstellung (4) und bei ständiger Vollast des Motors (5)

automatischer Regelung könnte sie von dieser „nebenbei“ abgenommen werden.

Bei den heute bevorzugten Einspritzpumpen-Bauarten ist es ohne Schwierigkeiten möglich, direkt oder über einfache Lenker die Stellung der Regelstange auf ein Meßglied für die automatische Getrieberegulation zu übertragen. Es hat sich auch gezeigt, daß die Verstellkräfte neuzeitlicher Einspritzpumpen-Regler ohne weiteres beispielsweise zum zusätzlichen Betätigen kleiner elektrischer Schalter ausreichen [26]. Deren Schaltleistung würde schon zum Betätigen von Magnetventilen genügen. Andererseits könnte eine hydraulische Betätigung eines Verstellzylinders für das stufenlose Getriebe, bei günstiger Gestaltung und Auslegung ohne zusätzlichen Folgeschieber, vorteilhaft möglich sein.

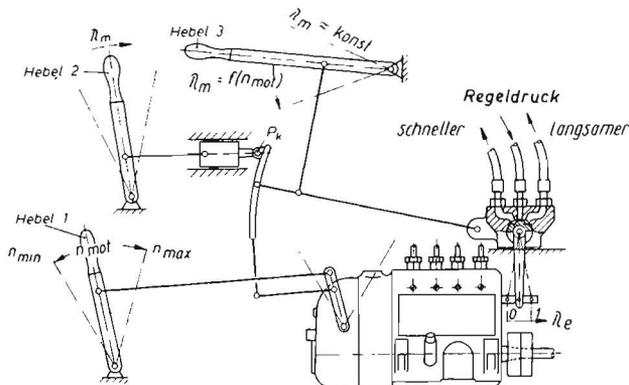


Bild 4: Beispiel für eine von der Einspritzpumpe des Schleppermotors ausgehende automatische Getrieberegulation (Erläuterungen im Text)

Die Prinzipskizze in Bild 4 soll hierzu mit dem Beispiel für eine denkbare Ausführung zeigen, daß sich die Sollwertverläufe nach Bild 3 schon über eine einfache Kinematik mit drei Funktions-Einstellungen verwirklichen lassen:

Die Einspritzpumpe des Motors, ihr Regler sowie der Drehzahl-Verstellhebel (Hebel 1) wurden praktisch unverändert beibehalten. Bei Abweichungen von der eingestellten Motordrehzahl kann der Regler wie bisher die Regelstange verstellen und damit die Kraftstoffförderung je Hub  $\lambda_e$  (bezogen auf Förderung bei Vollast) zwischen 0 und 1 variieren (gegebenenfalls auch eine noch größere Anlaßmenge einstellen). Für die automatische Getrieberegulation nach dem besprochenen Prinzip ist an die Regelstange ein kleines „Steuergerät“ als Ist-Wert-Geber angelinkt worden (hier als Drehschieber „vergrößert“ dargestellt). Im Schema nach Bild 4 kann dieser zur Vorgabe von Motorbelastungs-Sollwerten parallel zur Regelstange auf einer Führung verschoben werden. Stimmen Soll- und Istwert zufällig überein, so befindet sich der Schieber in Neutral-Stellung und sperrt den Regelöl Druck ab. Wird die vom Einspritzpumpenregler vorgegebene Kraftstoffförderung größer als die dem Sollwert entsprechende, so wird über den Drehschieber das stufenlose Getriebe des Schleppers „ins Langsame“ geregelt, bis Geschwindigkeit und Leistungsbedarf so weit zurückgegangen sind, daß der Einspritzpumpenregler die Regelstange und damit die Kraftstoff-Förderung auf eine dem Sollwert entsprechende beziehungsweise noch niedrigere zurücknehmen kann. Auf diese Weise werden die Getriebeübersetzung und damit die Fahrgeschwindigkeit stets so verstellt, daß die sich daraus ergebende Motorbelastung immer wieder auf einen dem Sollwert entsprechenden Wert zurückgeführt wird.

Die momentane Lage des Sollwertpunktes im Motorkennfeld (nach Bild 3) kann dazu über die Hebel 2 und 3 (in Bild 4) vorgegeben werden: Hebel 2 bestimmt die Lage des Festpunktes  $P_K$  der angedeuteten Kulissenführung; durch Vorschieben des Hebels in Pfeilrichtung wird die Lage des Sollwertpunktes  $P_s$  auf der Reglerkurve [(1) in Bild 3] nach oben, also zu höherer Motorbelastung verschoben. Mit Hebel 3 wird andererseits die Neigung des Sollwertverlaufs im Motorkennfeld geändert. Die höchste Lage des Hebels 3 ergibt, wie leicht einzusehen ist, einen Sollwertverlauf entsprechend Verlauf 4 in Bild 3, also eine angenähert konstante Motorbelastung. Mit dem Tieferstellen des Hebels 3 vergrößert

sich dagegen über die Kulissenführung der Einfluß des Drehzahl-Stellhebels 1. Dementsprechend nimmt auch die Drehzahl-Abhängigkeit des Sollwertpunktes zu, so daß die Neigung des Sollwertverlaufs von dem Verlauf 4 (in Bild 3) über Verlauf 3b nach 3a und noch steiler geneigt werden kann.

Das Eingreifen des Fahrers von Hand ist jederzeit möglich. Er kann über Hebel 2 auch jederzeit die automatische Getriebeverstellung „übersteuern“, indem der Hebel 2 über die sonst üblichen Grenzlagen hinaus verstellt wird.

Derartige Regler (mit gleicher oder ähnlicher Funktion) werden sich zweifellos konstruktiv einfach, betriebssicher und dabei so klein gestalten lassen, daß sich diese Einrichtung ohne besondere Schwierigkeiten an oder in der Nähe der Einspritzpumpe geschützt unterbringen läßt. Die Hebel 2 und 3 beziehungsweise die vorn erwähnte Zwei-Koordinaten-Verstellung oder entsprechende andere könnten am Lenkrad angeordnet werden. Daneben sind natürlich zahlreiche andere Lösungen der Regeleinrichtung am Motor und ihrer Verstellung durch den Fahrer denkbar.

Es wird jedoch ein ganz anderes Problem sein, durch geeignete Auslegung und Ausbildung dieser Einrichtungen das für ein günstiges Betriebsverhalten des Schleppers erforderliche regelungstechnische Verhalten zu erzielen. Hierbei werden insbesondere die durch die relative Schwungradgröße [25] und die Eigenschaften des Einspritzpumpenreglers bestimmten Phasenverschiebungen zwischen effektiver und an der Regelstange angezeigter Laständerung zu untersuchen sein.

Neben der vorstehend skizzierten mechanisch-hydraulischen Getrieberegulation muß bei dem heutigen Entwicklungsstand aber auch an die Verwendung elektronischer Mittel gedacht werden. Die rasch voranschreitende Entwicklung elektronischer Bauelemente, wie Transistoren, Miniaturbauteile, gedruckter Schaltungen und dergleichen, bietet auch heute schon Möglichkeiten für eine elektronische Regelung, die zweifellos ebenso betriebssicher und robust wie eine mechanische, dabei aber viel kleiner und wahrscheinlich nicht teurer sein dürfte. Sie könnte die Regelstangenstellung induktiv, kapazitiv, über Widerstandsänderungen, Schalter oder dergleichen erfassen. Besondere Vorteile der elektronischen Regelung wären in den praktisch trägheitslosen Arbeiten, nahezu beliebig einstellbarer Dämpfung, dem ohne Schwierigkeiten möglichen Verarbeiten weiterer Meß- und Regelgrößen sowie Kontrollwerte zu sehen (z. B. Temperaturen), ferner in den Möglichkeiten einer weitergehenden Automation und schließlich in einer denkbaren Programmsteuerung von Teilen der Fahrvorgänge. Der Preis solcher Regler dürfte wie der anderer elektronischer Geräte überwiegend von der Fertigungs-Stückzahl abhängen. Die elektronisch realisierbaren, anschaulichen Einstell- und Kontroll-Möglichkeiten wären andererseits für den Käufer besonders attraktiv.

#### Zum Betriebsverhalten der automatischen Regelung und ihrem Einfluß auf die Fahrweise

Nach den eingangs gestellten Forderungen soll die Getriebe-Regelung zügig und hinreichend schnelle, dabei aber sanfte und ruckfreie Übersetzungs- und damit Geschwindigkeitsänderungen bewirken. Hierzu sind während „kurzer“ Zeiten (weniger als zum Beispiel 1s) physiologische und psychologische Grenzen (Erträglichkeit von Zuckbewegungen und Reaktionsvermögen des Fahrers) sowie mechanische (durch Triebbradschlupf bei heftigen Beschleunigungen und Verzögerungen) gesetzt. Während etwas längerer Zeiten sind dagegen viel engere Grenzen durch den verfügbaren Leistungsüberschuß des Motors und seines Schwungrades beziehungsweise Arbeitsspeicherung und -vernichtung bei seinem „Überdrehen“ als Bremse gegeben. Daraus lassen sich maximale Übersetzungsänderungen in der Zeiteinheit als Funktion der dabei durchfahrenen absoluten Geschwindigkeit angeben. Dabei zeigt sich, daß die „Verstellgeschwindigkeit“ des Getriebes mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit kleiner werden muß. Dieser Zusammenhang ist besonders für die „getriebe-interne“ Regelung von Bedeutung; für die von der Regelstange der Einspritzpumpe aus dagegen weniger, weil bei ihr der Motor selbst die Übersetzungs-Verstellgeschwindigkeit teilweise begrenzt.

Beim Übersteuern der automatischen Regelung durch den Fahrer wird diese jedoch, zumindest im ersten Augenblick, mit größt-

möglicher Verstellgeschwindigkeit reagieren, um sich auf die neue Lage der Sollwerte von Drehzahl und Belastung einzustellen. Hierbei ist aber zu schnelles Folgen der Übersetzung fahrmechanisch wie auch psychologisch ebenfalls ungünstig. Daraus läßt sich rückwärts wieder folgern, daß äußere Belastungsschwankungen und solche durch Eingreifen des Fahrers vorübergehend durch Abgabe oder Speichern von Schwungradenergie ausgeglichen werden müssen. Die relative Schwungradgröße solcher Schlepper sollte daher keinesfalls kleiner sein als heute übliche Durchschnittswerte ( $I'$  zwischen etwa 3 und 7 [25]).

Das Betriebsverhalten der automatischen Getrieberegung kann somit befriedigen, wird aber noch durch einige Sonderfälle durchbrochen:

Im Falle plötzlicher Gefahr muß der Fahrer sofort anhalten beziehungsweise Geräte oder Maschinen stillsetzen können. Bei heutigen Schleppern braucht er dazu nur auszukuppeln, bei mechanisch-stufenlosem Getriebe (direkt oder indirekt) ebenfalls. Bei hydrostatischem Antrieb wäre die Pumpenförderung schneller als sonst auf 0 zu stellen, oder es wären Beipäß- und Bremsventile in Tätigkeit zu setzen.

Daneben kann ein begrenzter Regelbereich des stufenlosen Getriebes das Nachschalten eines mehrstufigen Gruppengetriebes oder anders gearteter Einrichtungen von „Geschwindigkeitsstufen“ erfordern. Deren Wechsel wird sich, vor allem beim Fahren mit schwerer Anhängelast, nicht immer vermeiden lassen. Der reibungslose Ablauf solcher Schaltvorgänge kann jedoch besondere Maßnahmen erfordern, die in die normale Funktion der automatischen Regelung eingreifen: Sonst würde (z. B. mechanisches) Auskuppeln der Leistungsübertragung vor dem Anfahren beziehungsweise zum Gangwechsel bewirken, daß die automatische Regelung das Getriebe in die zum Anfahren unerwünschte schnellste Übersetzung verstellt.

Ähnliche Unstetigkeiten des Betriebsverhaltens liegen aber auch bei automatischen Fahrzeugkupplungen sowie automatischen Wandler-Getrieben von Straßenfahrzeugen vor [18; 28; 29]. Sie haben sich dort befriedigend und mit zum Teil recht geringem technischen Aufwand lösen lassen. Daraus darf gefolgert werden, daß sich auch die erwähnten Sonderfälle des Betriebsverhaltens stufenloser Schleppergetriebe mit automatischer Regelung ohne unnötig komplizierte Zusatzeinrichtungen bewältigen lassen.

Aus diesen Überlegungen sowie einigen praktischen Studien ergibt sich etwa folgendes Bild der bei automatischer Getrieberegung möglichen und ratsamen Fahrweise:

Bei Zugarbeiten und Transporten kann das Anfahren ohne Gefahr des „Abwürgens“ des Motors mit geringer Motordrehzahl bei größter Übersetzung (entsprechend geringster Fahrgeschwindigkeit) beginnen, gegebenenfalls mittels Einkuppeln. Bei anschließendem Durchtreten des „Gaspedals“ würde zunächst mehr durch Steigerung der Motordrehzahl als Übersetzungsänderung beschleunigt. Dem zuvor eingestellten Sollwertverlauf (z. B. wie 3a in Bild 3) folgt dann aber die Übersetzungsverstellung der Motordrehzahl so, daß zügig bis maximal beschleunigt werden kann. Bei dem weiteren Fahren wird die gewünschte Geschwindigkeit wie bei einem Straßenfahrzeug über das „Gaspedal“ oder den entsprechenden Handhebel vorgegeben. Der zweckmäßig zu wählende Sollwertverlauf im Motorkennfeld könnte hierbei durch anschauliche Bezeichnungen und Markierungen für entsprechende Hebelstellungen empfohlen werden.

Die für Zapfwellenarbeiten erforderliche Fahrweise wäre bei dem in Bild 4 angegebenen Funktionsschema anders:

Der Drehzahlhebel müßte auf die für die gewünschte Zapfwelldrehzahl erforderliche Motordrehzahl fest eingestellt werden. Die Geschwindigkeit richtete sich dann nach der Motorbelastung und könnte über Hebel 2 gewählt und korrigiert werden. Die Stellung des Hebels 3 würde fast nur die Ansprechempfindlichkeit der Regelung bei Verstellungen des Hebels 2 beeinflussen.

Auf einen Teil der mit dem System nach Bild 4 möglichen Einstellungen durch den Hebel 3 kann verzichtet werden. Dadurch lassen sich die verbleibenden Einstellmöglichkeiten so abgrenzen und charakterisieren, daß sich der Fahrer kaum über die jeweils richtige Einstellung im Zweifel sein kann.

Aus diesen wenigen Beispielen ist bereits zu ersehen, daß die mit einer automatischen Regelung des stufenlosen Schleppergetriebes verbundene Fahrweise so sinnfällig und logisch sein kann, daß sie kein nennenswertes Üben oder Eingewöhnen erfordert. Die Zahl der noch erforderlichen Betätigungen oder Verstellungen läßt sich auf ein Minimum reduzieren, so daß sich der Fahrer voll und ganz der Arbeit und ihrem Erfolg widmen kann. Vorsichtiges „Herantasten“ an die verfügbare Motorleistung beziehungsweise optimale Maschinen- oder Geräteleistung erübrigt sich. Bei leichteren Zugarbeiten braucht das wirtschaftlichste und beste Betriebsverhalten des Motors nicht erst gesucht zu werden.

## Folgerungen und Ausblick

Das angedeutete Funktionsprinzip einer automatischen Übersetzungsregelung sollte zeigen, daß die eingangs zitierten Aufgaben befriedigend gelöst werden können. Analytische sowie praktische Studien zu ihrem Wirkungsablauf ergaben ferner, daß eine solche Regelung stabil und feinfühlig genug arbeiten kann. Der für sie erforderliche Aufwand bleibt, sorgfältige Entwicklung vorausgesetzt, relativ gering.

Ist nun insgesamt der Mehraufwand durch stufenlose Getriebe mit automatischer Übersetzungsregelung in Schleppern vertretbar oder bereits unrealistisch? Hierzu folgende Analyse:

In Bild 5 sind die bereits bekannten Relationen über die Vorteile stufenloser Getriebe [1] zusammengetragen: Von den  $k$ -Werten der Ordinate gelangt man über die Geraden-Schar für die Stufen-sprünge  $\alpha$  der Gänge gestufter Getriebe zu den rechts unten aufgetragenen Abszissen-Teilungen. Diese geben das Verhältnis  $N_{vo}/N'_{vo}$  (erforderliche Motorhöchstleistung bei gestuftem gegen stufenloses Getriebe) an, darunter den durch stufenlose Getriebe möglichen mittleren Gewinn an Geschwindigkeit  $(\Delta V/V)_{mittel}$  und die mittlere Zeitersparnis  $\Delta T/T'$  (jeweils in %, vgl. [1]).

Hierzu wurden bisher  $k$ -Werte von 1,0—1,3 überschlägig angesetzt. Ihre Zusammensetzung wird aus dem linken Teil des Bildes etwas genauer ersichtlich:

Die obere linke Geraden-Schar für das Wirkungsgradverhältnis  $\eta'/\eta$  läßt mit den angegebenen Tendenzen erkennen, daß es für Triebwerke mit mechanisch-stufenlosen Getrieben im Vergleich zu vielstufigen oder kraftschlüssig-schaltbaren günstiger als 1,0 sein und (nach Ergebnissen amerikanischer und russischer Veröffentlichungen [3+16]) durchaus bis 1,2 anwachsen kann. Dagegen wird bei hydrostatischen Übertragungen ohne Leistungsverzweigung  $\eta'/\eta$ , verglichen mit heute üblichen Triebwerksbauarten, im allgemeinen schlechter als 1 sein, etwa 0,8; gegen vielstufige Getriebe mit Schalterlichterungen und ihren zwangsläufig höheren inneren Verlusten wird es jedoch günstiger abschneiden.

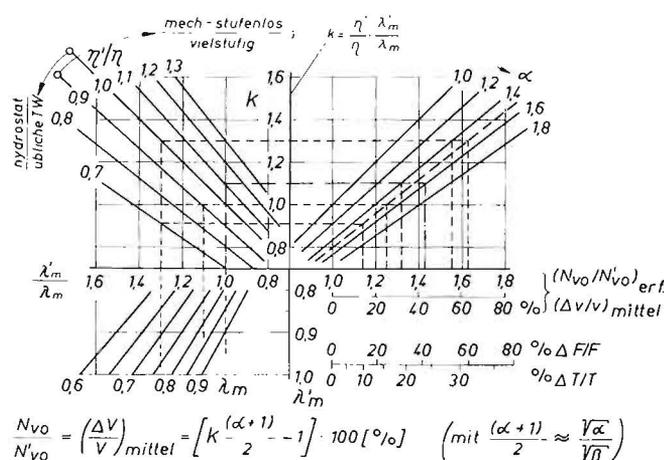


Bild 5: Fahrmechanischer Vergleich stufenloser mit gestuften Getrieben in Schleppern

Die mit  $\lambda'$  bezeichneten Werte gelten bei stufenlosem Getriebe, die übrigen bei gestuftem; hierbei bedeuten:

$N_{vo}$  Motor-Höchstleistung;  $v$  = Fahrgeschwindigkeit (schlupfflos angenommen);  $\alpha$  = Stufen-sprung bei gestuften Getriebe;  $\beta$  = Korrekturfaktor für Drehmomentverlauf des Motors;  $\eta$  = Wirkungsgrad des Schleppertriebwerks;  $\lambda_m$  = mögliche mittlere Motorbelastung;  $\lambda'v$  = Gewinn an Fahrgeschwindigkeit;  $\Delta F/F$  = Gewinn an Flächenleistung;  $\Delta T/T$  = Zeitersparnis

Neben diesen zahlenmäßig klar erfassbaren Relationen bleibt noch das Verhältnis  $\lambda'_m/\lambda_m$  als Basis für derartige Betrachtungen zu untersuchen:

Der Nenner läßt sich als Produkt mehrerer Einflüsse in der Form  $\lambda_m = \lambda_1 \cdot \lambda_2$  anschreiben. Hierbei sei  $\lambda_1$  die bei zufällig günstigster Übersetzung gestufter Getriebe durch die Lastschwankungen begrenzte höchstmögliche Motorbelastung, bezogen auf die Vollast<sup>2)</sup>.

$\lambda_2$  steht für die Erkennbarkeit der Höhe der Motorbelastung durch den Fahrer und die bei vermutterter Leistungsreserve noch mögliche Schaltbarkeit des Getriebes.

Gliedert man den Zähler  $\lambda'_m$  in gleicher Weise, so ergibt sich: Durch automatisch geregelte stufenlose Getriebe kann die „Motorbelastungs-Relation“  $\lambda'_m/\lambda_m$  von 1,0 auf 1,1 bis 1,2 ansteigen (vgl. Bild 2). Der Vorteil, daß sich das Abschätzen der Motorbelastung sowie der Schaltbarkeit erübrigen, kann gleiche, zum Teil aber auch größere Werte ergeben. Daraus läßt sich bei vorsichtigem Abwägen folgern, daß  $\lambda'_m/\lambda_m$  beim Vergleich mit vielstufig-kraftschlüssig-schaltbaren Getrieben noch etwa 1,1, im Vergleich zu heute üblichen gestuften Getrieben je nach Regelungs-güte jedoch auf 1,2 bis etwa 1,4 anwachsen kann. Hierzu wurden in Bild 5 gestrichelt einige Beispiele mit 1,1 und 1,3 eingetragen. Dazu hat sich im praktischen Einsatz gezeigt, daß man bei Regelung des Getriebes von Hand Werte bis etwa 1,2 erzielen kann, bei stärkerer Konzentration auf den übrigen Arbeitsablauf jedoch bei etwa 1,0 bleibt. Dann könnte aber die automatische Regelung gerade besonders wertvoll sein.

Die aus der Fahrmechanik abgeleiteten Verbesserungen an Flächenleistung beziehungsweise Zeitersparnisse werden sich zweifellos oft nicht in voller Höhe erzielen lassen, weil die dazu erforderliche zeitweilige Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit durch die Arbeitsgüte und andere Faktoren begrenzt werden kann. Insgesamt werden die Vorteile des stufenlosen Getriebes bei günstigen Arbeitsbedingungen (lange und ebene Äcker mit gleichmäßigem Bodenzustand und -bestand oder teilweiser Nivellierung der Schwankungen des Arbeits- und Fahrwiderstandes durch nach Zugwiderstand regelnde Kraftheber) auch weniger als bei sehr ungleichmäßigen Verhältnissen in Erscheinung treten.

Das hierzu verschiedentlich geäußerte Argument, die Nutzung der Vorteile stufenloser Getriebe sei allgemein nur bei nicht vertretbaren Geschwindigkeitssteigerungen möglich, erwies sich bei den Versuchseinsätzen als praktisch gegenstandslos. Es gilt statt dessen ursächlich allgemein für Schlepper mit zu geringem Leistungsgewicht oder bei ungünstiger gegenseitiger Abstimmung von Schlepper und Gerät.

So erweist sich aus der landtechnischen wie auch der fahrmechanischen Sicht die automatische Regelung als notwendiges Attribut stufenloser Getriebe in Schleppern. Sie vermag bei geringem Mehraufwand den Fahrer wesentlich zu entlasten und ferner die Relation zwischen der Verteuerung des Schleppers und deren Amortisation merklich günstiger und sicherer zu gestalten. Damit hat sie auch Bedeutung für den zweckmäßigen Zeitpunkt der Einführung solcher Schlepper.

### Zusammenfassung

Stufenlose Getriebe in Schleppern ermöglichen bekanntlich ein ständiges Anpassen der Arbeitsgeschwindigkeit an die verfügbare Motorleistung oder die gewünschte Arbeitsgüte. Diese Aufgaben können dem Fahrer durch eine automatische Regelung weitgehend abgenommen werden. Für diese sind die Stellung der Regelstange der Einspritzpumpe des Motors sowie die ihres Drehzahl-Stellhebels als Istwerte von Motorbelastung und -drehzahl einfach feststellbar und zweckmäßig, weil so auch Leistungs-Schwankungen und -Minderungen des Motors teilweise mit berücksichtigt werden. Unterhalb der Höchstleistung lassen sich gewünschte Kombinationen von Drehmoment und Drehzahl über eine einfache Einstell-Kinematik oder dergleichen wählen, so daß beispielsweise mit minimalem Kraftstoff-Verbrauch gearbeitet werden kann. Der Mehr-Aufwand für die Regelung kann gering bleiben, weil sie nur eine Verbindung zwischen ohnehin erforderlichen Bauelementen des Motors und des Getriebes darstellt.

<sup>2)</sup> Die Verzerrung dieser Belastung durch im Mittel ungünstige Übersetzung wird durch den Stufensprung  $\alpha$  erfafat (s. oben).

So kann die automatische Übersetzungsregelung die Fahrweise vereinfachen, die Nutzung der Vorteile des stufenlosen Getriebes sichern und nicht zuletzt zur schnelleren Einführung solcher Getriebe in Schleppern beitragen.

### Schrifttum

- [1] MEYER, H.: Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. In: 16. Konstrukteurheft, VDI-Verlag Düsseldorf 1959 (Grundlagen der Landtechnik, Heft 11), S. 5—12. Dort 13 weitere Schrifttumshinweise
- [2] MEYER, H.: Probleme und Aussichten stufenloser Getriebe für Ackerschlepper. Landbauforschung 9 (1959), S. 87—94. Dort 40 weitere Schrifttumshinweise
- [3] VASEY, G. H.: Hydraulic Torque Converters in Tractors. Hydraul. Power Transm. 5 (1959), S. 454—462
- [4] VASEY, G. H.: Lucas Hydrostatic Vehicle Transmission. Hydraul. Power Transm. 5 (1959), S. 778—781
- [5] VASEY, G. H.: Hydrostatic Transmission Design. The Engineer 208 (1959), S. 478—479
- [6] BATES, E. S.: Developments in Tractor Transmission Systems and Wear Lubrication. Journal and Proceedings of the Institution of Agr. Eng. 16 (1960), S. 18—34
- [7] BATES, E. S.: Hydraulic Tractor must come. Farm Mechanization 12 (1960), S. 8
- [8] MORTENSON, P. C.: Hydrostatic Transmissions. SAE-Transactions 68 (1960), S. 243—247
- [9] BOWERS, E. H.: Hydrostatic Transmissions for vehicles. SAE-Transactions 68 (1960), S. 248—256
- [10] BOWERS, E. H.: Evolution in transmissions. Agricultural Engineering 41 (1960), S. 295
- [11] PETUCHOV, A. V.: Stufenloses Getriebe für Traktoren (russ.). Mehan. i Elektrifik. socialist. sel' chos. 16 (1958), S. 20—22
- [12] PETROW, W. A.: Regelung stufenloser Kraftfahrzeuggetriebe. Kraftfahrzeugtechnik 7 (1957), S. 217
- [13] PETRUSCHOW, W. A.: Mehrscheiben-Reibkupplungsgetriebe (russ.). Avtomobilnaja promyslennost' (1959), Nr. 10, S. 26—31
- [14] FRUMKIS, I.: Hydraulische Getriebe an Schleppern und Landmaschinen (russ.). Technika sel'skom chozjastve 19 (1959), S. 49—52
- [15] KOMISARIK, S. F.: Die Untersuchung der hydrostatischen Übertragung (russ.). Avtomobilnaja promyslennost' (1960), Nr. 1, S. 19—23
- [16] BAGIN, JA. J.: Die Untersuchung des Hydromotors für hydrostatische Schaltungen des Radschleppers (russ.). Traktory i Selchomasina (1961), Nr. 2, S. 12—15
- [17] ERWIN, R., and C. T. O'HARROW: Tractor Transmission Responds to Finger-Tip Control. Agricultural Engineering 40 (1959), S. 198—203 und 207
- [18] MAIER, A.: Hydromechanische Antriebe für Kraftfahrzeuge. ATZ 62 (1960), S. 62—70
- [19] THÜNGEN, H. v.: Grundlagen für die selbsttätige Regelung von Kraftfahrzeuggetrieben. Z.-VDI 78 (1934), S. 309—315
- [20] THÜNGEN, H. v.: Axial-Kolbengetriebe im Kraftfahrzeug. ATZ 62 (1960), S. 227—231
- [21] JANTE, A.: Kraftfahrt-Mechanik. In: BUSSIEN, Automobiltechnisches Handbuch, 17. Aufl., Cram/Berlin 1953, S. 70—75
- [22] JANTE, A.: Der wirtschaftliche Übersetzungsverlauf stufenloser Getriebe. Kraftfahrzeugtechnik 2 (1952), S. 233—236
- [23] DIN 6270: Leistungsbegriffe, Leistungsangaben, Verbrauchsangaben, Bezugszustand. Benth-Vertrieb Köln und Frankfurt 1955
- [24] SEIFERT, A.: Untersuchungen über Zylinder- und Kolbenring-Verschleiß an luft- und wassergekühlten Ackerschlepper-Dieselmotoren. ATZ 61 (1959), S. 125—130
- [25] COENENBERG, H. H.: Zur Schwungradbemessung bei Ackerschleppern. Landtechnische Forschung 10 (1960), S. 5—9
- [26] COENENBERG, H. H.: Zählverfahren für rauhe Einsatzbedingungen. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 152—157
- [27] COENENBERG, H. H.: Meßgeräte und Verfahren für Drehmomentmessungen an Ackerschleppern. Archiv für Landtechnik 2 (1960), S. 111—124
- [28] FÖRSTER, H. J.: Automatische Fahrzeugkupplungen. ATZ 61 (1959), S. 57—67 und S. 91—102
- [29] FÖRSTER, H. J.: Zwei englische Getriebe-Automaten für Kraftfahrzeuge europäischer Konzeption. ATZ 61 (1959), S. 259—265

### Résumé

*Hans-Hellmuth Coenenberg: "Some Basic Conditions and Possibilities for the Automatic Regulation and Control of Infinitely Variable Drives for Tractors."*

*As is well known, the use of infinitely variable drives for tractors permits of constant adjustment of the operating speed to the engine power available or to the desired quality of the work. The driver can be relieved of much of this work by the use of automatic regulating mechanisms. The setting of the regulating rod of the fuel injection pump as well as the engine revolution regulating lever can be easily determined as positive values of engine load and revolutions. At the same time, variations in the output of the engine can also be taken into consideration to a certain extent. Any desired combinations of torque and revolutions per minute up to the maximum output can be easily set by means of a simple kinematic system. This permits, for example, the engine to operate with a minimum fuel consumption. The increase in cost due to the application of such a control system is small, since it only forms a connecting link between necessary parts of the engine and the drive.*

*Thus, automatic control and regulation of infinitely variable drives simplifies driving and ensures that the advantages of this type of drive are utilised. Last but not least, a more rapid adoption of such drives on tractors will surely result.*

Hans-Hellmuth Coenenberg: «Quelques conditions fondamentales et possibilités de réalisation du réglage automatique des boîtes de vitesses à variation continue utilisées dans les tracteurs agricoles.»

L'utilisation des boîtes de vitesses à variation continue dans les tracteurs agricoles permet une adaptation constante de la vitesse de travail à la puissance disponible du moteur et à la qualité de travail désirée. Le conducteur peut être largement déchargé des manoeuvres nécessaires par un réglage automatique. Il est avantageux d'utiliser pour ce réglage automatique comme données fixes de la charge et du régime du moteur, la position de la tige de réglage de la pompe d'injection et celle du levier de réglage du régime, étant donné que les variations et les diminutions de la puissance du moteur entrent ainsi en partie en compte. Au-dessous de la puissance maximum on peut choisir les combinaisons voulues entre le couple et le régime par l'intermédiaire d'un système cinématique simple ou d'un système analogue de sorte que l'on peut travailler par exemple avec un minimum de consommation en combustible. Les dépenses pour ce réglage automatique peuvent rester minimales parce qu'il ne s'agit que d'une liaison entre des éléments de construction en tout cas indispensables.

Le réglage automatique de la vitesse permet de simplifier la conduite, d'utiliser les avantages des boîtes de vitesses à variation continue et d'accélérer leur application aux tracteurs agricoles.

Hans-Hellmuth Coenenberg: «Algunas condiciones fundamentales y posibilidades para la regulación automática de transmisiones sin escalonamiento en tractores.»

Sabido es que las transmisiones sin escalonamiento permiten la adaptación de la velocidad de trabajo a la potencia del motor o bien a la calidad de trabajo deseada. Hasta cierto punto es posible librar al conductor de este trabajo por el empleo de una regulación automática, siendo fácil y conveniente determinar la posición de la varilla de regulación, así como la de la palanca de ajuste del número de rotaciones de la bomba de inyección, como valores efectivos para el cálculo de la carga y del número de rotaciones del motor, porque de esta forma se tienen parcialmente en cuenta también las oscilaciones de la potencia del motor, así como las reducciones. Debajo de la potencia máxima se pueden escoger las combinaciones deseadas de momento de giro y número de rotaciones por medio de una cinemática de ajuste sencilla u otro procedimiento análogo, de forma que se pueda trabajar p. e. con gasto de carburante mínimo. El aumento de coste de esta regulación es reducidísimo, porque no es sino una combinación de elementos constructivos del motor y del engranaje que se necesitan de todas maneras.

De esta forma la regulación automática de la transmisión puede simplificar la conducción, asegurar el aprovechamiento de la transmisión sin escalonamiento y puede contribuir a la introducción más rápida de estas transmisiones en los tractores.

Yngve Andersson †:

## Versuche mit Gummiverkleidung an Kartoffelrodern

Schwedisches Institut für Landtechnik, Uppsala

Besonders bei Speisekartoffeln ist es wichtig, daß Zahl und Umfang der mechanischen Beschädigungen durch die Erntemaschine niedrig gehalten werden. Mechanische Beschädigungen erhöhen Verluste beim Lagern und beim Sortieren. Sie setzen den Wert der Verkaufsware herab.

Schnittbeschädigungen, vom Schar des Roders verursacht, können durch sorgfältiges Pflanzen und gute Pflege sowie durch richtiges Einstellen und Führen des Roders niedrig gehalten werden. Die Fleischwunden und die Druckbeschädigungen der Knollen können durch richtige Konstruktion und durch richtige Bemessung der Geschwindigkeiten der beweglichen Arbeitsorgane vermindert werden.

### Versuchsanstellung

Ein Mittel, das Ausmaß der Beschädigungen niedrig zu halten und seine Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit zu verringern, ist eine Verkleidung bestimmter Maschinenteile mit einer möglichst weichen, dicken und verschleißfesten Gummischicht.

Gummiverkleidung kann in erster Linie für die Stäbe von Schleudersternen, Siebkette und Siebrutschen (Bild 1 und 2), aber auch für Siebtrommel, Hubräder und Elevatoren verwendet werden.

In Schweden wurden Versuche mit Gummiverkleidung an Kartoffelrodern seit 1957 gefahren. Die wichtigsten Versuchsergebnisse bis 1959 sind in der Mitteilung Nr. 284 des Schwedischen Instituts

für Landtechnik [1] veröffentlicht worden. Die begonnenen Versuche wurden 1960 fortgesetzt; hierüber soll an dieser Stelle berichtet werden.

Bei den Feldversuchen wurden die Roder, mit und ohne Gummiverkleidung, bei verschiedenen Geschwindigkeiten auf einzelnen Parzellen gefahren. Die Parzellen lagen so nahe wie möglich nebeneinander. Natürlich war der Einfluß von Ungleichmäßigkeiten im Pflanzenbestand auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht ganz zu beheben. Trotz der Streuung der Versuchsergebnisse ist jedoch festzustellen, daß die Gummiverkleidung in der Regel die Beschädigungen mindert. Als Beispiele für die Wirkung des Gummis unter verschiedenen Verhältnissen werden einige Versuchsergebnisse in den Bildern 3 bis 7 wiedergegeben.

Fleischwunden und Druckstellen sind in diesen Diagrammen nicht getrennt aufgeführt, angegeben ist nur der Prozentsatz der Gesamtbeschädigungen an Knollen, ausgenommen Schnittwunden. Es scheint jedoch, als ob die Gummiverkleidung in den Versuchen die Zahl der Fleischwunden stärker vermindert hat als die der Druckstellen.

Die Beurteilung der Beschädigungen wurde jedes Jahr etwa einen Monat nach dem Roden vorgenommen. Als Beschädigungen wurden diejenigen gerechnet, welche tiefer als 1 mm gingen. Da die Beschädigungen in dieser Weise streng beurteilt worden sind, sind die Prozentsätze der Beschädigungen hoch. Die Prozentsätze selbst wurden jeweils als Mittel aus vier Proben von 12 bis 15 kg ermittelt.



Bild 1: Schleuderstern mit aufgesteckten Schlauchstücken



Bild 2: Siebkette mit gummiverkleideten Stäben