

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Fichtel, H. u. S.M. Ismail:* Untersuchungen zur Messung der Arbeitsgeschwindigkeit von Landmaschinen mit Hilfe eines Radargerätes. Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 136/40.
- [2] *Mertins, K.-H. u. H. Göhlich:* Fahrgeschwindigkeitsmessung an landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 14/20.
- [3] *Halderson, J.L.:* An automatic boom control for potato harvesters. ASAE Paper 80-1040, St. Joseph 1980.
- [4] *Knöchel, G.:* Aufbau und Arbeitsweise eines Musters der Automatisierungsbaugruppe "Automatische Fallhöhenanpassung". Agrartechnik Bd. 32 (1982) Nr. 8, S. 346/48.
- [5] *Gunderson, D.G., T.G. Kirk u. J.N. Wilson:* A comparison of ultrasonic, ski, and ski-wheel systems for tillage depth measurement. ASAE Paper 81-1602, St. Joseph 1981.
- [6] *Ambler, B. u. G.O. Harries:* Optical ranging for tractor guidance. ASAE Paper 80-1558, St. Joseph 1980.
- [7] *Townsend, J.S., K.S. Upadhyaya, G.S. Saqib u. D.D. Small:* Retrofitting hydraulic drives and controls to potato harvester. ASAE Paper 77-1536, St. Joseph 1977.
- [8] *Lewi, P.:* Industrieroboter lernen räumlich sehen. Elektronik Bd. 32 (1983) Nr. 12, S. 93/98.
- [9] ● *Lehfeldt, W.:* Ultraschall. Würzburg: Vogel 1973.
- [10] *Gross, T.A.O.:* Controlling with ultrasonics. Machine Design (1978) Nr. 9, S. 90/96.
- [11] *Kleinschmidt, P. u. V. Mágori:* Ultrasonic remote sensors for noncontact object detection. Siemens Forsch.- u. Entwicklungsbericht Bd. 10 (1981) Nr. 2, S. 110/18.
- [12] *Gast, Th. u. D. Ehlers:* Längenmessung mit Luftschall. messen + prüfen/automatik Bd. 19 (1983) Nr. 11, S. 676/81.
- [13] *Biehl, K.-E.:* Ultraschall-Entfernungssensor. Elektronik Bd. 32 (1983) Nr. 26, S. 113/15.
- [14] *Meinel, H. u. A. Plattner:* Eigenschaften und Anwendungen von Millimeterwellen-Radargeräten im Frequenzbereich bis 90 Ghz. Ortung und Navigation Bd. (1979) Nr. 3, S. 358/73.
- [15] *Meinel, H.:* Entfernungsmessung mit frequenzmodulierten Millimeterwellen-Dauerstrich-Radargeräten. Technische Mitteilungen AEG-Telefunken Bd. 67 (1977) Nr. 2, S. 111/12.
- [16] *Schulz, W.:* Sensoren bei der Weg- und Dickenmessung. Elektro Anzeiger Bd. 35 (1982) Nr. 9, S. 13/15.
- [17] *Bücken, H.:* Berührungsloses Messen mechanischer Größen. messen + prüfen/automatik Bd. 17 (1981) Nr. 5, S. 290/92.
- [18] Ultrasonic ranging system. Unterlagen der Firma Polaroid Corp., Norwood (USA) 1980.
- [19] ● *Käs, G. u.a.:* Radartechnik. Grafenau/Würt.: expert-verlag 1981.

Neuere Getriebeentwicklungen bei Ackerschleppern

Von Karl Theodor Renius, München*)

DK 631.372-585

Das Getriebe wurde zur bedeutendsten Baugruppe des Ackerschleppers [1 bis 4]. Der Aufsatz erarbeitet zunächst die wesentlichen Anforderungen für den Einsatz in Europa. Eine darauf zurückgreifende Besprechung von acht ausgeführten neueren Getriebekonzepten knüpft an frühere Arbeiten des Verfassers an [5 bis 11]. Der Trend zum gut synchronisierten Schaltgetriebe setzt sich in Europa weiter fort. Dagegen konzentriert man sich z.B. in den USA unter anderen Randbedingungen mehr auf das Schalten unter Last. Für die weitere Getriebeentwicklung werden folgende Leitlinien herausgearbeitet: Weiter verbesserte Handhabung, scharfe Kontrolle von Herstellkosten — Gewicht — Teilezahl (Baukasten), noch bessere Stufung, verminderter Reparaturaufwand, Kontrolle der Energieverluste und des Geräuschpegels.

Erweiterte Fassung des Vortrages auf der Internationalen Tagung Landtechnik am 10.11.1983 in Braunschweig.

*) Prof. Dr.-Ing. K.Th. Renius ist Vorstand des Lehrstuhls für Landmaschinen der Technischen Universität München.

1. Einleitung

Trotz vieler Versuche mit stufenlosen Getrieben hat sich beim Standardschlepper weltweit das Stufengetriebe behauptet; weniger als 1 % der Weltproduktion wird mit hydrostatischen Antrieben ausgerüstet. Frühere Aussagen zu den Gründen hierfür gelten noch weitgehend [6, 7], so daß deren erneute Behandlung sich derzeit nicht lohnt.

Die technische Entwicklung neuer Getriebe gestaltet sich nicht nur durch die inzwischen sehr hohe Zahl geforderter Funktionen schwierig, sondern wird auch durch die besonderen Randbedingungen immer komplexer: Die Investitionen für die Entwicklung und Produktion einer neuen Schleppergetriebefamilie liegen inzwischen bei etwa 100 bis 200 Mio. DM und erfordern daher mit Abstand den höchsten Planungs- und Entwicklungsaufwand aller in der Landtechnik überhaupt verwendeten Maschinenkomponenten (Motoren ausgeschlossen, da nicht für Landtechnik allein entwickelt). Weitblick bei der Konzeptfestlegung ist auch deswegen notwendig, weil die Hauptinvestitionen für etwa 15 Jahre vorhalten sollen.

2. Wichtigste Anforderungen an europäische Stufengetriebe

Aus Platzgründen und zur besseren Übersicht seien die Anforderungen straff zusammengefaßt, **Tafel 1**. Dieses "Grundlastenheft" läßt sich bei Bedarf weiter verfeinern. Es beinhaltet einen ganzen Strauß von Zielkonflikten, die schon bei den im folgenden besprochenen Konzepten anklängen und die im letzten Abschnitt noch besonders angesprochen werden.

<p>1. Stufung vorwärts Spannweite der Nennfahrgeschwindigkeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> – Mittelklasse-Universalschlepper ca. (0,5) 2,4–30 (40) km/h (ohne disponierbare Kriechgänge Untergrenze ca. 1,5 km/h; obere Standardgrenze 30 km/h durch EG-Richtlinien bestimmt) – Schwere Zugtraktoren ca. 2,8–30 (40) km/h <p>Stufensprünge</p> <ul style="list-style-type: none"> – Im Hauptarbeitsbereich (4–12 km/h) 1,15–1,25 (je nach Nennleistung, Motor-“Drehmomentanstieg“ und Marktniveau, Einfachschlepper auch über 1,25) – Außerhalb 4–12 km/h größer, Anhalt siehe [10]
<p>2. Stufung rückwärts</p> <ul style="list-style-type: none"> – Spannweite der Nennfahrgeschwindigkeiten ca. 3,5–12 km/h – Stufensprünge 1,3–1,4. Einfachtraktoren auch darüber (Untergrenze 1,3 bedeutend bei Dauerrückfahrt, betrifft große Schlepper) – Zuordnung vorwärts–rückwärts (V–R) für Frontladen und Rangieren geeignet: Korrespondenz mehrerer Gänge, dabei Geschw. $R \geq \text{Geschw. V}$
<p>3. Handhabung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sichere, bequeme, sinnfällige und rasche Schaltbarkeit aller entsprechenden Getriebeelemente auf Acker, Straße und beim Frontladen – Besonderheit Straßentransporte: Langsames Anfahren und bequemes Durchschalten (1 Hebel) – Geringes Unfallrisiko, besonders auch bei der Zapfwelle – Geringer Kontroll- und Wartungsaufwand, gute Übersicht über die Getriebestufung
<p>4. Zapfwellen</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zweifach-Motorzapfwelle nach ISO-Norm (Normdrehzahl 540 und 1000 min^{-1}) bis ca. 100 kW, möglichst umschaltbar – Motor-Referenzdrehzahl der 540er ca. 90 % Nennndrehzahl, für die 1000er 95–100 % Nennndrehzahl – Gelenkwellen sollen leicht aufsteckbar sein, Stummelhöhe nicht zu knapp an oberer Toleranzgrenze – Praktische Leistungsgrenzen der Zapfwellen höher als Norm
<p>5. Wirkungsgrad (Eingangswelle bis Radnaben)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Im Hauptarbeitsbereich (4–12 km/h) betriebswarm bei Vollast 85–90 % – bei höheren Fahrgeschwindigkeiten, kalter Witterung und Teillast möglichst wenig abfallend
<p>6. Zuverlässigkeit, Reparatur, Wartung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Lebensdauer bei Beanspruchung entsprechend der “Intensivnutzungsphase“ [12] ca. 6000–10000 h (steigend mit der Leistung), bei großen Maschinen möglichst ohne Getriebeöffnung – Verschleißteile möglichst von außen ersetzbar – Möglichst wenig Spezialwerkzeug und Vorkenntnisse – Geringer Wartungsaufwand
<p>7. Verschiedene Rahmenbedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wettbewerbsfähige Herstellkosten – Flexibles Konzept bezüglich folgender Hauptkriterien: Verschiedene Märkte, verschiedene Schlepperleistungen (Familie), verschiedene angrenzende Baugruppen, Änderungen in den Marktforderungen – Konzept der Fertigung, insbesondere Gußteile und Montage – Geringes Gewicht – ausreichende Bodenfreiheit – Vorschriften und Normen

Tafel 1. Grundanforderungen an europäische Schleppergetriebe.

3. Ausgeführte neuere Schleppergetriebe

3.1 Vorbemerkungen

Die Art der Darstellung mit einheitlichen Sinnbildern entspricht unverändert der vor 16 Jahren vorgeschlagenen Form [5]. Das Beiwerk wurde fortentwickelt z.B. durch Stufungspläne anstelle von Energieflußdiagrammen oder durch international besser verständliche Gruppenbezeichnungen: LL–L–M–H anstelle von früher K–L–Z–S (LL Kriechgänge – L langsame Gruppe – M mittlere Gruppe – H schnelle Gruppe).

Die nachfolgend besprochenen Konzepte werden in zwei Gruppen eingeteilt: Ohne und mit unter Last schaltbaren Stufen. Bemerkenswert ist die in Europa nach wie vor geringe Bedeutung der Lastschaltung – insbesondere beim Vergleich mit Nordamerika.

3.2 Stufengetriebe mit formschlüssigen Schaltstellen

Vier Getriebe seien in der Reihenfolge der zeitlichen Markteinführung besprochen: Konzepte von Fiat, Deutz-Fahr, Fendt und Daimler-Benz. Alle Getriebe werden in stückzahlstarken Modellen benutzt. Überall werden in bedeutendem Umfang synchronisierte Schaltstellen eingesetzt, die man zu hoher Reife entwickelte.

3.2.1 Fiat-Getriebe für Schlepperbaureihe “80”

Das in **Bild 1** gezeigte Konzept wurde im Prinzip (in einer einfachen Ausführung) 1975 vorgestellt und in die damals neuen Modelle 780 und 880 eingebaut (57 bzw. 65 kW Nennleistung). Der Verfasser besprach das Getriebe in [9] mit einer kritischen Anmerkung zu den anfangs nur 8 Standardvorwärtsgängen (12 Vorwärtsgänge nur einschließlich der wahlweisen vier Kriechgänge). Das Getriebe wurde überarbeitet und 1977 mit dann 12 Vorwärts- und 3 Rückwärtsgängen im Standardumfang eingeführt, Bild 1. Mit den wahlweisen Kriechgängen ergeben sich 16/4 Stufen. Die vier Grundgänge lieferte man beim Modell 880 seit 1977 vollsynchronisiert – bei den kleineren Typen 580, 680 und 780 erst ab 1982. Zwischenzeitlich führte man 1980 eine Kegeltriebvariante für 30 km/h Endgeschwindigkeit ein. 1983 baut man die Getriebefamilie in die Schlepper 580, 680, 780, 880 und 980 (43 bis 72 kW Nennleistung) ein – beim 480 aus Kostengründen mit vereinfachtem Umfang (8/2 Stufen).

Das Fiat-Getriebe wird über eine klassische Doppelkupplung angetrieben: Die erste Scheibe dient der Zweifachzapfwelle mit automatischer Drehzahlwahl über eine vom Anflanschstummel zwangsläufig betätigte Schaltvorrichtung; die zweite Scheibe betrifft den Fahrantrieb mit vier vorn liegenden synchronisierten Grundgängen nebst einem Rücklauf als Schieberad – weniger günstig für das Frontladen. Als gewisse Besonderheit kann das nachgeordnete klauengeschaltete Planetengetriebe zur Wahl der vier Vorwärtsgruppen (LL), L, M, H gelten (bei Fiat mit L, I, II, III bezeichnet). Ein schaltbares Planetengetriebe war schon früher in großen Stückzahlen bei Massey Ferguson angewendet worden [5], allerdings mit nur einem Planetenradsatz für zwei Gruppen. Demgegenüber setzt Fiat hier mehrere im Durchmesser gleichgroße Einheiten ein mit jeweiligem Antrieb am Sonnenrad und Abtrieb am Steg bei festem Hohlrad. Der für das Modell 780 dargestellte Geschwindigkeitsplan ist einerseits sehr übersichtlich und damit benutzerfreundlich – andererseits weist der Hauptarbeitsbereich (4...12 km/h) aber nur 4 Vorwärtsgänge und nur einen Rücklauf auf, und bei schweren Transporten wird ein Anfahren und Hochschalten durch den notwendigen Gruppenwechsel M – H etwas erschwert. Positiv ist die Schaltung mit nur 2 Hebeln, selbst bei Einbau des wahlweisen Kriechgangbereichs LL.

Das benutzte Konstruktionsprinzip des Gruppenwahlgetriebes führt zu einer sehr kompakten und vermutlich kostengünstigen Einheit mit Baukastenvorteilen. Nachteilig ist einerseits die fehlende Rücklaufgruppe – andererseits die weniger gute Eignung für den Ausbau auf eine synchronisierte Schaltung infolge der speziellen Einbaubedingungen und des großen Gruppensprungs von 2,9. Wollte man die Gangstufung weiter verfeinern und die Gruppen dichter zusammenschieben, müßten die ohnehin schon jetzt sehr großen Sonnenräder nochmals im Durchmesser wachsen – hier erkennt man die begrenzenden Wirkungen der “Untersetzungs-lücke 2 : 1” dieses Planetengetriebetyps (bereits ein Gruppensprung von 2,67 würde ein gegenüber dem Planetenrad dreimal so großes Sonnenrad ergeben).

Die Hinterachse weist ein für diese Leistungsklasse großzügiges Konzept auf: Sie arbeitet mit Planetenuntersetzungen und weitgehend verschleißfreien “nassen” Scheibenbremsen (im Ölbad lau-

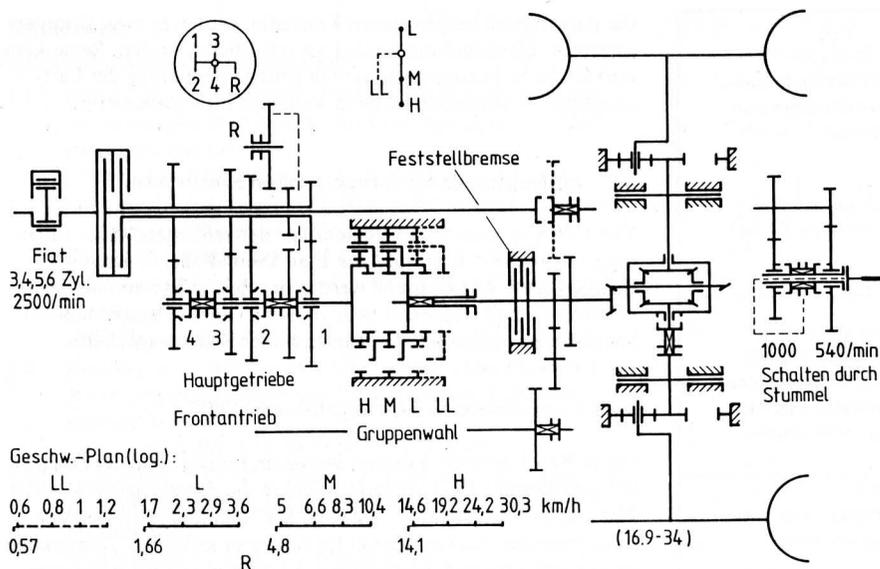


Bild 1. Stufengetriebe 12/3 (16/4), Bauart Fiat für Schlepperbaureihe "80", in dieser Form 1977 vorgestellt. Der Vorläufer – 1975 vorgestellt in den Schleppern 780 und 880 – hatte eine Gruppe weniger [9]. Einbau 1983 in die Modelle 580, 680, 780, 880 und 980 (43/50/57/65/72 kW), beim 480 (37 kW) mit 8/4 Stufen. Dargestellte Geschwindigkeiten für Typ 680.

fend), die allerdings auch gelüftet mit einem gewissen Restmoment behaftet sind – im Gegensatz zu trockenen Bauarten. Die Hilfs- und Feststellbremse hat man auf die Kegelritzelwelle gesetzt, von der auch der zentrale Allradantrieb und die auf Wunsch lieferbare Wegzapfwelle abgenommen werden. Die Motorzapfwelle liegt günstig: 1000 min^{-1} werden bei 96 % der Motornendrehzahl und 540 min^{-1} bei 89 % des Referenzwertes erreicht (Typ 780). Kurz vor Drucklegung dieser Arbeit teilt Fiat mit, daß man das beschriebene Getriebe durch eine Weiterentwicklung ablösen wird, die vor allem ein verbessertes Gruppenkonzept mit Verdichtung der Stufung im Hauptarbeitsbereich haben soll – ab DLG-Ausstellung 1984.

3.2.2 Deutz-Fahr-Getriebe TW 900 für DX-Traktoren

Anfang 1978 brachte die Klöckner-Humboldt-Deutz AG die neugestaltete DX-Reihe mit fünf Typen heraus, von denen die drei unteren Modelle DX 85, DX 90 und DX 110 (Nennleistung 59, 65 und 75 kW) mit dem neuen Deutz-Getriebe TW 90 ausgestattet wurden. Die schon früher dargestellte Konzeption [10] arbeitet mit vier (bzw. für 30 km/h mit fünf) vorliegenden Grundgängen, mit drei Standard-Vorwärtsgruppen, einer Rückwärtsgruppe und einer wahlweisen Kriechganggruppe. Die Besonderheiten bestanden in folgenden Punkten: Synchronisierung aller Grundgänge sowie auch der für das Frontlader benutzten Vorwärts- und Rückwärtsgruppe, keinerlei Schieberadschaltung, Verdichtung der Stufung im Hauptarbeitsbereich, nur zwei seitliche Hebel auch bei maximaler Gangzahl (20/5), kostengünstige Kriechganggruppe, Schrägverzahnung, hoher Wirkungsgrad des Fahrtriebs, Zweistummel-Zapfwelle (Doppelkupplung). Etwas umstritten war während der Entwicklung der Stirnrad-Endantrieb. Er führte gegenüber einem Planetengetriebe zu vermehrtem Gehäuseaufwand. KHD hatte jedoch mit Stirnrad-Endantrieben viel Erfahrung, und sie boten den Vorteil des Außenanbaus der aus dem Automobilbau verfügbaren trockenen Teilscheibenbremsen auf der schnellen Vorgelegewelle. Ferner ergab sich für die Differentialsperre eine Position, welche im Gegensatz zu sonst üblichen Anordnungen theoretisch eine 50 : 50-Aufteilung an den Stirnrädern erzwingt, weil die "Waagwirkung" des Differentials intern erhalten bleibt. Dadurch wird das Lastkollektiv jedes Stirnradpaares abgeschwächt – ein kaum bekannter Effekt.

Seit Anfang 1979 wurde das Getriebe TW 90 auch in die Steyr-Schlepper 8100 (62,5 kW) und 8120 (73,5 kW) eingebaut (Steyr lieferte dafür das sogenannte TW 1200 [10] für die 1978 vorgestellten Maschinen DX 140 und DX 160). Man entwickelte das Ge-

triebe TW 90 in Stufen weiter fort. Infolge der genauer berücksichtigten Leistungsaufnahmen der Nebenverbraucher sowie konstruktiver Verfeinerungen konnte die Motorleistung 1980 im neuen Typ DX 120 auf 81 kW gesteigert werden. Der ebenfalls in diesem Jahr vorgestellte DX 145 (97 kW) erhielt eine im Drehzahlniveau angehobene TW 90-Variante (3. und 4. Gang vertauscht, zusätzlicher Planeten-Endantrieb mit 5 Planeten).

Das vorhersehbare Hochwandern der am häufigsten verkauften Schlepperleistungen auf etwa 50 bis 65 kW führte in Verbindung mit einigen neuen Marktforderungen zur Ablösung der Typen DX 85 und DX 90 Ende 1982 durch eine weitgehend neu gestaltete "kleine DX-Baureihe" DX 80, DX 86 und DX 92 mit Vierzylindermotoren (55, 60 und 66 kW), für die auch das Getriebe erheblich überarbeitet wurde, Bild 2.

Die disponierbare Anzahl der Grundgänge wurde für das Getriebe "TW 900" im gleichen Gehäuse auf 6 erweitert, um zusätzlich zu 25 oder 30 km/h auch 40 km/h Höchstgeschwindigkeit darzustellen. Der 6. Gang ist in allen Gruppen benutzbar. Im Interesse noch besserer Handhabung synchronisierte man alle Standardgruppen. Die Gesamtstufung wurde weiter verfeinert; für deren volle Nutzung sind allerdings teilweise 2-Hebel-Schaltungen notwendig, und auch die Übersichtlichkeit des Geschwindigkeitsplans stößt an Grenzen – beides Folgen der aus dem ursprünglichen 4 x 3-Konzept fortentwickelten 5 x 3 bzw. 6 x 3-Getriebe.

Konstruktiv bemerkenswert ist der relativ geringe Zahnradumfang der 6 x 3-Variante (Beurteilungsmaßstab siehe [8]), erreicht durch die Radverkettungen in den Ebenen der Gänge 2, 5 und 6 – ein Vorteil der Dreiwellenanordnung. Auch beim Allradantrieb konnte der Aufwand reduziert werden durch Umstellung auf Zentralantrieb mit Vorteilen für das Gesamtfahrzeug (leichter, Platz für Tank). Allgemeine Praxiserfahrungen und Prüfstandläufe mit Synchronisierungen zeigten, daß der Verschleiß besonders wirksam durch einen kühlenden Ölstrom herabzusetzen ist – daher wurde ein entsprechendes Ölversorgungssystem vorgesehen (auch andere Hersteller gehen diesen Weg). Die ursprüngliche Zweistummel-Zapfwelle fand im Export Zustimmung – im Inland bevorzugt man eher ein umschaltbares Einstummel-Konzept. Dieses wurde daher zusätzlich in den Baukasten aufgenommen.

Ende 1983 übernahm man die neuen Getriebefunktionen auch für die größeren DX-Modelle. Die Getriebefamilie TW 900 wird seit Ende 1983 in die umbenannten DX-Schlepper DX 4.30 (55 kW), DX 4.50 (60 kW), DX 4.70 (66 kW), DX 6.10 (74 kW), DX 6.30 (85 kW) und DX 6.50 (101 kW) sowie in die Steyr-Schlepper 8100 (62,5 kW) und 8120 (73,5 kW) eingebaut.

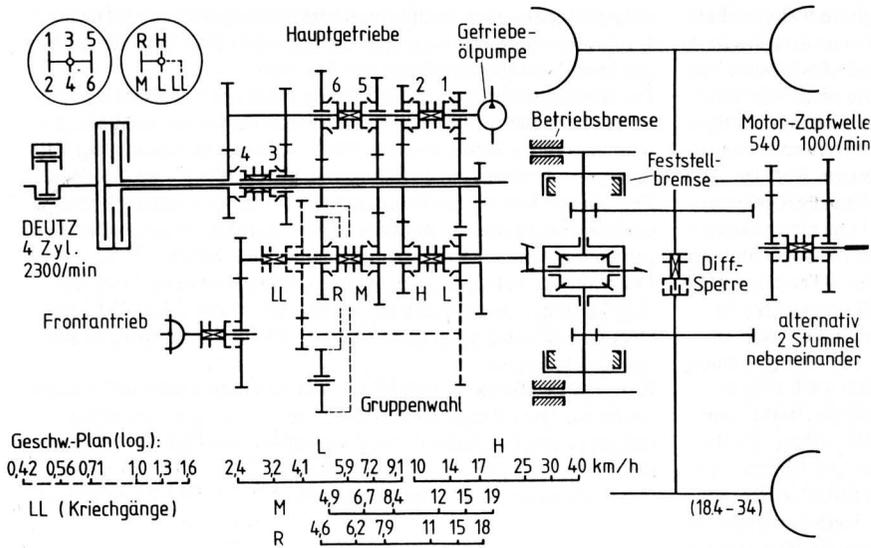


Bild 2. Stufengetriebe 15/5 bzw. 18/6 (24/6), Bauart Deutz-Fahr "TW 900" für Schlepper der DX-Baureihe, in dieser Form 1982 vorgestellt mit den Vierzylindermodellen DX 80, DX 86 und DX 92 (55/60/66 kW) – Ende 1983 mit Anpassungen übernommen für die 6-Zylinder-Modelle DX 6.10, DX 6.30 und DX 6.50 (74/85/101 kW). Dargestellte Geschwindigkeiten für Typ DX 86. Vorläufer "TW 90" 1978 vorgestellt mit 12/4 (15/5, 20/5) Stufen [10].

3.2.3 Fendt-Getriebe für Schlepperbaureihe "Farmer 300 LS"

Ein ebenfalls typisch europäisch ausgerichtetes Getriebe mit neuen Funktionen wurde 1980 von Fendt in den vier neugestalteten Vierzylinderschleppern 305 LS, 306 LS, 308 LS und 309 LS (46, 52, 57 und 63 kW) vorgestellt, **Bild 3**. Das Konzept basiert auf dem bekannten und bisher in etwa 100 000 Einheiten (seit 1966) produzierten "Farmergetriebe" [5, 9], wobei man die Grenzleistung nochmals steigerte (von 55 auf 63 kW).

Die bedeutendste Funktionsverbesserung besteht nach Auffassung vieler Praktiker in der Einführung von 40 km/h-Varianten für die Standardschlepper-Mittelklasse (für einige andere Schleppergattungen gab es diese Schnellläufer schon vorher). Bei niedriger Transportgeschwindigkeit läßt sich ferner durch verringerte Motordrehzahl Kraftstoff sparen.

Bei allen vier Typen treibt ein Vierzylinder-Dieselmotor (beim 309 LS aufgeladen) über eine Strömungskupplung sowohl das Fahrgetriebe als auch die Zapfwelle an. Beim Fahrtrieb ermöglicht die Strömungskupplung ein schonendes Anfahren durch Drehzahlsteigerung – bei der Zapfwelle besteht nach neueren Untersuchungen von *H. Meiners* [13] der Nutzen vor allem in der erheblichen Dämpfung der Lastspitzen mit entsprechender Abschwächung des Drehmomentlastkollektivs. Nach eigenen Überlegungen kann dadurch eine etwas höhere Grenzleistung zugelassen werden, insbesondere für den konstruktiv kaum noch verbesserbaren (genormten) Zapfwellenstummel. Dieser Vorteil erscheint für die 540er Zapfwelle (Form 1) besonders wichtig.

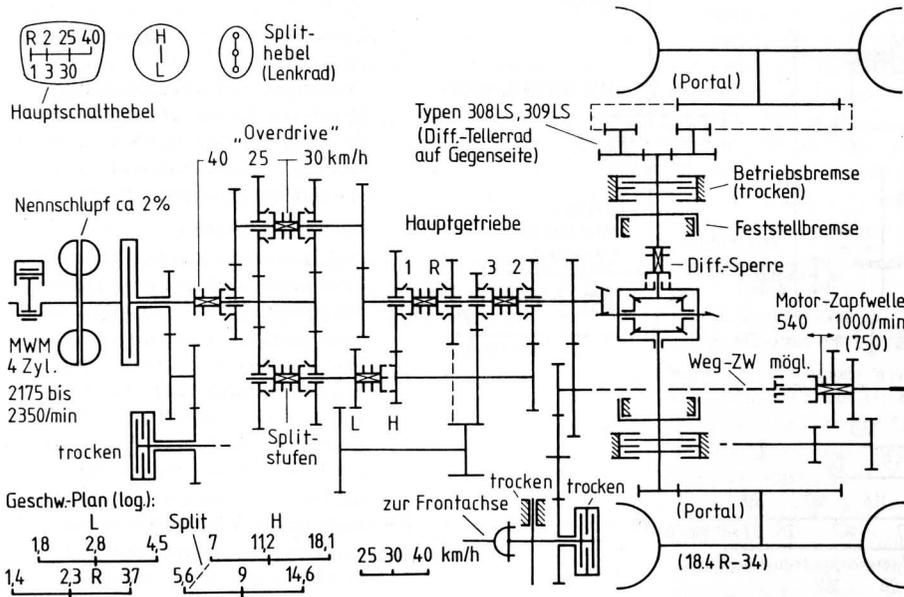


Bild 3. Stufengetriebe 14/4 bzw. 15/4, Bauart Fendt "Overdrive-Getriebe". Vorstellung 1980 für die Schlepper 305 LS, 306 LS, 308 LS und 309 LS (46/52/57/63 kW). 1982 Ausdehnung auf die Dreizylindermodelle 303 LS und 304 LS (38 bzw. 43 kW) mit Einführung der Dreifachzapfwelle. Getriebekonzept fortentwickelt aus dem sogenannten "Farmergetriebe" [5, 9]. Dargestellte Geschwindigkeiten für Typ 306 LS.

Beide Leistungsstränge werden zusätzlich durch trockene Kupplungen geschaltet. Auf die bisher vorhandene Reversiereinrichtung über die Zapfwellenkupplung verzichtete man zugunsten anderer Funktionen. Zusätzlich zu den üblichen zwei schaltbaren Zapfwelldrehzahlen 540 und 1000 min⁻¹ führte man eine alternativ lieferbare Kombination 540 zu 750 min⁻¹ ein. Die Zwischendrehzahl gestattet den Betrieb leichter 540er Zapfwellengeräte bei verminderter Motordrehzahl – dabei wird verbrauchsgünstiger und leiser gearbeitet; der Landwirt muß allerdings sorgfältig darauf achten, daß die getriebenen Geräte nicht versehentlich durch zu hohe Motordrehzahlen überdreht werden. Der mit der 750er Zapfwelle zunächst verbundene Verzicht auf die Drehzahl 1000 min⁻¹ wurde 1982 durch eine Weiterentwicklung auf max. drei Zapfwelldrehzahlen aufgehoben. Hier sei angemerkt, daß bei kleinen japanischen Standardtraktoren häufig sogar Konzepte mit vier Zapfwelldrehzahlen angewendet werden [14].

Das Schaltgetriebe des Fahrtriebes gliedert sich im wesentlichen in vier Baugruppen. Die "Grundstufen" bestehen aus drei Vorwärtstufen und dem Rücklauf, alle vier Schaltstellen sind wie beim Vorgängermodell sperrsynchronisiert ausgeführt. Eine erste "Grobaufrüherung" erreicht man durch zwei Gruppen sehr geringen Stufensprungs, die deshalb als "Splitstufen" bezeichnet werden sollen. In jeder der so entstandenen vier Ganggruppen steht ein Rücklauf zur Verfügung. Auf Wunsch sind – wie bisher – Kriechgänge lieferbar. Ganz neu konzipiert wurde die Baugruppe "Overdrive-Getriebe": Hier werden unter bewußter Umgehung der zuvor genannten Getriebebereiche drei schnelle, sperrsynchronisierte Transportgänge erzeugt. Die relativ geringe Anzahl von zwei Radeingriffen begünstigt den Getriebewirkungsgrad, der bekanntlich bei höheren Fahrgeschwindigkeiten im Trend abnimmt [15, 16]. Demgegenüber weisen der Zapfwellenstrang und der Frontantrieb noch relativ viele Eingriffe auf – ein weiterer, wenn auch kleiner Verlust entsteht durch die Strömungskupplung. Andererseits wirken sich die ausschließlich "trockenen" Reibungskupplungen und Bremsen wegen wegfallender Leerlaufverluste und Planschverluste energetisch positiv aus, insbesondere bei Transportarbeiten. Dem größeren Verschleiß begegnet man bei der Fahrkupplung durch die Wirkung der Strömungskupplung, bei der Zapfwellenkupplung durch leichte Austauschbarkeit (ohne Getriebedemontage).

Die Getriebebeschaltung erfolgt bei Normalausstattung durch drei Hebel – ein vierter kommt bei Kriechgangausführung hinzu. Die Schaltung bleibt trotzdem verhältnismäßig übersichtlich dadurch, daß sich die Gruppen H und L sowie der Overdrive-Bereich in den Geschwindigkeiten nicht überschneiden. Bei fast allen gängigen Straßentransporten gestattet das Getriebe sogar eine bequeme Einhebelhaltung: Bei vorgewählter H-Gruppe kann im ersten Grundgang relativ langsam angefahren und bis zur Höchstgeschwindigkeit durchgeschaltet werden. Bei sehr großen Anhängemassen und in bergigem Gelände wird vereinzelt die Splitgruppe auch beim Transport nötig.

Die Hinterachse führt man wie bei den Vorgängertypen in schräger Portalbauart aus, bei der bekanntlich die Radachse nicht nur nach

unten, sondern auch nach hinten versetzt angeordnet ist. Die leistungsverzweigte Enduntersetzung disponiert man jetzt für die bei den leistungsstärksten Typen der Baureihe.

Das Bremsenkonzept der Hinterachse wurde beibehalten, die Umstellung der Betriebsbremse von Trommelbauart auf trockene Vollscheibenbremse erfolgte schon 1970. 40 km/h-Maschinen mit Allradantrieb besitzen zur Erfüllung der Vorschriften eine trockene Teilscheibenbremse am Frontantrieb (bei Hinterradantrieb setzt man Trommelbremsen direkt an den Fronträdem ein – die Stückzahlen dafür sind aber erwartungsgemäß sehr klein).

Der bisherige Erfolg des Getriebes ist bemerkenswert. Trotz des nicht geringen Aufwands weitete man die Bauart daher 1982 auf zwei Dreizylindertypen (303 LS und 304 LS mit 38 bzw. 43 kW Nennleistung) aus.

Kurz vor Drucklegung teilt Fendt mit, daß man das behandelte Getriebe zur DLG-Ausstellung 1984 in der Leistung weiter anhebte und mit einer Dreifachspaltung ausstattete. Es wird nun auch in die neuen Schlepper 310 LSA (68 kW) und 311 LSA (74 kW) sowie in die neue 300er Geräteträgerreihe (35/44/59 kW) eingebaut.

3.2.4 Daimler-Benz-Getriebe UG 2/30 für neue MB-trac-Baureihe

Auf der DLG-Ausstellung 1982 präsentierte die Daimler-Benz AG mit dem neuen Modell MB-trac 1000 (70 kW) auch ein erheblich überarbeitetes Getriebe mit einer interessanten Stufung und neuen Schalteinrichtungen, Bild 4.

Die Wellenanordnung sowie eine Reihe von Schaltstellen konnte vom Vorgängermodell übernommen werden, das im wesentlichen auf das Getriebe des Unimog 406 zurückgeht und vom Verfasser für den Stand 1967 (70 PS) in [5] beschrieben wurde. Die neue Konstruktion kann als gutes Beispiel für fortentwickelte Funktionen gelten, die man stufenweise ohne völlige Neueinrichtung der Gehäusebearbeitung erreichte. Etwas ungewöhnlich erscheint die Beibehaltung weitgehend geradzahnter Stirnräder. Wie vom Hersteller zu erfahren war, arbeitet man jedoch bereits an einer Umstellung auf Schrägverzahnung, um die Luftschallabstrahlung weiter zu reduzieren (der Körperschall ist durch elastische Aufhängung des Motor-Getriebe-Blocks schon heute gut gedämmt).

Über eine klassische Doppelkupplung wird der Fahrtrieb und die zweistufige schaltbare Zapfwelle (front- und heckseitig) angetrieben, Betätigung bei der Zapfwelle pneumatisch – beim Fahrtrieb hydrostatisch (beides selbstnachstellend).

Das Schaltgetriebe kann in zwei Hauptbaugruppen unterteilt werden: Ein Vorschaltgetriebe mit Splitstufe (Stufensprung ca. 1,28), in das wahlweise eine Kriechganggruppe eingebaut werden kann; dahinter zwei Vorwärtstgruppen L und H sowie eine zu L korrespondierende R-Gruppe (L und H bei Daimler-Benz mit I und II bezeichnet). Ganz hinten liegen die vier Grundgänge. Alle zugehörigen Schaltstellen (bis auf die Kriechganggruppe) sind sperrsynchronisiert, wobei man abweichend von der im Schlepperbau üblichen Praxis mit sogenannten "Außenkonussynchronisierungen" arbeitet (Reibungskegelflächen weit außen an der Schaltmuffe).

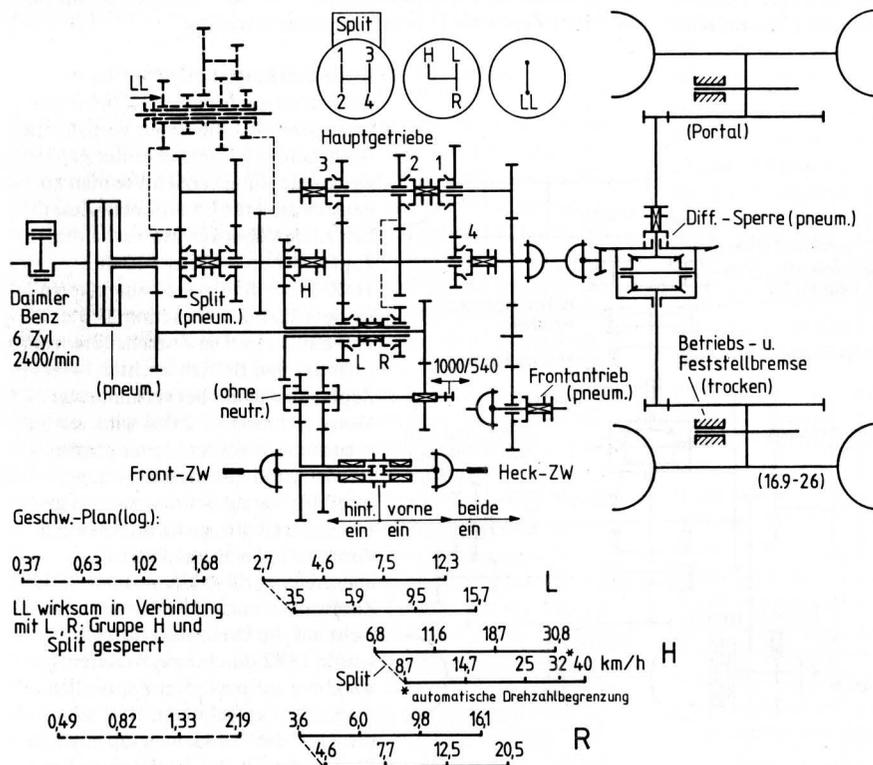


Bild 4. Stufengetriebe 16/8 (20/12), Bauart Daimler-Benz "UG 2/30". Vorstellung 1982 für MB-trac 1000 (70 kW), 1983 übernommen in die Vierzylindermodelle 700, 800 und turbo 900 (48/55/63 kW). Dargestellte Geschwindigkeiten für MB-trac 1000, "normale" Achsübersetzung.

Das Prinzip der Außenkonusynchronisierung wurde aus dem haus-eigenen PKW-Bereich übernommen und die Bauelemente durch entsprechende Durchmesser- und Werkstoffänderungen dem UG 2/30 angepaßt. Die Möglichkeit, Schaltungen mit pneumatischer Hilfskraft durchzuführen, wird seit vielen Jahren mit Erfolg in den Unimog-Fahrzeugen angewandt. Von dort wurde sie in die DB-Ackerschlepper-Baureihe übernommen, wo neben der Zapfwellenkupplung auch die Splitstufe, der Allradantrieb und die Differentialsperren pneumatisch betätigt werden; die Druckluftanlage gehört zur Normalausrüstung.

Die Umsteuerung der Splitstufe wird durch einen Schalter am Haupthebel vorgewählt und bei Kupplungsbetätigung automatisch ausgeführt (Iststellung an der Instrumententafel angezeigt). Die physikalischen Eigenschaften der Luft in Verbindung mit dem Verhalten sperrsynchronisierter Schaltstellen ermöglichen gutes Schaltverhalten mit vergleichsweise geringem Aufwand (besonders im Vergleich mit Zweistufenlastschaltungen). Bei Standardschleppern wird allerdings eine Entwicklung in dieser Richtung derzeit noch durch die hohen Basiskosten der nicht allgemein üblichen Druckluftanlage gebremst – vielleicht wäre aber eine vereinfachte und wesentlich verkleinerte Druckluftanlage wirtschaftlich – bei Komfortsitzen wird dieser Weg mit kleinen, elektrisch betriebenen Kompressoren versucht.

Der beschriebene Aufbau des Schaltgetriebes spiegelt sich auch im Geschwindigkeitsplan wider.

Man wählt eine der beiden Gruppen L und H vor und kann nun innerhalb dieser Bereiche 8 Geschwindigkeiten mit einem Hebel schalten. Die Gruppe H erlaubt für den Transport ein bequemes Anfahren mit ausreichend niedriger Geschwindigkeit und ein Durchschalten bis auf Höchstgeschwindigkeit – wiederum mit nur einem Hebel.

Da die unteren Gänge der Transportgruppe (besonders der 1. Gang) auch für Ackerarbeiten passen und sich in die Geschwindigkeiten der langsamen Gruppe gut einfügen, ist die Überdeckung der Gruppen im Sinne einer Stufungsverdichtung im Hauptarbeitsbereich nützlich. Die Rückwärtsgruppe deckt alle wichtigen Anwendungen ab (einschließlich Dauerrückfahrt) und ist der Gruppe L für Front-laden vorteilhaft zugeordnet. Auch die wahlweisen vier Vorwärts-kriechgänge liegen anwendungstechnisch günstig. Der Endantrieb ist sowohl vom Prinzip wie auch von der Baugröße her bei Vorder- und Hinterachse identisch; er arbeitet mit sperrbaren Differentialgetrieben, äußeren Portal-Stirnraduntersetzungen und trockenen Festsattelbremsen (zwei Festsattelbremsen je Vorderrad, eine Festsattelbremse mit Feststelleinrichtung je Hinterrad), deren hydrostatische Betätigung durch Druckluft unterstützt wird. Nach Abschätzungen des Verfassers ist trotz gleichgroßer Reifen und statischer Frontlastigkeit (ohne Gerät) in der Praxis an der Hinterachse ein gegenüber der Frontachse schärferes Lastkollektiv zu erwarten. Offensichtlich verzichtete man hier auf eine (leichter bauende) Differenzierung zugunsten von Baukastenvorteilen.

Das 1982 im MB-trac 1000 vorgestellte Getriebe wurde 1983 in die Typen 700, 800 und turbo 900 übernommen – beim 700 aus Kostengründen mit etwas reduziertem Funktionsumfang (z.B. 8. Gang gesperrt, Trommelbremsen).

3.3 Stufengetriebe mit unter Last schaltbaren Gängen

3.3.1 Vorbemerkungen zur Gesamtentwicklung

Schleppergetriebe mit "Lastschaltung" werden seit der berühmten Einführung des "Torque Amplifier" 1954 durch die Firma International Harvester (IH) [5] vor allem in den USA in großen Stückzahlen hergestellt. In Europa haben sie sich demgegenüber in den unteren und mittleren (stückzahlstarken) Leistungsklassen nicht durchgesetzt: Fiat, Massey Ferguson und IH haben hier sogar die Serienfertigung wieder aufgegeben; mehrere Hersteller entwickel-

ten Getriebe dieser Art, führten sie dann aber (oft in letzter Minute) doch nicht ein. Lediglich John Deere produziert in Deutschland mit Erfolg Getriebe mit Lastschaltung, die jedoch zu einem sehr hohen Anteil exportiert werden. Sowohl Getriebefachleute wie auch Landwirte stimmen nun weitgehend darin überein, daß unter Last schaltbare Getriebestufen meßbaren Nutzen bringen, insbesondere in hängigem Gelände bzw. auf stark inhomogenen Böden sowie bei Zapfwellenarbeiten. Warum wurden sie trotz 30jähriger Erfahrung bei uns immer noch nicht allgemein eingeführt? Nach Ansicht des Verfassers bremsen folgende Gesichtspunkte eine generelle Anwendung in Mitteleuropa:

1. Erhebliche Mehrkosten gegenüber synchronisierten Schaltstellen
2. Beeinträchtigung der Schaltbarkeit nachgeordneter Gänge und Gruppen – oder dort weitere Mehrkosten (z.B. zur Vergrößerung und höherwertigen Ausführung synchronisierter Schaltstellen oder auch zur Verlagerung der Hauptkupplung hinter die Lastschaltung)
3. Getriebebaukasten benötigt größere Spannweite und Teilezahl, weil auch einfache Ausführungen ohne Lastschaltung darstellbar sein müssen
4. Wartung und Reparatur etwas anspruchsvoller
5. Erhöhte Getriebeverluste.

Je größer die Anzahl der unter Last schaltbaren Stufen, desto bedeutender werden auch die vorgenannten Kriterien. Dieses gilt ganz besonders für die Mehrkosten, die Teilezahl und die Verluste. Letztere kann man beispielsweise bei einer gut konstruierten Zweifachlastschaltung noch fast vernachlässigen. Dagegen haben Mehrkosten und Teilezahl auch hier schon ein bedeutendes Gewicht. Die relativen Herstellkosten von Lastschaltungen gehen mit steigender Nennleistung etwas zurück. Dieses mag einer derjenigen Gründe sein, die zu mehr als zwei Lastschaltstufen bei überwiegend sehr großen Maschinen führten. So wurde eine ganze Reihe von Getrieben mit Dreifachlastschaltung entwickelt – beispielsweise von den Firmen Oliver (1968) [7], Case (1969) [7], Allis-Chalmers (ca. 1975) [17], Massey-Ferguson (1976) und ZF (1978) [18]. Diese Getriebe entwickeln ihre Vorteile vor allem auf dem Acker, weil die feinstufige Dreifachlastschaltung die Geschwindigkeitsbandbreite einer bestimmten Arbeit (z.B. Pflügen) bei ausreichender Anzahl von "Gruppen" (bzw. Grundstufen) schon recht gut abdeckt. Für Straßenbetrieb, Leerfahrten u.ä. ist die genannte Bandbreite aber häufig zu schmal. Daher wurden weitere Getriebe mit größerer Anzahl unter Last schaltbarer Stufen entwickelt mit gleichzeitig weiter erhöhtem Schaltkomfort, beispielsweise mit 4 Stufen bei David Brown (1971) [7] – ähnlich (aber mit feinerer Stufung) bei dem Schlepper T-150 K aus der UdSSR [19, 20]. Ein Getriebe mit 6 Lastschaltstufen stellte Allis-Chalmers vor (1974) [21] – dabei gab es nur noch zwei herkömmlich geschaltete Vorwärtsgänge.

Durch alle Gänge unter Last schaltbare Getriebe wurden von Ford und J. Deere entwickelt und als Sonderausführung angeboten. Das Ford "Select-O-Speed"-Getriebe (1958) [5] mit 10 Vorwärtsgängen lief trotz erheblicher Stückzahlen später wieder aus. Das J. Deere "Power Shift" (1963) [5] mit 8 Vorwärtstufen wurde in etwa 250 000 Einheiten in große Maschinen (auch Knicklenker) über 75 kW eingebaut, die man vor allem in Großflächenmärkten absetzte. Ende 1982 stellte man ein Nachfolgegetriebe mit 15 feinstufigen lastschaltbaren Gängen vor.

Parallel zu diesen Entwicklungen versuchte man im Interesse niedriger Kosten, die Effizienz der Zweifachlastschaltung dadurch zu erhöhen, daß man die Betätigung von kraftschlüssigen und synchronisierten Schaltstellen in einem Hebel zusammenfaßte, so beispielsweise bei dem Getriebe "Quad Range" von J. Deere (1972) [7] und ebenfalls bei dem neuen "Synchro Tri-Six" von IH (1981).

Einige der neueren Konzepte mit unter Last schaltbaren Stufen werden nun im folgenden ausführlicher behandelt – die übrigen älteren Getriebe wurden überwiegend schon in früheren Aufsätzen des Verfassers besprochen.

3.3.2 John Deere-Getriebe "Power Synchron" für Mannheimer Baureihe 40

Ende 1979 präsentierte J. Deere mit der "Mannheimer Baureihe 40" eine Schlepperfamilie von 28 bis 71 kW Nennleistung, die eine erhebliche Überarbeitung der abgelösten Baureihe 30 darstellt mit einem besonderen Schwerpunkt beim Schaltgetriebe, das man unter Beibehaltung des Gehäusekonzeptes innen vollständig neu gestaltete, Bild 5 [22]. Die mit einer Zweifachlastschaltung arbeitende Variante "Power Synchron" mit 16 Vorwärts- und 8 Rückwärtsgängen bot man für 7 der insgesamt 9 Modelle ab 37 kW wahlweise an – eine einfachere Standardausführung verzichtete aus Kostengründen auf die Lastschaltung.

Dem Prinzip der sogenannten "Hi-Lo-Lastschaltung" gab man offensichtlich wegen der hohen Exportquote nach Nordamerika und ähnlichen Märkten eine hohe Priorität. Gleichzeitig sollte das Getriebe aber auch für Europa geeignet sein, d.h. eine gute synchronisierte Schaltung möglichst aller übrigen Stufen bieten.

Der Motor treibt über die Fahrkupplung zunächst die "Hi-Lo-Lastschaltung" an, unmittelbar danach folgt im Leistungsfluß das Hauptgetriebe mit vier synchronisierten Grundgängen. Die Gruppen H, R, L sind mit Klauenschaltung nachgeordnet. Die trotz Lastschaltung sehr bequeme Handhabung der synchronisierten Grundgänge beruht vor allem darauf, daß alle vier Synchronschaltstellen auf der Getriebeeingangswelle liegen – dadurch bleibt die für die Auslegung maßgebliche Summe der Massenträgheitsmomente bis zur Fahrkupplungsscheibe trotz Planetengetriebe in einer beherrschbaren Größenordnung.

Nach einem bekannten Prinzip [10] gestaltete man die Lastschaltung nun auch "anschleppfreundlich". Bei stehendem Motor (und abgefallenem Steueröldruck) ist die Lo-Stufe automatisch durch Federkraft eingerückt. Dadurch kann das Fahrzeug auch durch Gangeinlegen sicher abgestellt werden.

Der Getriebebaukasten enthält ferner eine auf Wunsch lieferbare Kriechganggruppe, welche allerdings im Bauraum der Lastschaltung untergebracht wird und daher diese dann ausschließt. Eine 40 km/h-Ausführung wurde noch nicht vorgesehen. Dafür hat man den Frontantrieb erheblich verbessert, der nun einheitlich für alle Modelle ab 1040 mechanisch von der Kegelritzelwelle ausgeht. Die Vorläufer hatten bekanntlich teilweise hydrostatischen Frontantrieb [7] – teilweise eine mechanische Leistungsabnahme von der Hinterachse (1030 bis 2030). Die elegante elektrohydraulische Schaltung wurde beibehalten – ebenso das Hinterachskonzept mit nassen Einscheiben-Betriebsbremsen und Planeten-Endantrieben. Etwas ungewöhnlich, aber nicht uninteressant erscheint die Gestaltung der Hilfs- und Feststellbremse in nasser Keilbandbauform direkt am Differentialgehäuse.

Bei der Zapfwelle erweiterte man den Baukasten um eine umschaltbare Variante (mit festem Stummel), wie sie in Europa stark gefordert wird.

Die erreichte Getriebebestufung erfüllt verhältnismäßig gut die europäischen Anforderungen. In drei Gruppen L, H und R sind jeweils 8 Gänge verfügbar und bequem schaltbar. 1982 vereinigte man anlässlich der Einführung der neuen "SG2-Kabine" den Gangschaltbel mit der Betätigung der Lastschaltung, um die kombinierte Benutzung noch etwas zu verbessern und nur noch an zwei Stellen zu schalten.

Gewisse Kompromisse mußten für das Schalten beim Frontladen in Kauf genommen werden: Zwar liegen die korrespondierenden Gruppen R und L günstig in einer Schaltgasse, jedoch sind sie nicht synchronisiert ausgeführt, weil dafür an dieser Schaltstelle sehr ungünstige Randbedingungen vorliegen infolge der hohen Untersetzung der L-Gruppe, der Massenwirkung der Lastschaltung und der großen Drehzahländerungen des Vorwärts-Rückwärts-Betriebes. Auch ist das Geschwindigkeitsverhältnis von R zu L mit etwa 1,5 schon etwas groß. Der Gesamtwirkungsgrad des Fahrantriebes wird einerseits etwas durch die Lastschaltung und die nassen Bremsen beeinträchtigt – andererseits aber durch einen sehr günstigen Leistungsfluß im Hauptgetriebe und bei den Gruppen begünstigt: Hier kommen 5 von 8 Vorwärtstufen mit nur einem Zahneingriff aus.

Insgesamt ist bei diesem Getriebe ein bemerkenswerter Kompromiß gelungen: Die Lösung ist durch die Lastschaltung für Nordamerika (und ähnliche Märkte) sehr geeignet und entspricht trotzdem durch die gute Synchronisation der Grundgänge auch vielen europäischen Forderungen.

3.3.3 Getriebe T 6600 der Zahnradfabrik Friedrichshafen AG mit Dreifachlastschaltung für Großschlepper

Wie schon dargelegt, war in den USA bei großen Maschinen ein Trend zur Dreifachlastschaltung aufgekommen, der 1969 durch ein Konzept von Oliver eingeleitet worden war.

Die erste in Europa in Serie verwirklichte Konstruktion dieser Art wurde 1978 von ZF mit dem Getriebe T 6600 vorgestellt [18], Bild 6. Es besteht im wesentlichen aus Strömungskupplung, feinstufiger Dreifachlastschaltung (plus Rücklauf), Hauptkupplung, sechs Gruppen und Hinterachse.

Das Getriebe wurde zuerst (1978) in den Schlepper Deutz DX 230 (147 kW) eingebaut, ab 1979 bzw. 1980 verwendete man es in den Schlüter-Schleppern Super 2500 (177 kW) und Super 3000 (206 kW) sowie ab 1980 in den Fendt-Schleppern 622 LS (155 kW) und 626 LS (185 kW). Bei Deutz steigerte man die Motorleistung 1982 auf 162 kW. Insgesamt blieben die Stückzahlen wegen der

großen Leistungen klein: In Europa ist der Stückzahlbedarf dieser Leistungsklasse recht gering und der Export in Großflächenmärkte (z.B. USA) kam wegen der dort sehr harten Konkurrenz bisher nicht recht zum Zuge.

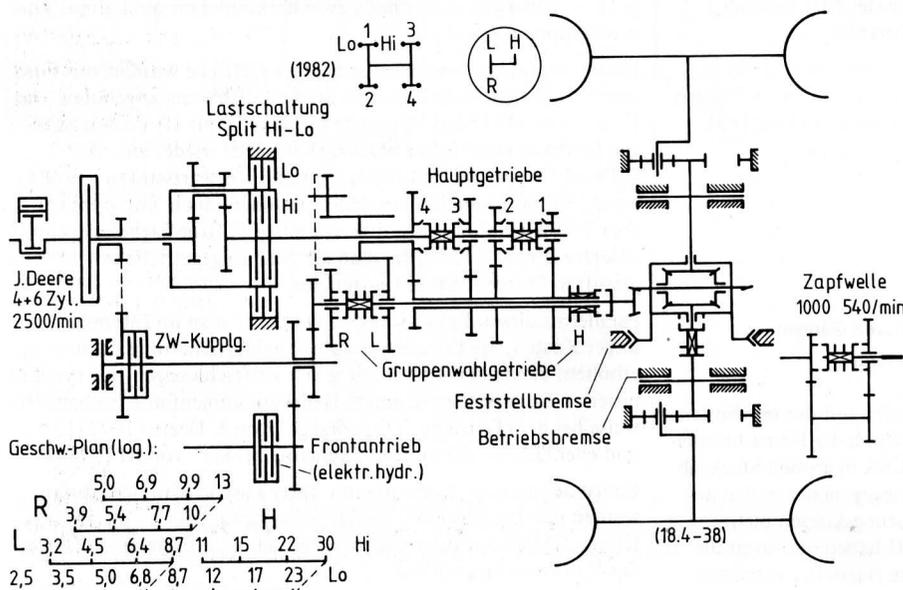


Bild 5. Stufengetriebe 16/8 mit Zweifachlastschaltung, Bauart John Deere "Power Synchron", Vorstellung Ende 1979 mit der "Mannheimer Baureihe 40" (28–71 kW). Neben dem "Power Synchron" enthält der Baukasten auch eine einfache 8/4-Ausführung, wahlweise mit Kriechgängen im Bauraum der Lastschaltung (12/4). Dargestellte Geschwindigkeiten für Typ 3140.

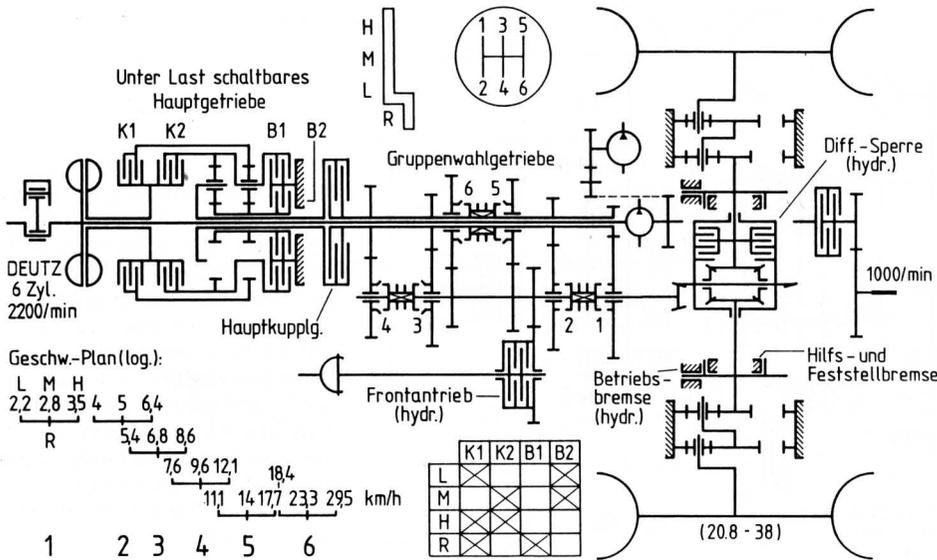


Bild 6. Stufengetriebe 18/6 mit Dreifachlastschaltung, Bauart ZF "T 6600 Powersplit", Vorstellung 1978 im Schlepper Deutz DX 230 (147 kW), ab 1979 bzw. 1980 auch im Schlüter Super 2500 (177 kW) bzw. Super 3000 (206 kW), ab 1980 im Fendt 622 LS (155 kW) und 626 LS (185 kW). Dargestellte Geschwindigkeiten für Deutz DX 230, Stand 1978. Einbau bisher in vergleichsweise kleinen Stückzahlen.

Das Getriebe (Bild 6) stellt dennoch ein interessantes Konzept dar. Zwei Radsätze des einfachen Standardplanetengetriebes werden über je zwei nasse Kupplungen bzw. Bremsen in Lamellenbauart geschaltet. Erst danach folgt im Interesse guter Schaltbarkeit die nasse Hauptkupplung für die nachfolgenden sechs Grundstufen, vier davon synchronisiert. Das Prinzip der zentralen Hauptkupplung war zuerst von Bühler in Serie eingeführt worden [5], später benutzte man teilweise im Getriebebau der USA auch Lamellenkupplungen von Lastschaltstufen als Hauptkupplung, so beispielsweise bei der Zweifachlastschaltung "Power Director" von Allis Chalmers [23] bzw. zuvor auch bei den durch alle Gänge unter Last schaltbaren Getrieben Ford "Select-O-Speed" (1958) und John Deere "Power Shift" (1963) [5].

Der Geschwindigkeitsplan des ZF-Getriebes spiegelt die charakteristische Philosophie der Dreifachlastschaltung wider: Man wählt beispielsweise die Stufe 3 zum Pflügen bei 6,8 km/h Mittelgeschwindigkeit (hierauf sollte auch der Pflug eingestellt sein). Beim Bergauffahren oder beim Erreichen fester Bodenstellen kann auf 5,4 km/h zurückgeschaltet bzw. bergab oder bei leichten Bodenstellen die Geschwindigkeit auf 8,6 km/h Nennfahr Geschwindigkeit gesteigert werden. Der Stufensprung beträgt in beiden Richtungen 1,26 und verlangt daher einen Motor mit kräftigem Drehmomentanstieg. Durch Verdichtung der Stufung im Hauptarbeitsbereich gelang es, drei der sechs Grundstufen mit insgesamt neun Geschwindigkeiten für schwere Arbeiten auf dem Acker, d.h. vor allem für die Bodenbearbeitung, nutzen zu können. Die beiden oberen Grundstufen 5 und 6 dienen vorzugsweise dem Transport.

Der zentrale Allradantrieb geht mit nur einem Radpaar von der Kegelritzelwelle ab. Die Hinterachse arbeitet mit Doppelplanetengetrieben, um die hohen Übersetzungen und Belastungen zu bewältigen. Eine Besonderheit sind auch die trockenen Teilscheibenbremsen, die im Gegensatz zur sonst üblichen nassen Bauart keine Leerlaufverluste erzeugen. Der Nachteil des höheren Verschleißes wird durch einfaches Belägetauschen (Herausklappen des Sattels) abgeschwächt. Reparaturfreundlich gestaltete man auch die übrigen Baugruppen: Die Lastschalteinheit kann im ganzen ausgetauscht werden, die Kupplungen für Fahrtrieb, Frontantrieb und Zapfwelle sind sogar seitlich ohne Kabinendemontage austauschbar. Die hinten liegende Lamellenkupplung für die 1000er Zapfwelle (Form 3) gestattet einen seitlichen Anbau der Pumpe für die Arbeitshydraulik mit kurzen Leitungen zum Kraftheber.

3.3.4 Getriebe "Synchro Tri-Six" der International Harvester für große Schlepper der Baureihe 88

Ende 1981 wurde von der Firma International Harvester die neue obere Schlepperbaureihe "88" in den USA eingeführt mit den

Typen 5088, 5288 und 5488 (112, 130 und 151 kW Motor-Nennleistung). Sieben Jahre hatte das Projekt in Anspruch genommen und insgesamt über 200 Mio. Dollar gekostet [24]. 1982 wurden die Maschinen auf der DLG-Ausstellung präsentiert. Als Entwicklungsschwerpunkt kann das vollständig neue Getriebe "Synchro-Tri-Six" angesehen werden [25, 26], Bild 7. Der Antrieb erfolgt über aufgeladene 6-Zylinder-Dieselmotoren, beim größten Typ mit Ladeluftkühlung. Herausragende Merkmale des Getriebes sind die zentral angeordnete nasse Hauptkupplung in Lamellenbauart mit "Papierbelägen" sowie die verknüpfte Betätigung von 2 Lastschaltstufen und 3 Synchronstufen zu 6 feingestuften Grundgängen (Hauptgetriebe).

Drei synchronisierte Vorwärtsgruppen und eine klauengeschaltete Rückwärtsgruppe schließen sich unmittelbar hinter der Hauptkupplung an. Durch das Drei-Wellen-Getriebekonzept ließ sich der Rücklauf mit besonders geringem Aufwand darstellen. Die zentral angeordnete nasse Hauptkupplung soll die Schaltbarkeit der Synchronschaltstellen verbessern – ähnlich wie früher schon einmal von der schweizerischen Firma Bühler ausgeführt [5] und später auch von ZF in den Getrieben der Baureihe 6600 benutzt (siehe oben). Die verknüpfte Betätigung von Lastschaltstufen und synchronisierten Schaltstellen erinnert im Prinzip an das Getriebe "Quad Range" von J. Deere [7], jedoch kombinierte man dort nur zwei synchronisierte Stufen mit der ebenfalls zweistufigen Lastschaltung. Im vorliegenden Fall arbeitet die Schaltung des Hauptgetriebes wie folgt: Schaltung 1–2, 3–4 und 5–6 unter Last (Querrichtung am Hebel), Schaltung 2–3 und 4–5 synchronisiert.

Die Mehrfachbenutzung der an sich nur zweistufigen Lastschaltung erreicht man dadurch, daß jeweils beim synchronisierten Gangwechsel (Hauptkupplung betätigt) die Übersetzung im unter Last schaltbaren Teil automatisch lastfrei mit umgestellt wird. Dies geschieht konstruktiv sehr einfach durch die diagonalen Richtungen der Schaltkulis, die sich aus der Überlagerung von Längsbewegung (synchronisierte Schaltung) und Querbewegung (Umsteuerung der Lastschaltung) ergeben. Die Lastschaltung selbst arbeitet mit elektrohydraulischer Steuerung von Druckaufbau und Druckentlastung. Dieser Vorgang wird durch einen Mikrorechner koordiniert, der auch eine Reihe von Kontrollaufgaben im Getriebe wahrnimmt und ggf. Fehler am Armaturenbrett aufzeigt.

Die im Getriebeplan dargestellten Schaltrichtungen der synchronisierten Schaltstellen und der Rückwärtsgruppe entsprechen übrigens nicht den wirklichen Schaltgabelbewegungsrichtungen (eine genauere Wiedergabe der mit Lamellen arbeitenden Sperrsynchronisierungen würde die Übersicht beeinträchtigen). Bei jeder synchronisierten Schaltung werden beide Lamellenpakete der Lastschaltung offen gehalten zur Entlastung des Synchronisierungsvorganges. Der Geschwindigkeitsplan weist trotz getrennter Gruppenblöcke (ohne Überdeckung) eine recht feine Stufung auf mit

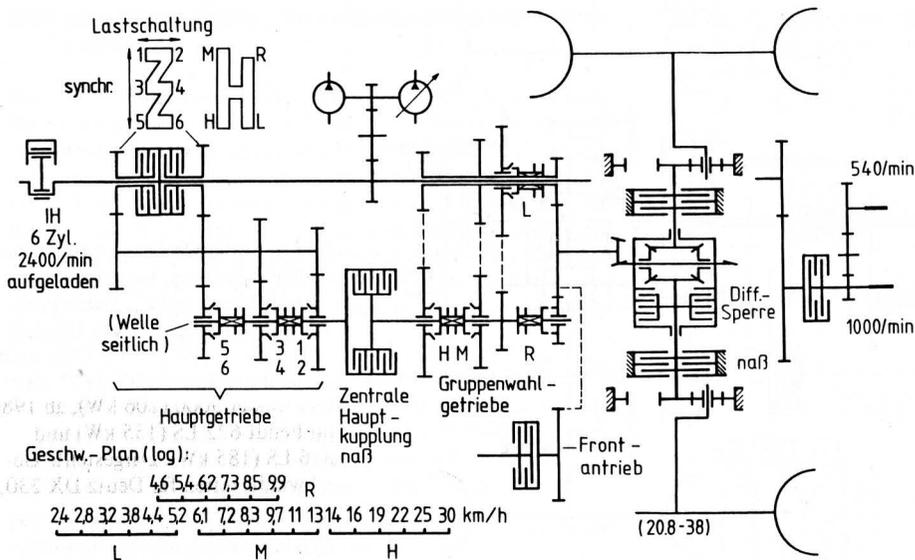


Bild 7. Stufengetriebe 18/6, Bauart IH "Synchro Tri-Six", Vorstellung USA Ende 1981 in der neuen oberen US-Baureihe "88" mit den Typen 5088, 5288 und 5488 (101/119/138 PTO-kW bzw. 112/130/151 kW Motornennleistung nach deutschen Angaben, DLG-Ausst. 1982). Im Hauptgetriebe zwei unter Last schaltbare und drei synchronisierte Stufen zu sechs Grundgängen kombiniert. Dargestellte Geschwindigkeiten für Typen 5288 und 5488.

Sprüngen um 1,16 (Lastschaltung 1,175; Diagonalschaltung 1,15 bzw. 1,16). Die Anfahrgeschwindigkeit der H-Gruppe liegt mit 14 km/h für schwere Transporte in Europa zu hoch – dieser Nachteil wird aber durch die synchronisierte Gruppenschaltung M–H abgeschwächt. Für Rückfahrbetrieb könnte ein noch etwas langsamerer erster R-Gang in Mitteleuropa nützlich sein.

An das Schaltgetriebe schließt sich die Hinterachse an in einer für die obere Leistungsklasse inzwischen weitgehend üblichen Bauweise: Differentialgetriebe mit hydraulisch betätigter Lamellensperre, nasse Vollscheibenbremse (mehrere Lamellen, "Papierbeläge") und einstufige Planetengetriebe (Übersetzungen 5,0 und 5,8 – relativ große Abmessungen).

Der Zapfwellenstrang wird im Bereich der Hinterachse geschaltet – dadurch ist das Anflanschen mehrerer ständig laufender Ölpumpen am Schaltgetriebe mit kurzen Rohrleitungen zum Kraftheber möglich. Der Typ 5088 wird mit einer Zweifachzapfwelle geliefert mit zwei Stummeln der genormten Form 1 und 2, während der 5288 mit nur einem Stummel Form 2 bzw. der 5488 mit Form 3 für 1 000 min⁻¹ arbeitet.

Die Zapfwellen-Nenn Drehzahlen 540 und 1 000 min⁻¹ werden bei Motornenn Drehzahl erreicht und weichen damit von der Normempfehlung "bei 80–90 % der Motornenn Drehzahl" ab. Derartige Zapfwellenauslegungen werden allgemein bei leistungsstarken Maschinen zunehmend gewählt. Der Hauptvorteil besteht in einer besseren Ausnutzung der Motorleistung für schwere Zapfwellengeräte.

Nachdem vor einigen Jahren nun auch in den USA die Vorteile des europäischen Allradkonzepts [27] zum Tragen kamen, wurde dieses neue Getriebe von vornherein mit einem integrierten Antrieb versehen, der kostengünstig über ein einziges Zahnrad von der Kegelritzelwelle ausgeht. Bei der konstruktiven Ausführung fallen ferner einige gezielte Maßnahmen zur Energieeinsparung auf, beispielsweise bei eintauchenden Zahnradern die Reduzierung von Planschverlusten durch eng anliegende Blechumschließungen im Eintauchbereich. Bemerkenswert ist auch die direkte Lagerung der Losräder auf den Wellen ohne Nadellager, wobei man allerdings eine sehr gezielte Schmierung einsetzt.

3.3.5 John Deere-Getriebe "15-Speed Power Shift" für große Schlepper der Baureihe 50

Ein bemerkenswertes Getriebe mit 15 durchgehend unter Last schaltbaren Vorwärtsgängen und vier ebenfalls kraftschlüssigen Rückwärtsgängen wurde 1982 von J. Deere vorgestellt [28, 29], **Bild 8.** Es wird in die ebenfalls 1982 präsentierten neuen Typen 4050, 4250, 4450, 4650 und 4850 eingebaut, die 74,6 bis 141,7 kW Zapfwellen-Nennleistung aufweisen. Der neue Getriebeaufbau ähnelt dem seit 1963 produzierten "Power Shift" (8 Vorwärtsgän-

ge), das früher vom Verfasser beschrieben wurde [5] und dessen Funktion hier daher vorausgesetzt wird.

Die größere Gangzahl des neuen Getriebes wurde im Prinzip durch Hinzufügen eines weiteren Planetenradsatzes (mit Bremse B1, Kupplung K3) erreicht – die restlichen Planetenradsätze wurden überarbeitet. Man blieb hier bei Geradverzahnung; die Geräuschentwicklung ist vermutlich wegen der herumgebauten Lamellenpakete und der relativ niedrigen Motordrehzahl kaum ein Problem. Das Getriebe erfüllt vorwärts recht konsequent die vom Verfasser in [10] quantifizierte Forderung nach einer "Stufungsverdichtung im Hauptarbeitsbereich von 4–12 km/h". Wie **Tafel 2** zeigt, betragen die Stufensprünge im Hauptarbeitsbereich um 1,15 – darüber und darunter bis etwa 1,4 ansteigend. Die Rückwärtsstufung ist demgegenüber etwas grob: Der Sprung zwischen R2 und R3 ist mit 1,52 vor allem für Dauerrückfahrt zu groß.

Die kleinen Vorwärts-Stufensprünge haben auch Vorteile für die Ausführung der in **Tafel 2** schematisch zusammengefaßten Getriebebesteuerung: Auf die sonst übliche Steuerautomatik der Schalldrücke beim Gangwechsel konnte man verzichten – sie ist nur noch in den oberen Transportgängen vorhanden bzw. wird wirksam beim Überspringen von Gängen.

Die gesamte Getriebebesteuerung erfolgt durch ein relativ kleines Drehschieber-Vorsteuerventil. Die wegen der geringen Gleitgeschwindigkeiten schwierigen Probleme der Druckentlastung bei dieser Ventilbauart mußten mühsam empirisch gelöst werden. Das Konzept erlaubt damit die flexible Positionierung einer Einhebelbetätigung für alle Vorwärts- und Rückwärtsstufen – ohne jegliche Fußhebelbetätigung. Damit bietet die Konstruktion derzeit einen im Schlepperbau einmaligen Schaltkomfort. Nur zum Feinrangieren benutzt man das "Kupplungspedal", das dann in die Drucksteuerung eingreift.

Neben dem Fahrgetriebe wurde auch das Zapfwellenkonzept neu gestaltet. Der Übergang von der Kurbelwelle auf den Zapfwellenstrang wurde auf eine Stufe umgestellt (zuvor 3 Eingriffe). Die Planschverluste des nunmehr sehr großen und tief eintauchenden unteren Rades reduziert man durch Einbettung in angepaßte Blechformteile. Die verlegte Zapfwellenkupplung erhielt eine neue Betätigung mit nunmehr automatischer Druckaufbausteuerung.

Ein noch etwas ungewohntes weiteres Merkmal des neuen Getriebes ist der mechanische Frontantrieb, der von der Kegelritzelwelle über zahlreiche Räder nach vorn geführt wird, Ein- und Ausschaltung über eine elektrohydraulisch betätigte Lamellenkupplung. Der relativ große konstruktive Aufwand und die durch vier Radeingriffe etwas höheren Leistungsverluste wurden offensichtlich in Kauf genommen, um Fertigungsinvestitionen zu sparen – auch im Hinblick auf die noch nicht so großen Stückzahlen in Nordamerika.

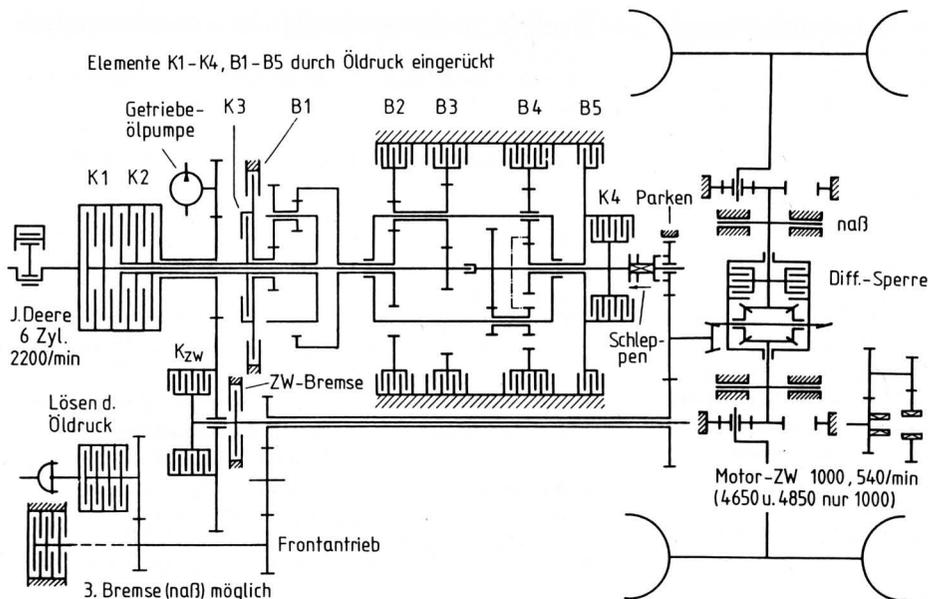


Bild 8. Durch alle Gänge unter Last schaltbares Stufengetriebe 15/4 mit Planetenradsätzen, Bauart John Deere "15 Speed Power Shift". Vorstellung USA 1982 mit den neuen Schleppermodellen 4050, 4250, 4450, 4650 und 4850 (74,6 bis 141,7 kW Zapfwellen-Nennleistung). Getriebe im Prinzip weiterentwickelt aus dem 1963 präsentierten "Power Shift", damals mit 8/4 Stufen [5]. Stufung siehe Tafel 2.

	Gg	km/h	φ	K1	K2	K3	B1	B2	B3	B4	B5	K4
rückwärts	R4	9,74	1,51		x		x		x	x		
	R3	6,47	1,52		x	x		x		x		
	R2	4,26	1,43	x			x		x	x		
	R1	2,98		x		x		x		x		
vorwärts	1	2,15	1,43	x			x	x				x
	2	3,08	1,21	x			x		x			x
	3	3,72	1,26	x		x		x			x	
	4	4,67	1,15		x	x		x				x
	5	5,38	1,14		x		x	x				x
	6	6,11	1,14		x	x			x			x
	7	7,04	1,15		x		x		x			x
	8	8,08	1,15		x	x		x			x	
	9	9,31	1,14		x		x	x				x
	10	10,6	1,14		x	x			x			x
	11	12,2	1,11		x		x		x			x
	12	13,6	1,24		x	x	x					x
	13	16,9	1,40		x	x	x					x
	14	23,6	1,24		x	x	x					x
	15	29,2			x	x		x				x

Tafel 2. Steuerungsplan, Geschwindigkeiten und Stufensprünge für das in Bild 8 gezeigte Getriebe Bauart John Deere "15 Speed Power Shift", Geschwindigkeiten für Modell 4450 mit Reifen 18.4-38. Betätigung durch einen einzigen kleinen Schalthebel, der auf ein Drehschieber-Steuerventil wirkt. Stufungsverdichtung im Hauptarbeitsbereich [10].

Die auf Wunsch erhältliche "3. Bremse" auf der Vorgelegewelle des Allradabtriebs wurde für den europäischen Markt eingeplant. Sie liegt im Gegensatz zu bei uns üblichen Konzepten – von der Frontachse aus gesehen – hinter der Schaltstelle des Frontantriebs. Eine weitere Besonderheit stellt das Differentialgetriebe dar, das mit nadelgelagerten Planetenrädern arbeitet.

Über die Wirkungsgrade des Getriebes – insbesondere bei schneller Straßenfahrt – liegen noch keine genauen Erfahrungen vor.

Die mit fast 2 : 1 recht große Leistungsspannweite der Baureihe konnte man mit einer einzigen Lastschaltgetriebeausführung nicht mehr wirtschaftlich abdecken – daher wurde das Getriebe in zwei Größen entwickelt.

4. Schwerpunkte der zukünftigen Getriebeentwicklung

Wichtige Kriterien wurden bereits in den Grundanforderungen (Tafel 1) genannt. Aus Sicht des Verfassers sind Entwicklungsarbeiten an zukünftigen Getrieben vor allem auf folgende Ziele zu kon-

zentrieren – die Reihenfolge soll etwa auch deren Priorität aufzeigen:

- Handhabung einschließlich Wartung noch erheblich verbessern
- Gewicht, Herstellkosten, Teilezahl scharf kontrollieren
- Funktionspannweite des Baukastens vergrößern
- Reparaturkosten reduzieren
- Stufung, besonders rückwärts, noch weiter verbessern
- Energieverluste reduzieren bzw. neue Funktionen ohne Verlustanstieg darstellen
- Geräuschpegel weiter reduzieren.

Diese sieben Ziele beinhalten einige bedeutende Zielkonflikte, die an Beispielen aus aktuellen Diskussionen [30] noch einmal zusammenfassend aufgezeigt werden sollen.

Beispiel 1: Unter Last schaltbare Gänge verbessern die Handhabung, sind jedoch um ein Vielfaches teurer als synchronisierte Schaltstellen, bedingen ferner etwas höhere Energieverluste und erzeugen häufig auch einen etwas höheren Geräuschpegel.

Beispiel 2: Eine "nasse" (im Ölbad laufende) Fahrkupplung reduziert erheblich die Reparaturkosten, erhöht jedoch auch die Herstellkosten beträchtlich und verschärft infolge des Schlepptomentes die Randbedingungen guter Schaltbarkeit.

Beispiel 3: Nasse Betriebsbremsen reduzieren die Reparaturkosten nachhaltig, erhöhen jedoch die Herstellkosten und die Energieverluste – letzteres besonders beim schnellen Straßentransport. Vergrößert man die Lüftwege zur Verminderung der Öl-Scherkräfte, benötigt man mehr Betätigungsenergie.

Beispiel 4: Ein Baukasten mit großer Funktionspannweite (für alle Kundenwünsche in vielen Ländern) bedingt, daß bei nicht voller Bestückung z.B. leerer Getriebebaureihe mit ungenutzten Bearbeitungen produziert wird – Gewicht und Kosten sind dann für diese Varianten nicht optimal. Ebenso vergrößert eine große Variantenzahl leicht die Teilezahl.

Beispiel 5: Eine Lamellenkupplung im hinteren Bereich des Zapfwellenstranges verbessert nicht nur die Handhabung, sondern vergrößert auch die Funktionspannweite durch Anbaumöglichkeit für Hydraulikpumpen (dicht am Kraftheber) – jedoch steigen die Herstellkosten gegenüber einer Doppelkupplung an.

Beispiel 6: Eine nachträglich durch eine zusätzliche Splitgruppe mit Extrahebel verfeinerte Stufung wird häufig eine kostengünstige Vergrößerung der Funktionenspannweite sein – in der Handhabung geht man gewisse Kompromisse ein bezüglich Übersichtlichkeit und Einfachheit der Schaltung.

Beispiel 7: Die Verringerung der Reparaturkosten durch verbesserte Zugänglichkeit – z.B. mit Hilfe seitlicher Getriebeöffnungen – bedingt höhere Herstellkosten.

Hieraus ergeben sich für die Konzeption von Ackerschleppergetrieben im wesentlichen folgende Kernaufgaben:

- Genaue Definition und Wichtung des Anforderungsprofils (Hilfen durch Tafel 1)
- Systematische Suche nach dem wirtschaftlichen konstruktiven Kompromiß für einen Getriebebaukasten auf der Basis abgesicherter Technik (Hilfen durch die hier und früher diskutierten Getriebebeispiele, siehe Schrifttum)
- Grundsätzliche Lösung technischer Einzelprobleme (z.B. nasse Bremsen ohne wesentliche Scherverluste). Verbesserungen nur langfristig erreichbar (Hilfen durch wissenschaftliche Grundlagenarbeiten).

Sowohl die Konzeptfindung und Konstruktion als auch die Produktion neuer Schleppergetriebe wird wegen der steigenden Komplexität derartiger Projekte noch größere Kreise ziehen und dabei auch Kooperationen nahelegen.

5. Zusammenfassung

Nach einleitender Darstellung der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Ackerschleppergetriebe werden die wichtigsten Anforderungen (für Europa) systematisch zusammengestellt. Daran schließt sich eine Besprechung ausgeführter Konzepte an, die in Stil und Inhalt an frühere Arbeiten anknüpft. Stufenlose Getriebe haben nach wie vor keine Bedeutung. Unter Last schaltbare Gänge sind im oberen Leistungsbereich im Vordringen. Die Hauptstückzahlen werden in Europa hingegen mit gut synchronisierten Getrieben erreicht, wobei man über die Grundgänge hinaus jetzt auch überwiegend die Gruppen synchronisiert ausführt – hier besonders die Vorwärts-Rückwärts-Schaltung.

Abschließend versucht der Verfasser, die wichtigsten Aufgaben der zukünftigen Getriebeentwicklung noch einmal zusammenzufassen und dabei die Hintergründe technischer Kompromisse an Beispielen aufzuzeigen. Besondere Bedeutung kommt trotz mancher Zielkonflikte der weiteren Verbesserung der Handhabung zu. Der Baukasten ist gründlich zu planen und die Getriebebaukonstruktion hinsichtlich Herstellkosten, Teilezahl und Gewicht scharf zu kontrollieren. Die Getriebebestufung läßt sich vielfach für Transporte und Rückwärtsfahrt noch verbessern. Weitere Ziele betreffen geringere Reparaturkosten, Kontrolle der Energieverluste und fortgesetzte Verminderung des Geräuschpegels.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● *Kühne, G.*: Handbuch der Landmaschinentechnik. Bd. 1. Berlin: Verlag J. Springer 1930.
- [2] *Meyer, H.*: Probleme der Schlepperentwicklung. Grundl. Landtechnik H. 9 (1957) S. 10/19.
- [3] *Browning, P.E.*: Design of agricultural transmission elements. ASAE Lecture Series "Tractor Design" No. 4; St. Joseph/MI, USA: ASAE, 1978 (darin 89 Lit.).
- [4] *Renius, K.Th.*: Wirtschaftlichkeit und technische Weiterentwicklung des Ackerschleppers. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 6, S. 212/17 (darin 50 Lit.).
- [5] *Renius, K.Th.*: Grundkonzeptionen der Stufengetriebe moderner Ackerschlepper. Grundl. Landtechnik Bd. 18 (1968) Nr. 3, S. 97/106 (darin 38 Lit.).
- [6] *Renius, K.Th.*: Stufenlose Drehzahl-Drehmoment-Wandler in Ackerschleppergetrieben. Grundl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 4, S. 109/18 (darin 102 Lit.).
- [7] *Renius, K.Th.*: Die neueren Getriebeentwicklungen bei Ackerschleppern. Teil 1: Stufengetriebe, Teil 2: Stufenlose Getriebe. VDI-Z. Bd. 115 (1973) Nr. 11, S. 930/36 (Teil 1) und Nr. 13, S. 1067/71 (Teil 2); (darin 46 Lit.).
- [8] *Renius, K.Th.*: Neuere Getriebekonzeptionen für landwirtschaftliche Schlepper. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 2, S. 41/46.
- [9] *Renius, K.Th.*: European tractor transmission design concepts. ASAE-Paper No. 76-1526 (1976).
- [10] *Renius, K.Th.*: Festlegung der Getriebeabstufung von Ackerschleppern nach Fahrgeschwindigkeitskollektiven. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 1, S. 7/15.
- [11] *Renius, K.Th.*: Getriebe der Ackerschlepper. In: "25 Jahre VDI-Fachgruppe Landtechnik". Düsseldorf: VDI-Fachgruppe Landtechnik 1983, S. 55/62.
- [12] *Welschhof, G.*: Entwicklungslinien im Schlepperbau – Kriterien für die heutige und zukünftige Entwicklung. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 1, S. 6/13.
- [13] *Meiners, H.H.*: Der Einfluß der hydrodynamischen Kupplung auf die Belastungen in einem Ackerschlepper. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 24; Düsseldorf: VDI-Verlag 1983.
- [14] Informationen von den Firmen Iseki, Kubota, Mitsubishi, Satoh, Shibaura und Yanmar.
- [15] *Kahrs, M.*: Verlustleistungen und Wirkungsgrade mechanischer und hydrostatischer Getriebe für Ackerschlepper und selbstfahrende Landmaschinen. Grundl. Landtechnik Bd. 17 (1967) Nr. 6, S. 215/24.
- [16] Unveröffentlichte Messungen und Erfahrungen der Klöckner-Humboldt-Deutz AG, um 1981.
- [17] *Kreitzberg, E.A.*: Allis-Chalmers 7000 agricultural tractor. SAE-Paper No. 750811 (1975).
- [18] *Söhne, W. u. R. Bacher*: Ackerschlepper 1978. Automobiltechn. Z. (ATZ) Bd. 80 (1978) Nr. 10, S. 479/89.
- [19] ● *Blumenthal, R. u.a.*: Technisches Handbuch Traktoren. Berlin: VEB-Verlag Technik 1981.
- [20] *Stieglitz, E.*: T-150 K – ein neuer Traktor für die Landwirtschaft der DDR. Agrartechnik Bd. 27 (1977) Nr. 5, S. 217/19.
- [21] *Hoepfl, J.R. u. M. Ballendux*: Allis-Chalmers power shift transmission – a new option for the models 7040 and 7060. SAE-Paper No. 750858 (1975).
- [22] Firmenschriften der John Deere Werke Mannheim.
- [23] *Longshore, D.W. u. J.R. Hoepfl*: Allis-Chalmers power trains for model 7030 and 7050 agricultural tractors. SAE-Paper No. 730861 (1973).
- [24] *Fogarty, B.*: IH: Five Two-Wheelers, 90 to 185 hp. Implement & Tractor Bd. 96 (1981) Nr. 21, S. 26/29.
- [25] Technische Unterlagen der International Harvester Agric. Equipment Div., Hinsdale/USA.
- [26] *Oliver, R.J. u. R.N. Bullard*: Productive and reliable tractors for the 80's from International Harvester. SAE-Paper No. 810912 (1981).
- [27] *Renius, K.Th.*: European four-wheel drive: are technical advantages profitable? ASAE-Paper No. 79-1555 (1979).
- [28] *Haight, R.E.*: The John Deere 15-speed power shift transmission. SAE-Paper No. 821063 (1982).
- [29] *Madson, L.R.*: Multi-speed powershift transmission. US-Patent No. 4 345 490, 24.8.1982 (filed 26.3.1980).
- [30] *Renius, K.Th.*: Moderne Schleppergetriebe. Vortrag mit Diskussion im Schlüter-Unternehmer-Seminar 21. und 28.2.1984, Freising, Schlüterhof.