

Thema

Zum Stand der Zapfwellentechnik

Autor

Dr.-Ing. H. Schulz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

Verwendete Formelzeichen

| | | |
|------------------|-------|---|
| b_e | g/kWh | spezifischer Kraftstoffverbrauch |
| $K_1 \dots K_4$ | | Konstanten (Übersetzungsverhältnisse für verschiedene Zapfwelldrehzahlen) |
| M_{Zw} | Nm | Moment an der Zapfwelle |
| n_A | U/min | Drehzahl der Antriebsräder |
| n_E | U/min | Getriebeeingangsdrehzahl |
| n_M | U/min | Motordrehzahl |
| n_Z | U/min | Zapfwelldrehzahl |
| P_A | kW | Leistung für den Fahrtrieb |
| P_{AZ} | kW | Antriebsleistung der Zapfwelle |
| P_e | kW | Motorleistung |
| P_M | kW | Motorleistung |
| P_{MF} | kW | Motorleistung für den Fahrtrieb |
| P_{MZ} | kW | Motorleistung für den Zapfwellenantrieb |
| P_Z | kW | Zugleistung |
| P_{Zw} | kW | Zapfwellenleistung, Drehleistung |
| ω_Z | 1/min | Winkelgeschwindigkeit der Zapfwelle |
| η_G | - | Getriebewirkungsgrad, gesamt |
| η_i, η_j | - | Teilwirkungsgrade |

Die Möglichkeiten der Leistungsabgabe sind bei den gegenwärtig angebotenen Traktoren sehr vielfältig. Dominierend ist nach wie vor die Entwicklung der Leistung für das Ziehen. Andererseits hat der Geräteantrieb durch Drehleistung über die Zapfwelle, zumindest hinsichtlich der Höhe der Leistungsübertragung, beachtlich zugenommen.

Die gestiegene Bedeutung der Zapfwelle hat sich daraus ergeben, daß Traktor und Gerät in verfahrenstechnischer und energetischer Sicht eng zusammenwirken und sich der Einsatz aktiv angetriebener Arbeitselemente vergrößert hat. Zudem ergibt sich mit der angetriebenen Zapfwelle eine relativ verlust-

arme mechanische Leistungsübertragung, da die Verluste für den Geräteantrieb über Traktorantriebsräder und Fahrbahn umgangen werden (Tafel 1).

Zur Leistungsübertragung über die Zapfwelle ist eine Gelenkwelle für den Geräteantrieb erforderlich. Auf die Spezifik der Leistungsübertragung mit Gelenkwellen wird in diesem Beitrag nicht eingegangen.

1. Bisherige Entwicklung

Die Zapfwelle ist fast so alt wie der klassische Traktor selbst, denn die Internationale Harvester Company (IHC) verwendete sie bereits im Jahr 1918, und zwar in der Schaltung als Getriebezapfwelle. Die Bedeutung dieses Drehantriebs wurde offensichtlich früh erkannt, denn eine Reihe von Traktoren aus dem Zeitraum der 30er Jahre war schon damit ausgestattet. Mit der umfassenderen Verwendung der Zapfwelle wurde sie auch gleich hinsichtlich Drehzahl (540 U/min), Drehrichtung und besonders des Zapfwellenendes (Zapfwellenstummel) genormt [1, 2]. Nicht normiert wurden die Begriffe zur Kennzeichnung der Zapfwelle, die heute als

- Getriebezapfwelle (GZW)
- Motorzapfwelle (MZW)
- Wegzapfwelle (WZW)

vorliegen und Zuordnung, Schaltmöglichkeit am Traktor und Wirkungsweise charakterisieren [2, 3]. Bei diesen Bezeichnungen und ihren Interpretationen sind bis heute immer wieder gewisse Unklarheiten vorhanden, was entsprechend der Bedeutung dieses Antriebs nicht gerechtfertigt erscheint [4].

Die Zapfwelle für den Geräteantrieb kann am Traktorheck, zwischen den Achsen und am Traktorbug angeordnet werden. Die älteste

Anordnung ist der Einbau als Heckzapfwelle. Für die Gerätekombination mit leistungsschwachen Traktoren und für die Geräteträgerentwicklung hatte in den 50er Jahren die Zwischenachs- oder Mittenzapfwelle eine beachtliche Bedeutung, z. B. für den Mähbalken- und Düngerstreuerantrieb. Auch die Front- oder Bugzapfwelle ist schon länger bekannt. In der DDR waren z. B. in den 60er Jahren die RT-Traktoren aus Nordhausen mit einer Frontzapfwelle ausrüstbar, die durch das Pendellager der Vorderachse geführt wurde. Die Frontzapfwelle hatte bisher international keine große Bedeutung. Mit der Entwicklung von leistungsfähigen Kombinationstraktoren mit mehreren Anbaukäufen wird sie seit Anfang der 70er Jahre bei einigen Traktoren serienmäßig verwendet. Dominierend wird aber die Heckzapfwelle genutzt. Diese ist hinsichtlich Ausführung des Zapfwellenendes, der Bewegungsgrößen und des erforderlichen Freiraumes am Traktorheck genormt (in der DDR Standards TGL 7814 bis TGL 7816, TGL 33-58 301, TGL 26 171). Die Einführung der Zapfwelldrehzahl von 1000 U/min als zweite Normdrehzahl hatte ihre Ursache hauptsächlich darin, daß mit den genormten Zapfwellenenden größere Drehleistungen übertragen werden sollten. Die genormten Zapfwellenenden und -profile werden auch für die Mittenzapfwelle und für die Frontzapfwelle verwendet. Im RGW besteht eine Normung der Zapfwellen für die Zugkraftklassen von 0,6 bis 4,0, um die Kopplungsfähigkeit verschiedener Zugkraftklassen (0,6 bis 2,0; 3,0 und 4,0) zu gewährleisten [5]. In anderen Ländern wird eine Einteilung nach der übertragbaren Leistung angestrebt.

2. Schaltungen und Wirkungsweisen

Einige Unklarheiten und Unsicherheiten bei der Verwendung des Begriffs „Zapfwelle“ haben sich dadurch ergeben, daß im Plural von Getriebezapfwellen (G), Motorzapfwellen (M) und Wegzapfwellen (W) gesprochen wird. Diese Begriffe beziehen sich meist nur auf eine gegenständlich für den Geräteantrieb vorhandene Zapfwelle, z. B. die klassische Heckzapfwelle. Sie ergeben sich durch

- die unterschiedliche Aufteilung der Leistung für den Zapfwellenantrieb, also „Anzapfung“ im Leistungsfluß für den Fahrtrieb
- die Abhängigkeit von den Baugruppen des Traktors - Motor, Fahrkupplung, Getriebe - und die damit verbundenen Schaltungen.

Gemeinsam ist allen Schaltungen, daß der Antrieb vom Motor erfolgt, was auch für die „Wegzapfwelle“ gilt. Im folgenden sollen die einzelnen Begriffe etwas näher charakteri-

Tafel 1. Einfluß der Zug- und Drehleistungsübertragung auf die Höhe der Verlustleistung am Traktor

| Art der Arbeit | Nutzleistungen | Verlustleistungen Traktor | Gerät | Höhe der Verlustleistung am Traktor, bezogen auf die Motorleistung, in % |
|---|---|---|--|--|
| Ziehen (Pflügen, Eggen u. a.) | Zugleistung (P_Z) | Getriebe für Fahrtrieb, Schlupf, Rollwiderstand | Gelenkwelle, Getriebe, Arbeitswiderstand, Rollwiderstand | 20...60 |
| Zapfwellenantrieb (Generatorantrieb) | Drehleistung (P_{Zw}) | Getriebe für Zapfwellenantrieb | Gelenkwelle, Getriebe, Arbeitswiderstand | ...10 |
| Ziehen und Zapfwellenbetrieb (Pressen, Krautschlagen u. a.) | Zug- und Drehleistung (P_Z, P_{Zw}) | Getriebe für Fahr- und Zapfwellenantrieb, Schlupf, Rollwiderstand | Gelenkwelle, Getriebe, Arbeitswiderstand, Rollwiderstand | 10...30 |

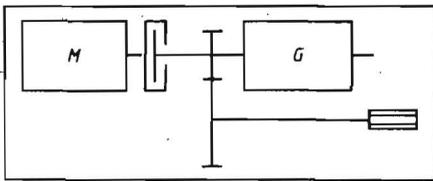


Bild 1. Schaltung der Getriebezapfwelle (GZW)

siert werden. Dabei geht es nicht um eine terminologische Diskussion, denn trotz zutreffender Argumente ist es oft schwierig, traditionsbehaftete Begriffe „sauberer“ zu machen [3]. Zudem hat sich eine Schaltung als durchweg zweckmäßig erwiesen, so daß wohl bald nur noch diese gemeint ist – die Motorzapfwelle.

Kennzeichnung und Unterscheidung der drei Zapfwellenschaltungen sind in Tafel 2 geordnet zusammengestellt.

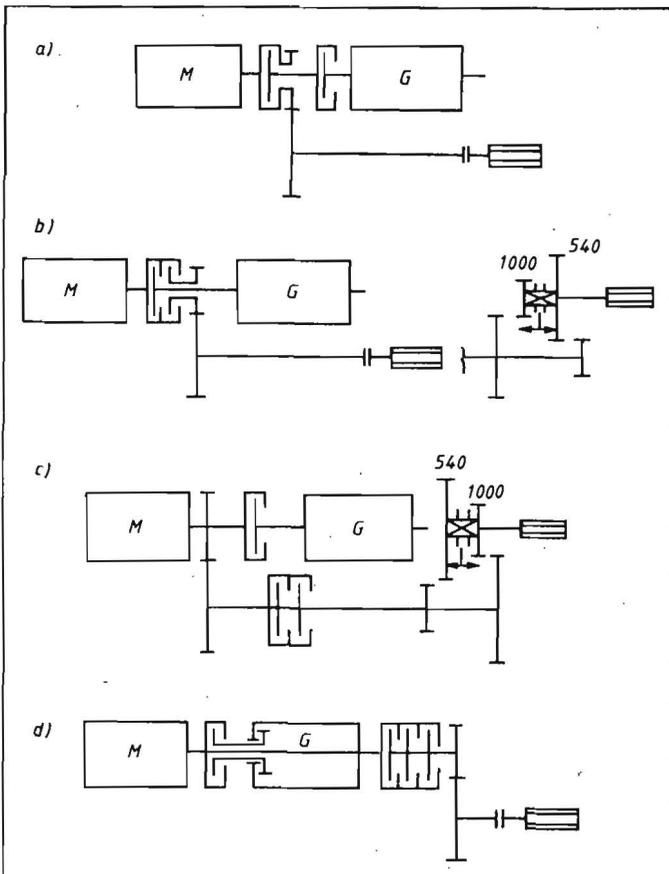
2.1. Getriebezapfwelle

Bei dieser ältesten Form der Zapfwellenschaltung (Bild 1) ist der Antrieb von der Fahrkupplung abhängig. Beim Auskuppeln ist auch der Leistungsfluß zur Zapfwelle unterbrochen. Bei Antrieben über die Zapfwelle, bei denen Verstopfungen z. B. an Arbeitselementen auftreten können oder große Massenträgheitsmomente vorhanden sind, ergeben sich Nachteile hinsichtlich Produktivität, Qualität und Energieaufwand.

Bild 3. Schaltungen von Motorzapfwellen an Serientraktoren verschiedener Hersteller;

- a) VEB Traktoren- und Dieselmotorenwerk Schönebeck (DDR)
- b) Deutz-Fahr (BRD)
- c) John Deere (USA)

Bild 2. Schaltungen der Motorzapfwelle (MZW) hinsichtlich der Unterbrechungsmöglichkeit der Leistungsübertragung; gesonderte Zapfwellenkupplung (a, c, d), verbunden mit einer Duo-Schaltung (b), Doppelkupplung (b)



Tafel 2. Kennzeichnung und Unterscheidung der Zapfwellenschaltungen

| | Getriebezapfwelle (GZW) | Motorzapfwelle (MZW) | Wegzapfwelle (WZW) |
|--|-------------------------|--|--|
| Motorantrieb | über Kupplung | über Kupplung | über Kupplung und Wechselgetriebe veränderlich |
| Drehzahlverhältnis n_z/n_M | konst. | konst. (K_1, K_2, K_3, K_4) (Duo- oder Sporzapfwellen) | abhängig |
| Fahrkupplung | abhängig | unabhängig | abhängig |
| Fahrbewegung: | | | |
| – Drehzahlverhältnis n_z/n_A | veränderlich | veränderlich | konst. |
| – Drehrichtung bezogen auf Fahrtrichtung | unabhängig | unabhängig | Drehrichtungsänderung bei Rückwärtsfahrt |

2.2. Motorzapfwelle

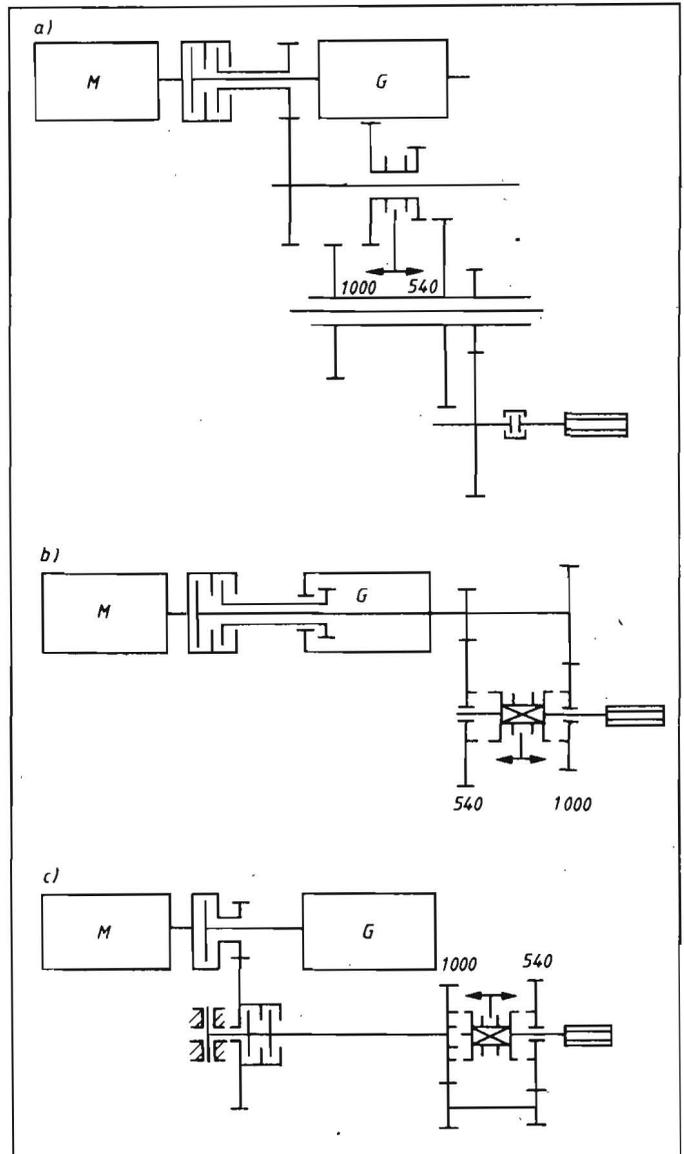
Mit dieser Schaltung (Bild 2) werden die im Abschn. 2.1. aufgeführten Nachteile beseitigt. Bei der Doppelkupplung ergibt sich durch die zeitliche Folge beim Auskuppeln – Fahrkupplung, Zapfwellenkupplung –, daß bei Kurvenfahrten kein Optimum vorliegt, denn hierbei sollte zur Schonung der Gelenkwelle der Zapfwellenantrieb abgeschaltet sein. Einige Schaltungen der Motorzapfwelle sind im Bild 3 zusammengestellt.

2.3. Wegzapfwelle (Bild 4)

Für bestimmte Antriebsaufgaben des Traktors ist ein entsprechendes Verhältnis der Geschwindigkeiten von Antriebs- oder Ar-

beitselementen zur zurückgelegten Fahrstrecke erforderlich. Das gilt z. B. für den Antrieb von Triebachsanhängern und für Dünge- und Pflanzenschutzmaschinen. Diese Aufgabe ist nicht einfach zu erfüllen, denn bei kinematischer Unstimmigkeit können Blindkräfte in der gesamten Leistungsübertragung auftreten, außerdem sind Abweichungen von Qualitätsfestlegungen möglich [6]. Dieser Antrieb hat gegenwärtig in der Traktorentechnik keine große Bedeutung.

Getriebe- und Wegzapfwellen sind nur noch an einigen Traktortypen serienmäßig oder auf Kundenwunsch vorhanden. Dominierend ist die Schaltung „Motorzapfwelle“ am Heck.



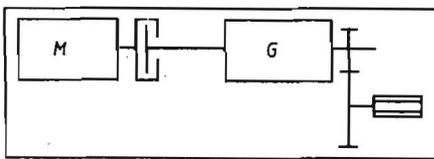


Bild 4. Schaltung der Wegzapfwelle (WZW)

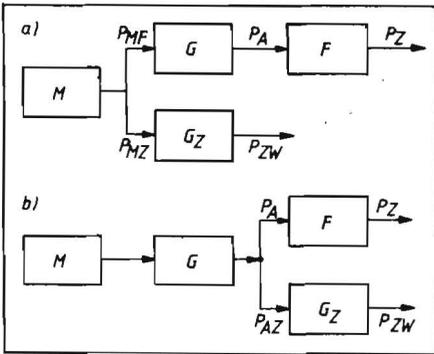


Bild 5. Leistungsaufteilung bei Traktoren für Fahr- und Zapfwellenantrieb:

- a) Getriebe- und Motorzapfwelle, einschließlich Antriebsaufgaben (mit und ohne gegenseitige Beeinflussungsmöglichkeit)
- b) Wegzapfwelle

Die Bedeutung der Frontzapfwelle nimmt, auch Mittenzapfwellen werden angeboten. Ab einer Motorleistung von 30 kW ist bei der Mehrzahl der Traktoren die Zapfwelle unter Last schaltbar. Die Betätigung der Schaltung erfolgt überwiegend mechanisch, aber auch hydraulische und vereinzelt pneumatische Einrichtungen sind anzutreffen. Zapfwellenlamellenkupplungen werden im Vergleich zur Doppelkupplung zunehmend verwendet. Sie laufen bevorzugt in Öl, haben somit einen relativ geringen Verschleiß, aber ein Schleppmoment, das bei der Zapfwellennutzung und Geräteverbindung ungünstig ist. Zum Vermeiden der Wirkung des Schleppmoments sind teilweise Einrichtungen zum Abbremsen der Abtriebsseite vorhanden. Zapfwellenbremsen zum direkten Verzögern der Antriebs- und Geräteschwingmomente sind bei vereinzelt Ausführungen anzutreffen (J. Deere, s. Bild 3c).

3. Zapfwellenende und Leistungsübertragung

Das Zapfwellenende (Stumpf) ist in seinen geometrischen Abmessungen genormt, wobei geringe Abweichungen im nationalen Maßstab für die internationale Verwendung von Traktoren offensichtlich von sekundärer Bedeutung sind. In der DDR gilt der Standard TGL 7815. Entsprechend diesem Standard muß die Zapfwelle mit den Drehzahlen 540 U/min und 1000 U/min betreibbar sein. Dabei ist der Zapfwelle mit 540 U/min ein Profil parallelflankig nach TGL 7815/01 und der Zapfwelle mit 1000 U/min ein Profil (Evolventenprofil) nach TGL 7815/02 zugeordnet. Die Schaltung dieser Drehzahlen ist nur bei Entriegelung einer Sperre zulässig. Bei beiden Drehzahlen müssen im Dauerbetrieb 90% der Motorleistung über die Zapfwelle übertragbar sein. Die Grenze der übertragbaren Leistung ist bei 540 U/min mit 35 kW und bei 1000 U/min mit 65 kW festgelegt. Im internationalen Traktorenbau ist der Stand der Zapfwellentechnik ähnlich (Tafel 3). Mit den festgelegten geometrischen

Abmessungen des Zapfwellenendes werden sich die übertragbaren Zapfwellenleistungen sicher nur noch wenig ändern, da schon hohe Materialqualitäten eingesetzt sind und die Zapfwelldrehzahl nicht beliebig erhöht werden kann.

4. Probleme der Leistungsaufteilung

Mit der Nutzung der angegebenen Zapfwellenschaltungen erfolgt bei den Traktoren jeweils eine Leistungsaufteilung zwischen Fahr- und Zapfwellenantrieb (Bild 5). Diese Aufteilung hat Einfluß auf das Verlustverhalten des Traktorgetriebes. Da Traktorgetriebe komplexe Übertragungsgetriebe mit reihen- und parallelgeschalteten Teilgetrieben darstellen, läßt sich der Getriebewirkungsgrad dementsprechend ermitteln [7]. Danach ergibt sich verallgemeinert nach Bild 6 der Gesamtwirkungsgrad des Getriebes als energetische Bewertungsgröße zu

$$\eta_G = \sum_{i=1}^m \lambda_i \eta_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j \prod_{i=1}^n \eta_{ij} \quad (1)$$

Dabei ist λ_i der Verteilungskoeffizient, der die Leistungsaufteilung auf die einzelnen Zweige ausdrückt. Diese Beziehung setzt das Bekanntsein der Teilantriebsleistungen für jeden Zweig und damit der gesamten Antriebsleistung voraus (Antriebsverteilungskoeffizient). Sind die Teilantriebsleistungen und damit die gesamte Abtriebsleistung bekannt, können der Gesamtwirkungsgrad mit dem Abtriebsverteilungskoeffizienten β_i und damit auch das Verlustverhalten des Getriebes ermittelt werden. Diese Bedingungen gelten nur für solche Antriebsaufgaben, wo sich der Fahrtrieb und die Möglichkeiten des Zapfwellenantriebs nicht gegenseitig energetisch beeinflussen. Bei Antriebsaufgaben, bei denen solche gegenseitigen Beeinflussungen (energetisch, kinetisch) auftreten können, ist eine Zirkulation von Blindleistungen zwischen beiden Antrieben möglich [6, 8]. Bei Antriebsaufgaben, bei denen keine energetische Beeinflussung auftritt, kann es noch Probleme hinsichtlich Unstimmigkeit zwischen Geschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge und Fahrgeschwindigkeit geben. Das hat wiederum Einfluß auf die Arbeitsqualität

Tafel 3. Internationaler technischer Stand der Zapfwellenantriebe an der Geräteverbinungsstelle

| Zapfwellenende | Form | | |
|----------------------------|------------|------------------|------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Profil | Keilprofil | Evolventenprofil | Evolventenprofil |
| Zähnezahl | 6 | 21 | 20 |
| Zapfwelldurchmesser mm | 35 | 35 | 45 |
| Nutzlänge mm | 76 | 64 | 89 |
| Zapfwelldrehzahl U/min | 540 | 1 000 | 1 000 |
| max. Zapfwellenleistung kW | 48 | 92 | 132 |

und die Produktivität, z. B. zu kleine oder zu große Arbeitsflächenüberdeckung an einem Schneidwerk u. a.

5. Duo-Zapfwelle und Sparschaltungen

Die für die Nenndrehzahl des Motors geltenden Normdrehzahlen betragen 540 U/min und 1000 U/min (Bilder 3b und 3c). Dafür sind die anzutreibenden Geräte ausgelegt. Die 1000er-Zapfwelle wurde zum Erhöhen der Drehleistung nach folgender Beziehung eingeführt:

$$P_{ZW} = M_{ZW} \omega_Z = M_{ZW} 2 \pi n_Z \quad (2)$$

Nach dem gegenwärtigen Stand der Zapfwellentechnik können beide Drehzahlen mit dem jeweils dafür erforderlichen Profilschaltet werden. Diese Möglichkeit wird als Duo-Zapfwelle bezeichnet. Sie ist dafür gedacht, daß bei geringem Leistungsbedarf mit 540 U/min gearbeitet und bei hohem Leistungsbedarf auf 1000 U/min geschaltet wird. Seit Anfang der 80er Jahre gibt es bei einigen Traktortypen der Fa. Fendt (BRD) eine dritte Zapfwelldrehzahl mit 750 U/min (Bild 7). Da die angekoppelten Geräte für die Normdrehzahlen ausgelegt sind, ist die dritte Drehzahl eigentlich eine fiktive, denn das Ziel besteht darin, für bestimmte Arbeiten mit relativ geringem Leistungsbedarf die Motordrehzahl um das Verhältnis 540/750 auf etwa 0,72 n_{nenn} zu senken, um so in einen günstigen Bereich für den Kraftstoffverbrauch des Motors zu kommen (Bild 8). Diese Schaltung und die Reduktion der Motordrehzahl wird als „Sparszapfwelle“ bezeichnet. Noch einen Schritt weiter geht die Fa. Steyr (Österreich). Beim Traktor Steyr 8075 as wird eine „Vierfach-Zapfwelle“ eingebaut. Die möglichen Schaltungen für ver-

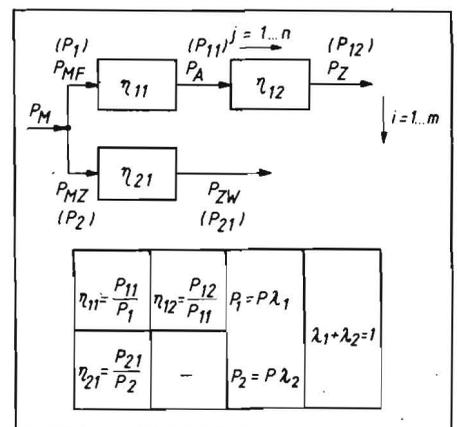
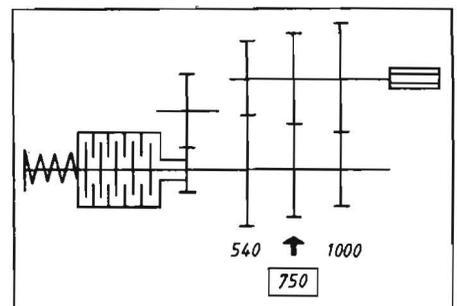


Bild 6. Schema zur energetischen Bewertung von Traktorgetrieben mit Zapfwellenantrieb

Bild 7. Zapfwellenantrieb und -getriebe von Fendt (BRD) für Duo-Zapfwelle zuzüglich Sparschaltung (750 U/min) für die 540er-Zapfwelle



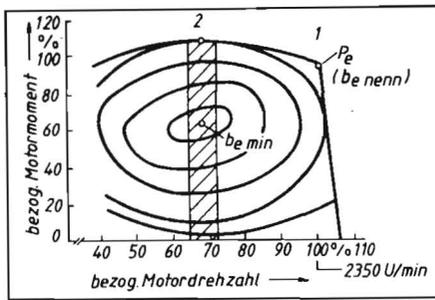


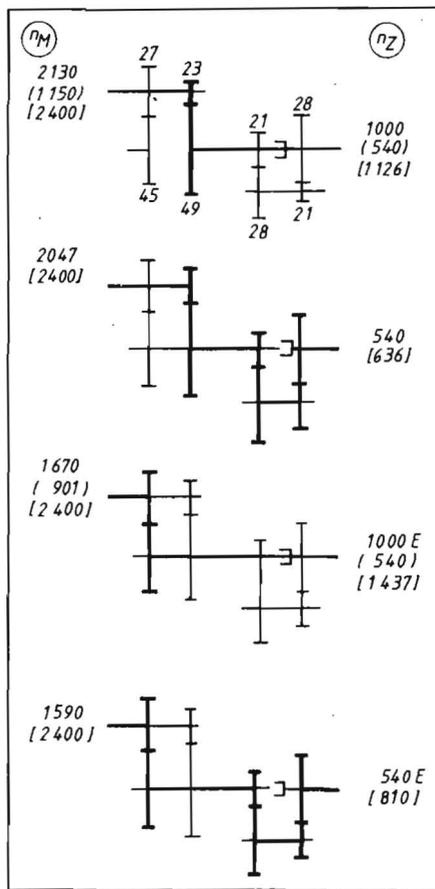
Bild 8. Darstellung der Sparwirkung im Motor-kennlinienfeld (schematisch) mit der Zapfwendendrehzahl 750 U/min;
1 Motorndrehzahl (\approx Motorndrehzahl) für die 540er-Zapfwelle
2 Drehzahlbereich des Motors bei Nutzung der 750er-Zapfwelle mit 540 U/min

schiedene Zapfwendendrehzahlen und die dafür erforderlichen Motordrehzahlen für diesen Traktor sind im Bild 9 angegeben. Auch die 1000er-Zapfwelle wird hier als Sparszapfwelle geschaltet. Die Schaltungen 540E und 1000 E sind die eigentlichen Sparschaltungen, E steht dabei für Economy (Wirtschaftlichkeit).

6. Mögliche Weiterentwicklung der Zapfwellentechnik

Bei der Auslegung der mechanischen Zapfstelle gibt es noch eine Reihe von Kompromissen, aus denen sich folgende Anforderungen ableiten lassen:

- von der Drehzahl und eventuell Drehleistung unabhängiges Einheitsprofil des Zapfwellenendes
- einheitliche Drehrichtung aller Zapfwel-



- len, unabhängig von ihrer Anordnung am Traktor (Uhrzeigersinn)
- Unter-Last-Schaltung (ULS)
- jeweils mittige Anordnung am Traktor und

Bild 9. Zapfwellenschaltungen und Drehzahlen für Norm- und Spardrehzahlen bei Traktoren von Steyr (Österreich)

maximale Freiräume für Zapf- und Gelenkwelle.

Die angedeuteten Probleme der Leistungsaufteilung, die sich mit der Zapfwelle am Traktor ergeben, bedingen weitere Untersuchungen, zumindest im Hinblick auf Optimierungsmöglichkeiten des Traktoreinsatzes, ggf. in Verbindung mit Bordcomputersystemen.

Literatur

- [1] Fischer-Schlemm, W. E.: Schlepper. Die Maschine in der Landwirtschaft. Stuttgart: S. Hirzel Verlag 1950.
- [2] Schilling, E.: Landmaschinen. 1. Bd. Acker-schlepper. Rodenkirchen: Eigenverlag 1960.
- [3] Krupp, G.: Begriffsfragout zum Thema Zapfwelle - muß das sein? Dt. Agrartechnik, Berlin 18 (1958) 12, S. 570-572.
- [4] Schünke, U.: Die Zapfwellen - Arbeitsweise, Bauarten. Agrartechnik international, Würzburg (1985) 1, ATL, S. 1-4.
- [5] Blumenthal, R.: Standardisierung auf dem Gebiet des Traktorenbaus. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 6, S. 256-258.
- [6] Buchmann, R.: Bestimmung der Blindkraft an Fahrzeugen mit starrem Mehrachsantrieb, insbesondere an Traktoren mit Anhängetriebachsen. TU Dresden, Dissertation 1967.
- [7] Duditz, F.: Kardangelenkgetriebe und ihre Anwendungen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1973.
- [8] Konzack, J.: Energieaufwand für Saatbettberei-tungswerkzeuge in Abhängigkeit von der Antriebsart. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 10, S. 452-454. A 4812

Landtechnische Dissertationen

Am 5. Juli 1985 verteidigte Dipl.-Ing. Reinhard Blochwitz an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg erfolgreich seine Dissertation A zum Thema

„Untersuchungen zur Ausnutzung der Dichtesortierung in der Luft-Feststoff-Wirbelschicht zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme“

Gutachter:

Prof. Dr. sc. techn. P. Jakob, Humboldt-Universität Berlin

Dozent Dr. sc. nat. H. Limberg, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Dr.-Ing. U. Riese, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Weimar-Werk.

Die Eignung eines mechanisch-pneumatischen Kartoffelaufnahmeelements zur beimengungsarmen Kartoffelaufnahme wird theoretisch und experimentell untersucht. Die Dichtesortierung in der Wirbelschicht wird ausgenutzt. Ein wichtiges Bauelement ist der Anströmboden. Die theoretischen Untersuchungen beziehen sich auf die mathematische Modellierung der Dichtesortierung von Körpern in der Wirbelschicht. Die experimentellen Untersuchungen wurden

unter Modellbedingungen und modellähnlichen Praxisbedingungen durchgeführt. Die Anwendung der Dichtesortierung in der Wirbelschicht ist unter den arbeitsprozeßtechnischen Voraussetzungen, wie Regelung der Luftstromparameter in Abhängigkeit von der Arbeitstiefe, Anwendung von mechanischen Schwingungen zur Verbesserung der Struktur der Wirbelschicht und Verwendung von gering kohäsiven Boden als Wirbelgut, möglich.

Am 10. April 1986 verteidigte Dipl.-Ing. Evelyn Möller an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg erfolgreich ihre Dissertation A zum Thema

„Untersuchungen an schwingenden Arbeitsorganen zur beimengungsarmen Ernte von Zuckerrüben“

Gutachter:

Prof. Dr. sc. techn. P. Jakob, Humboldt-Universität Berlin

Dozent Dr. agr. M. Delitz, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Dr.-Ing. C. Leithold, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Bodenbearbeitungsgeräte „Karl Marx“ Leipzig.

Die weitere Entwicklung der Rübenerntemaschinen ist in erster Linie vom Entwicklungsstand ihrer Arbeitsorgane abhängig. Die Arbeitsorgane bestimmen die Art und die Menge des Durchsatzes. Aus der Gesamtfunktion der beimengungsarmen Rübenaufnahme werden die Teilfunktionen abgeleitet. Durch die Analyse der Kinematik der Rübenaufnahmeelemente wurden die von den Schwingparametern Schwingwinkel, Schwingungslänge, Schwingungshöhe und Werkzeughubwinkel charakterisierten Schwingungsbahnen ermittelt. Diese Kriterien dienen zur Festlegung der Betriebsparameter der experimentellen Untersuchungen. Die ermittelten Stoffparameter der Zuckerrübe und ihres Bestands dienen zur Festlegung der Konstruktionsparameter des Rübenaufnahmeelements. Der spezifische Rübenaufnahmeelemente steigt in Abhängigkeit von Bodenfeuchte und Arbeitsgeschwindigkeit bei konstanter Frequenz an. Die Kraft zum Herausziehen der Rübe sinkt mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit und ist zwischen 1,5 m/s und 2,0 m/s konstant. Die Zugkraft wird mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit größer, die Zugleistung steigt mit der Amplitude an.