

# Die mechanische Kraftübertragung vom Schlepper zur Landmaschine

Hubert Geis th off, Lohmar

## 1. Einleitung

Die Wünsche und Probleme, wie sie den vielen Gesprächen bei verschiedenen Anlässen mit Herstellern und Gerätebenutzern zu entnehmen sind, geben Veranlassung, zu diesem Thema zeitgerechte Diskussionsbeiträge zu liefern. Bei der Betrachtung der mechanischen Kraftübertragung vom Schlepper zur Landmaschine, also vom Motorschwungrad bis zu den Arbeitswerkzeugen, sollen die Zusammenhänge herausgestellt werden. Einzelheiten werden als bekannt vorausgesetzt [1...5].

## 2. Die Schlepperkupplung

Der stete Zwang zur Rationalisierung in der Landtechnik hat eine anhaltende Entwicklung in Richtung auf Technisierung und Automation ausgelöst. Schlepper mit eng abgestuften und steigenden Leistungen wurden entwickelt.

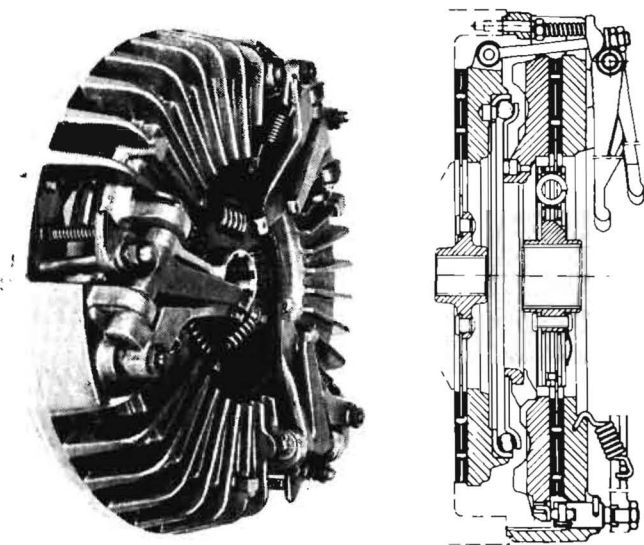


Bild 1: Doppelkupplung DHU mit Regeleinrichtung

Regler bei  $\mu$  min



Regler bei  $\mu$  max

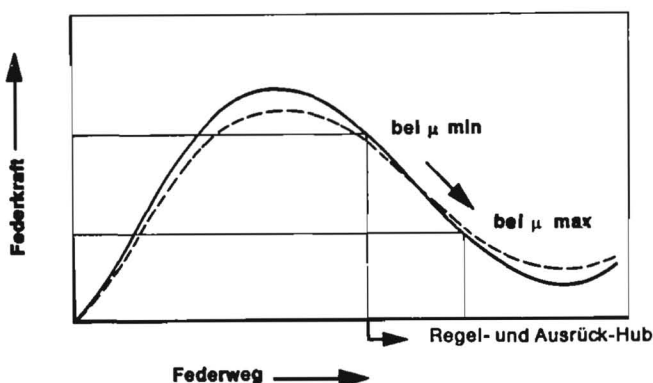


Bild 2: Kennlinie und Arbeitsbereich der Regelfeder

Die Verschiedenartigkeiten der im Zuge der allgemeinen Weiterentwicklung hinzugekommenen Zapfwellengeräte hat zu drei verschiedenen Antriebsarten mit zwei verschiedenen Getriebekonstruktionen für die Zapfwelle geführt. Es ist zwischen folgenden Kupplungsformen zu unterscheiden:

- die stufenweise schaltbare Doppelkupplung
- die unabhängig schaltbare Doppelkupplung
- die Einscheibenkupplung mit getrennt schaltbarer Lamellenkupplung für die Zapfwelle.

Alle diese Getriebekonstruktionen werden heute angewendet.

Die seit Jahren eingeführte Stufenkupplung wird auch in Zukunft vorzugsweise bei Schleppern bis 45 PS verwendet.

Inwieweit sich die älteren Getriebekonstruktionen, nach der die Zapfwelle bei stärkeren Schleppern über eine Lamellenkupplung geschaltet wird, im Wettbewerb zu den unabhängig schaltbaren Doppelkupplungen behauptet, bleibt abzuwarten. Sie bietet zwar bessere Möglichkeiten für eine weitere Kraftverzweigung, ist aber konstruktiv und in der Wartung aufwendiger und erfordert besonders geschultes Werkstattpersonal. Trotzdem wird diese Kupplungskombination für Schlepper mit etwa 150 PS und mehr dann bevorzugt werden, wenn, wie zu erwarten, in diesen Fällen Zweischeibenkupplungen für den Fahrtrieb angewendet werden.

Die neuere Doppelkupplung, bei der der Fahrtrieb und der Zapfwellenantrieb über getrennte Betätigungsorgane bedient werden, ist im Aufbau einfach und doch den mannigfaltigen Forderungen in idealer Weise angepaßt. Es stehen Kupplungskonstruktionen zur Verfügung, bei denen der Fahrtrieb über die Vollwelle oder Hohlwelle erfolgen kann. Im Temperatur-, Verschleiß-, Drehmoment-, Schwingungs- und Anfahrverhalten wird diese Konstruktion bei niedrigen Betätigungskräften höchsten Anforderungen gerecht (Bild 1). Intensive Verrippung sorgt für eine gute Wärmeabfuhr. Durch gezielt gewählte Federnennungen und Anpassung der Anpreßkräfte wird ein Verschleißausgleich bei höchster Drehmomentkonstanz bewirkt. Durch die konstanten Momentenkennlinien werden bei höheren Gleitgeschwindigkeiten die Schwingungsamplituden klein gehalten. Weiterhin können durch die reibwertabhängig arbeitende Regelung der Anpreßkraft und die hierdurch gegebene dynamische Nachgiebigkeit des Systems der Abbau von Drehmomentstößen und unnötig lange Rutschzeiten auch bei vorübergehenden Reibwertänderungen bewirkt werden. Selbst das einer jeden Feder eigene Setzverhalten, das durch härteste Einsatzbedingungen noch gefördert werden kann, wird weitgehend ausgeglichen. Die im Bild 2 gezeigte Setzkennnung läßt im Vergleich zur Ausgangskennnung erkennen, daß zwar in der Gipfelkraft ein deutlich meßbarer Verlust festzustellen, im gewählten Arbeitsbereich aber die Kennungsänderung vernachlässigbar ist. Durch Nutzung der Hebelrückholfeder als Ausgleichsfedern können diese Federn mit abfallender Kennung unter Nutzung ihrer Vorteile einen fast vollständigen Verschleißausgleich bewirken. Die Anpreßkraft ist über den Verschleißweg annähernd konstant, da die aus der Federnkombination resultierende Kennung waagrecht verläuft.

Die über Jahre unter Serienbedingungen gesammelten praktischen Erfahrungen haben die Prüfstandergebnisse weitgehend bestätigt und in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen eine etwa dreifache Lebensdauer-Erhöhung erbracht. Der gelegentlich geäußerte Wunsch nach noch größerer Lebensdauer ist durchaus berechtigt, dürfte jedoch darauf zurückgeführt werden, unter extremen Betriebs-

bedingungen neben anderen Verschleißteilen auch die Kuppelung als Verschleißteil beseitigt zu wissen.

Die getrennt geschaltete Doppelkupplung bringt neben den angedeuteten technischen Vorteilen dem Landwirt weitere erhebliche Vorteile. Flächenleistung und Arbeitsproduktion werden ebenso wie die Betriebssicherheit erhöht, da bei engen Kurvenfahrten die Arbeitsgänge mühelos geschaltet werden können. Der bei Stufenkupplungen während Kurvenfahrten auftretende Zeit- und Kraftverlust und der zusätzliche Verschleiß der Fahrkupplung werden von den Landwirten mehr und mehr erkannt und haben den Anteil der Schlepper mit der sogenannten Live-Zapfwelle stetig zunehmen lassen.

### 3. Die Zapfwellenbeanspruchungen

Die Zapfwellenbeanspruchungen stehen zwar in einem gewissen Zusammenhang mit den Antriebsarten, sind aber doch im wesentlichen von einer Vielzahl anderer Faktoren abhängig. Die Arbeitsmaschine unterliegt den Einflüssen von Einsatzart, Klima, Bearbeitungs- beziehungsweise Erntegut, Wartung, Pflege, Fahrweise, Einsatzzeit mit mehr oder weniger großer Variationsbreite.

Die Gelenkwelle zwischen Schlepper und Gerät unterliegt gleichen Variationsbreiten. Beugewinkel, Art der Gelenkwellenanordnung in W- oder Z-Beuge, Gelenkwellenlänge und Schiebkräfte in den Teleskopteilen sind besonders hervorzuheben. Für die Ermittlung der Zapfwellenbeanspruchung müssen die aus den Beugewinkeln und Längenänderungen resultierenden Biegemomente und Axialkräfte hinreichend bekannt sein. Die Tatsache, daß die Zusammenhänge häufig unbeachtet bleiben, gibt Veranlassung, hierauf näher einzugehen. Die unterschiedlichen Zapfwellenformen finden hierbei ebenso Berücksichtigung wie die genormten Drehzahlen 540 und 1000 Upm.

Bei den folgenden Ausführungen wird besonders auf die Arbeitsgrundlage des „Normenausschusses Landmaschinen und Ackerschlepper“, der sich zur Zeit in einem Unterausschuß mit den Betriebsbedingungen für Gelenkwellen befaßt, eingegangen. An dieser Stelle sei allen Firmen, die Unterlagenmaterial zur Verfügung gestellt haben, gedankt. Die im Rahmen dieser Arbeiten vorliegenden Berechnungsgrundlagen, denen eine bestimmte Lagerkonstruktion zugrunde liegt, werden im folgenden unter Hinweis auf die Ergebnisse erläutert.

Die Berechnung wird nach BUSSIER [6], nach der Schubspannungshypothese und der allgemeinen Lagerlebensdauerrechnung vorgenommen, wobei die Gelenkwellenlänge 455 mm beträgt. Bild 3 zeigt zulässige Zapfwelldrehmomente bei einem Beugungswinkel von 0° und 20° und auftretender Schiebekraft in der Gelenkwelle. Die Vergleichsspannung steigt linear an. Bei einer zulässigen Grenzspannung für Dauerbeanspruchung von 28 kp/mm<sup>2</sup> tritt bei zunehmender spezifischer Axialkraft eine Verringerung der zulässigen Zapfwelldrehmomente ein.

Durch Minderung der Schiebkräfte kann also eine wesentliche Herabsetzung der Lagerbeanspruchung erzielt werden. Entsprechende Schiebep Profile mit gleitfreudigem Spezialüberzug, sogenannte GA-Profile, stehen zur Verfügung. Durch sie wird zum Beispiel der hier angegebene Höchstwert bei gleichzeitiger höherer Drehmomentkapazität um etwa 50 % reduziert.

Bild 4 zeigt unter gleichen Bedingungen und bei angenommener Lagerlebensdauer von mindestens 1000 Stunden für Dauerbetrieb und volle Leistungsübertragung die Lebensdauer des Zapfwellenlagers bei Z-Beugung. Auch hier ist der Einfluß der Längsverschiebekraft deutlich zu erkennen.

Bild 5 läßt im Vergleich zu Bild 4 den Einfluß von der Z- und W-Beugung in der Gelenkwelle deutlich werden. Es ist zu erkennen, daß die großen radialen Lagerdrücke bei der W-Beugung gar nicht mehr so stark in die Rechnung eingehen. Durch die Wahl entsprechender Kugellager kann die

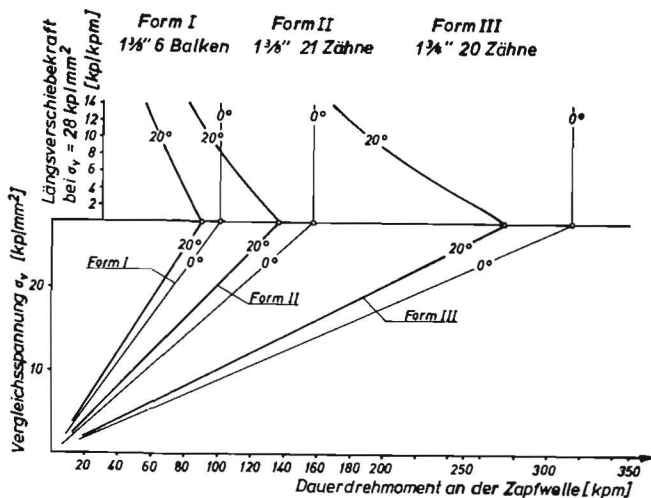


Bild 3: Zapfwelldrehmoment in Abhängigkeit von Beugungswinkel und Schiebekraft in der Gelenkwelle

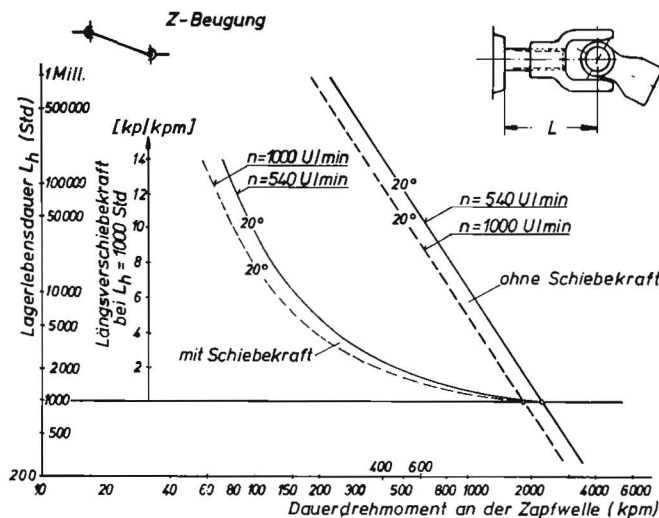


Bild 4: Lebensdauer des Zapfwellenlagers bei Z-Beugung

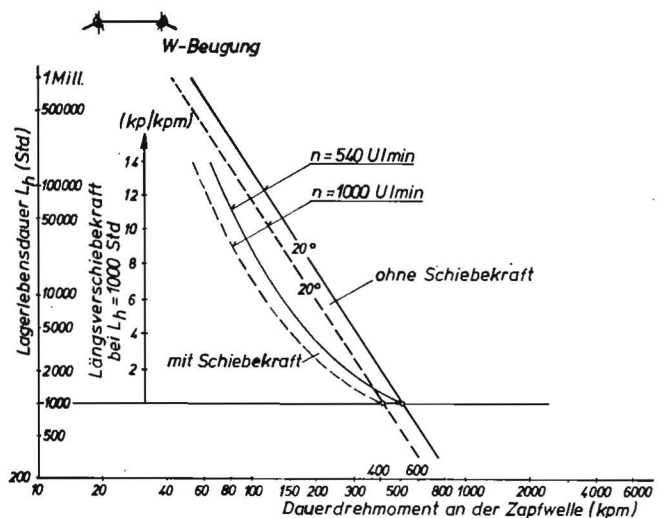


Bild 5: Lebensdauer des Zapfwellenlagers bei W-Beugung

Lebensdauer erhöht und der Dauerfestigkeit des Zapfwellenstummels angepaßt werden. Ebenso können die Lagerbeanspruchungen durch größere Gelenkwellenlängen und durch Verringerung des Abstandes von Gelenkmitte zur Lagermitte herabgesetzt werden. Zum letzteren wird vorgeschlagen, die Zapfwelle eventuell durch eine Zapfnabe zu ersetzen, die mit ihren vielen Konstruktions- und Übergangs-

möglichkeiten in Einzelgesprächen bereits als diskussionsreif bezeichnet wurde.

Bei dieser Betrachtung ist zu berücksichtigen, daß die Längskräfte in der Gelenkwelle in der Praxis nur gelegentlich auftreten. Sie lassen aber die Zusammenhänge sehr deutlich werden.

#### 4. Die Lage der Zapfwelle zu den Koppelpunkten

Bei der nun folgenden Erörterung der Koppelpunkte für Zapfwellengeräte können die zuvor gemachten Vorschläge durchaus zur Lösung gewisser Probleme beitragen. Im Mittelpunkt der Betrachtung sollen das Dreipunktgestänge und die Ackerschleife beziehungsweise das Zugpendel stehen, da diese Anbau- beziehungsweise Anhängarten im Vergleich zum Kupplungsmaul oder zur Hitch-Anhängung mit Recht am häufigsten kritisiert werden, und es sich um durchaus vermeidbare Unzulänglichkeiten handelt.

Die Mindestforderung, jedes Gerät mit jedem Schlepper ohne Teile austauschen zu müssen koppeln zu können, wird nur unzureichend erfüllt. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist ein annähernd einheitliches Abstandsmaß von Zapfwellenende bis Geräte-Koppelpunkt. Tatsächlich schwankt bei mehr als 400 im europäischen Raum im Einsatz befindlichen Schleppertypen und -fabrikaten dieser Abstand zwischen 300 und 700 mm. Auch hier ist keine Abhängigkeit von den Leistungsklassen festzustellen. Bei entsprechender Höhenlage der Zapfwelle und einem einheitlichen Abstand von Zapfwellenende und Koppelpunkt könnte, wie viele praktische Beispiele zeigen, dieses Problem gelöst werden.

Eine Lösung ist auch deshalb zu erwarten, da der Gerätekonstrukteur sich diesem Maß anpassen kann. Der geräte-seitige Gelenkwellenanschluß kann so, ohne Einengung der Konstruktionsmöglichkeiten, der Schlepperzapfwelle in der Höhen- und Abstandslage angepaßt werden. Für Gelenkwellen könnten dann Normlängen in der Form, wie es beispielsweise bei anderen Normteilen üblich ist, festgelegt werden, und zwar bei gleichzeitiger Angabe von Vorzugslängen. Die etwa 280 notwendigen Längen — dies ist das Ergebnis einer Marktuntersuchung, bei der das nachträgliche Ablängen nur zum Teil enthalten ist — könnten durch etwa 15 Längen ersetzt werden. Der Grundstein für zweckmäßig erscheinende weitere Normungsvorhaben wäre damit gelegt. Vor allem könnte aber bei Einhaltung dieser Normen jedes Gerät mit jedem Schlepper gekoppelt werden, ohne Teile austauschen oder anpassen zu müssen.

Gelenkwellenarten für die verschiedenen Anordnungen stehen für optimale kinematische Verhältnisse zur Verfügung. Für Winkelverzerrungen, wie sie zum Beispiel bei der Zugmaulanhängung immer zu erwarten sind, können die bewährten Weitwinkel-Gleichauf-Konstruktionen gewählt werden.

#### 5. Die Gelenkwellen-Schnellkupplung

Die wechselweise Austauschbarkeit zwischen Schlepper und Gerät könnte bei Beachtung der zuvor erwähnten Normrichtlinien dann nur noch durch die zu erwartenden unterschiedlichen Zapfwellenprofile gestört werden. Eine genügend dimensionierte umschaltbare Einheitszapfwelle wäre zu wünschen. Vorschläge, nach denen unterschiedliche Profile ohne Verlängerung auf ein einheitliches Profil gebracht werden können, liegen vor. Die im Bild 6 gezeigte Lösung läßt die Variationsmöglichkeiten erkennen. Durch diese Lösung würde auch das Kuppeln der Gelenkwelle wesentlich erleichtert. Im Zuge der zur Ein-Mann-Bedienung führenden Weiterentwicklung ist dieses Kuppel-element auch mit dem Geräte-Schnellkuppler, der zum Beispiel als A-Rahmen ausgeführt ist, verwendbar. Das Kuppeln der Gelenkwelle würde mit dem allgemeinen Kuppelvorgang erfolgen.

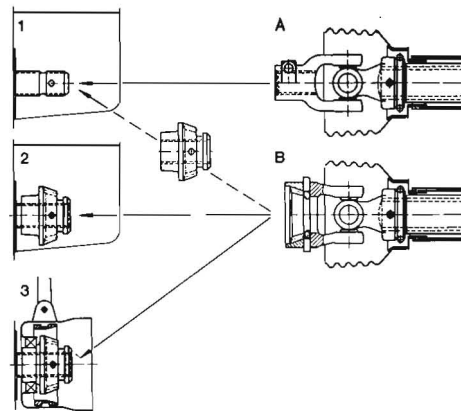


Bild 6: Kegelschnellkuppler für Gelenkwellen

- 1+A Istzustand
- 1+B Kegel-Schnellkuppler  
(Kegel zusätzlich erforderlich)
- 2+A Istzustand (Kegel entfernen)
- 2+B Kegel-Schnellkuppler
- 3+A Istzustand (Kegel entfernen)
- 3+B Kegel-Schnellkuppler mit  
Vollschutz

#### 6. Zusammenfassung

Die Vielzahl der verschiedenen Arten der Zapfwellengeräte erfordert eine starke Beachtung der Zusammenhänge bei der mechanischen Kraftübertragung. Ausgehend von der heutigen Konstruktion für Zapfwellenantriebe wird auf die Zapfwellenbeanspruchungen und deren Ursache hingewiesen. Zu den vielen Anforderungen, denen eine Arbeitsmaschine unterliegt, sind die aus den kinematischen Verhältnissen einer Kreuzgelenkwelle resultierenden Beanspruchungen der Anschlüsse zu beachten. Zur Minderung der Einflußfaktoren werden Vorschläge hinsichtlich der Lage der Gelenkwellenanschlüsse unterbreitet, die eine Grundlage für weitere Normungsarbeiten sein können. Ebenso werden Gelenkwellenausführungen vorgeschlagen, die den Erfordernissen entsprechen. Auf neue Gelenkwellen-Schnellkupplungen wird hingewiesen. Die mechanische Kraftübertragung vom Schlepper zur Landmaschine bleibt durch ihre Anpassungsmöglichkeiten eine moderne und zukunfts-sichere Lösung.

#### 7. Schrifttum

- [1] Kupplungs-Druckschriften der Firma Walterscheid, Ausgaben 1970
- [2] GÖRLICH, D.: Theoretische Untersuchung der Schwingungsvorgänge beim Schalten von Reibkupplungen. Automobil-Industrie 15 (1970) S. 57—67
- [3] MOSER, E.: Bewegungen, Kräfte und Momente in Gelenkwellenrieben für Landmaschinen. Heft 5 der Fortschritts-Berichte VDI-Z, Reihe 14. Düsseldorf
- [4] Gelenkwellenhandbuch. Ausgabe 1970. Herausgegeben von der Firma Walterscheid
- [5] Zulässige Zapfwellendrehmomente. Unveröffentlichter Bericht der Zahnradfabrik Friedrichshafen AG. Friedrichshafen 1970
- [6] BUSSIEN, R.: Automobiltechnisches Handbuch. 18. Auflage, Bd. II, Berlin 1965

#### Produkt-Management für die Investitionsgüterindustrie

Die heutige Kurzlebigkeit vieler Erzeugnisse zwingt die Industrie in zunehmendem Maße, sich zur Produktentwicklung eines methodischen Produkt-Managements durch Koordination marktwirtschaftlicher und technischer Informationen zu bedienen und moderne Systeme zur Entscheidungsvorbereitung anzuwenden.

Das VDI-Bildungswerk des Vereins Deutscher Ingenieure veranstaltet deshalb am 1. und 2. März 1971 in Düsseldorf, Graf-Recke-Str. 84 (VDI-Haus), ein Seminar zum Thema „Produkt-Management für die Investitionsgüterindustrie“.