

# Konzept für leistungsverzweigte Getriebe

*Viele Land- und Baumaschinen verfügen über vollhydrostatische Antriebe, die neben großen Vorteilen auch zahlreiche Nachteile haben (schlechter Wirkungsgrad und schlechtes Lärmverhalten). Ein mehrfach leistungsverzweigtes Getriebe in offener Bauform kann diese Nachteile kompensieren. Mehrere Abtriebe verwenden dabei einen gemeinsamen Getriebezweig als Hauptgetriebe. Für ein solches Getriebe sind fast unendlich viele Schaltungs- und Steuerungsstrategien entsprechend den jeweiligen spezifischen Anforderungen denkbar. Das Getriebekonzept der mehrfachen Leistungsverzweigung und der aufgelösten Getriebebauform kann auch auf (teil-)elektrische Antriebe übertragen werden.*

Prof. Dr. Peter Pickel ist Dekan der Landwirtschaftlichen Fakultät und Direktor des Instituts für Agrartechnik und Landeskultur der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Ludwig-Wucherer-Str. 81, 06108 Halle(Saale); e-mail: [peter.pickel@landw.uni-halle.de](mailto:peter.pickel@landw.uni-halle.de)

## Schlüsselwörter

Bau- und Landmaschinen, hydrostatischer Antrieb, leistungsverzweigtes Getriebe

## Keywords

Construction and farm machines, hydrostatic drives, power-split transmission

## Literatur

[1] Pickel, P.: Antriebssystem für mobile Arbeitsmaschinen. VDI-Max-Eyth-Gesellschaft, VDI-Berichte Nr. 1798. Vortrag, Tagung Landetechnik, Hannover, 2003, S. 245-250

Ein guter Antrieb für eine mobile Arbeitsmaschine verbindet die Vorteile der Hydrostatik mit dem guten Wirkungsgrad eines mechanischen Getriebes. Bei Traktoren wurden seit Mitte der 90er Jahre hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigte Getriebe in den Markt eingeführt. Während stufenlos-leistungsverzweigte Getriebe bei Traktoren heute Stand der Technik sind, konnte diese Technologie noch nicht auf andere Maschinen übertragen werden, bei denen neben dem Fahrtrieb weitere Arbeitsorgane mit ähnlich hohem Leistungsniveau mechanisch angetrieben werden müssen.

Am Institut für Agrartechnik und Landeskultur der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg wurde zusammen mit dem Forschungs- und Beratungszentrum Merseburg e.V. ein neues Antriebskonzept entwickelt, das bei vielen Landmaschinen angewendet werden kann. Ergebnis der Entwicklung ist ein mehrfach leistungsverzweigter Antrieb in aufgelöster Bauform, wobei mehrere Abtriebe der Maschine einen gemeinsamen Getriebezweig als Hauptgetriebe nutzen. Ausgangspunkt der Überlegungen zu einem modifizierten Antriebskonzept für mobile Arbeitsmaschinen war eine Baumaschine - der Straßenfertiger. Dort existieren zahlreiche Einzelantriebe, darunter die Kettenfahrwerke, Förderschnecken und Kratzer- und Förderbänder [1]. In diesen rotatorischen Antrieben wird der größte Teil der Maschinenleistung umgesetzt. Generell haben sich für alle funktional wichtigen Antriebe im Straßenfertiger hydrostatische Komponenten durchgesetzt.

Ein Verbrennungsmotor treibt hier in der Regel über ein Pumpenverteilergetriebe PVG alle Hydraulikpumpen an. Sekundärseitig werden für den Fahrtrieb durchgängig Enduntersetzungsgetriebe hinter den Hydromotoren eingesetzt. Häufig werden solche Getriebe auch für die Fördereinrichtungen (Kratzerbänder und Schnecken) verwendet, da diese unter Umständen kostengünstiger sind als die sonst erforderlichen hydraulischen Langsamläufer-Motoren.

Diesen Aufbau findet man in seinem Grundkonzept ähnlich bei zahlreichen Landmaschinen - und zwar insbesondere bei Selbstfahrern.

Der schlechte Wirkungsgrad ist direkt oder indirekt eines der konzeptionellen

Hauptprobleme heutiger hydrostatisch angetriebener mobiler Arbeitsmaschinen. Ein modernes Antriebskonzept muss eine bessere Effizienz der Maschine ermöglichen. Dadurch soll erreicht werden:

1. Niedrigerer Kraftstoffverbrauch
2. Eventuell kleinere Verbrennungsmotoren bei gleich großer Leistung
3. Geringere Herstellkosten durch Einsatz kleinerer Hydraulikkomponenten
4. Geringere Herstellkosten durch Wegfall einzelner Hydraulikkomponenten
5. Bessere Kühlung
6. Reduktion der Lärmemission
7. Einsparung von Bauraum, dadurch
8. Besserer Schallschutz

Alle weiteren Maschinenanforderungen müssen mindestens genauso gut erfüllt werden wie bisher.

## Die Konzeptidee

Von dem eingangs erwähnten Grundprinzip der Leistungsverzweigung ausgehend wurde in [1] ein Antriebskonzept für Straßenfertiger entwickelt, das in *Bild 1* schematisch dargestellt ist. Danach wird im hinteren Bereich des Fertigers für die Antriebe Fahrtrieb, Förderbänder und Schnecken eine gemeinsame mechanische Antriebswelle AW vorgesehen. Diese ist über eine mechanische Übertragung K und ein zentrales Verteilergetriebe ZVG mit dem Dieselmotor M verbunden. Das ZVG hat neben Abtrieben für hydrostatische Pumpen P einen mechanischen Abtrieb. Die mechanische Übertragung K kann als Kardanwelle, Kette oder auf andere Art und Weise realisiert werden. Die gemeinsame Welle AW ist jeweils mit den Antriebsrädern von Fahrtrieb und Förderbändern über Dreiwellegentriebe (Summiergetriebe S<sub>1</sub> bis S<sub>4</sub>) verbunden, wobei auf der jeweils zweiten Eingangswelle der Summiergetriebe ein Hydraulikmotor HM sitzt. Die Getriebe S<sub>1</sub> bis S<sub>4</sub> sind also die Summiergetriebe von mehreren hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigten Getrieben mit gemeinsamer mechanischer Versorgung. Die Schnecken und weitere Antriebe können über eine zweite Übertragung K<sub>2</sub> ähnlich angeschlossen werden.

Die abstrakte Darstellung dieser Basisidee, die auch mit elektrischen Getrieben ausgeführt werden kann, zeigt *Bild 2*. Die Zahl

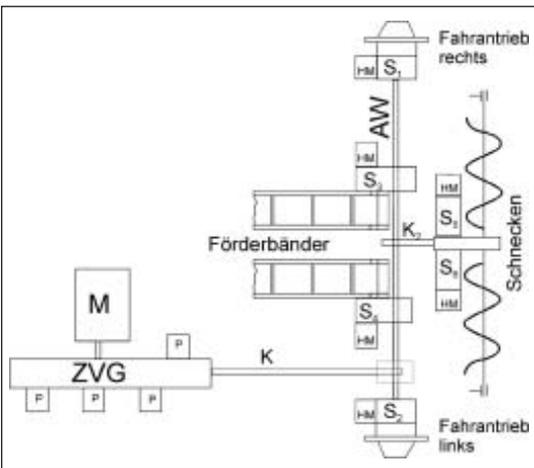


Bild 1: Schematisch dargestellter leistungsverteilter Antrieb für Straßenfertiger

Fig. 1: Schematic diagram of a power-split drive for a road paver

der Abtriebe kann beliebig erhöht oder verringert werden. Das Hauptgetriebe HG kann vor oder hinter dem inneren Verteilgetriebe V liegen. Das Verteilgetriebe V kann über zusätzliche Wandler verfügen. Verteilgetriebe V und Wandler HG können, wie in Bild 1 und 2 dargestellt, in einem gemeinsamen Getriebegehäuse ZVG untergebracht sein.

Bei vielen landwirtschaftlichen Selbstfahrern ließe sich dieses Konzept realisieren. Als Voraussetzung sollte dabei erfüllt sein, dass die Arbeitsgeschwindigkeit in einem relativ begrenzten Bereich liegt.

Zur Auslegung des gemeinsamen Antriebszweigs liegt es nun nahe, die Drehzahl der gemeinsamen Antriebswelle AW auf die im Hauptbetriebs- oder Hauptarbeitspunkt des größten Leistungsabnehmers benötigte Drehzahl einzustellen, so dass in diesem Arbeitspunkt keine Leistung über die stufenlosen (hydrostatischen) Nebenge triebe SLW<sub>i</sub> übertragen wird. Das jeweilige Stufenlosgetriebe SLW ist also für diesen Betriebspunkt auf Drehzahl 0 eingestellt.

Alle Summiergetriebe können eine solche Grundübersetzung haben, dass jeweils bei stillstehendem stufenlosen Teilgetriebe die typische oder häufigst gewählte Arbeitsdrehzahl erreicht wird.

Dies ist die energetisch optimale Lösung, die jedoch konstruktiv einige erhebliche Nachteile hat. Diese Antriebsstrategie kann modifiziert werden. Möchte man beispielsweise das Auftreten von Blindleistung vermeiden oder reduzieren, kann der Auslegungspunkt für die Drehzahl der Antriebswelle AW theoretisch verringert werden.

Die Vorteile des Antriebs- und Auslegungskonzepts liegen auf der Hand:

1. Höchste Wirkungsgrade
2. Niedrige Kühlleistung
3. Geringe Lärmemission, da geringerer hydrostatischer Leistungsanteil
4. Leistungsärmere (und damit billigere) Hydraulikkomponenten einsetzbar

5. Verzicht auf Verstellmotoren (nur Verstellpumpen ausreichend)
6. Freiwerdender Bauraum durch kleinere Kühler
7. Freiwerdender Bauraum durch kleineren Hydrauliktank
8. Bessere Schalldämpfer (wegen größerem verfügbarem Bauraum) möglich
9. Gute Regelbarkeit der Abtriebsdrehzahl

Nachteilig sind jedoch:

1. Zusätzliche Übertragungsglieder erforderlich (bei gemeinsamem mechanischen Antriebszweig etwa Kardanwelle K, Antriebswelle AW, Kette K<sub>2</sub>)
2. Das Verteilergetriebe ZVG ist aufwändiger als das ursprüngliche PVG (eine zusätzliche Abtriebswelle)
3. Der (mechanische) Antriebszweig muss prinzipbedingt auf volle Leistung bei niedriger Drehzahl ausgelegt werden. Das hat hohe Drehmomente mit sehr hohen Festigkeitsanforderungen zur Folge.
4. Die Zahl der Hydraulikkomponenten kann nicht reduziert werden.
5. Die hydraulischen Teilantriebe müssen eine durch Drehzahl 0 gehende stufenlose Drehrichtungsumkehr ermöglichen (dies ist beim konventionellen Fertiger allerdings auch der Fall)
6. Drehzahlerhöhung für Transportfahrt erfordert eine oder mehrere Schaltstufen im gemeinsamen Antriebszweig
7. Aufwendigere Endgetriebe (Dreiwellen statt Einwellengetriebe)

Senkt man gedanklich die Drehzahl der Welle AW, kann auf die Primärverstellung (mit Verstellpumpen) zugunsten einer reinen Sekundärverstellung (mit Verstellmotoren) verzichtet werden. In diesem Fall bietet es sich an, die Drehzahl des mechanischen Hauptgetriebes so ausulegen, dass sich die unterste Fahrgeschwindigkeit bei minimaler Drehzahl des hydraulischen Getriebes einstellt. Bei Verwendung von Konstantpumpen und Verstellmotoren ist dann theoretisch Folgendes erreichbar:

1. Keine Blindleistung im Arbeitsbereich (Abtrieb ist Gesamtleistungswelle)
2. Kennfeld entsprechend Zugkrafthyperbel
3. Hydrostatisches Bremsen
4. Deutliche Reduktion hydraulischer Komponenten (Zusammenfassung von Versorgungspumpen möglich)
5. Transportgeschwindigkeit ohne mechanische Schaltung durch Erhöhung des Volumenstroms, indem im Transport nicht genutzte Abtriebe gebremst werden und Aufschaltung der Motoren als Versorgungspumpen
6. Niedrigere Fahrgeschwindigkeit und Drehrichtungsumkehr (Rangierbetrieb) durch Reversierung der Motoren (es entsteht ein Totbereich nicht abdeckbarer Geschwindigkeiten)
7. Gute Regelbarkeit durch hohe sensorische Drehzulauflösung auch bei Arbeitsgeschwindigkeit nahe 0

Der Hauptnachteil sind die hohen Drehmomente im Hauptantrieb. Dieser Nachteil kann jedoch kompensiert werden, wenn die Drehzahl im gemeinsamen Antriebsstrang auf einen konstruktiv sinnvollen, relativ hohen Wert so festgelegt wird, dass sich bei Eingangsdrehzahl 0 des jeweiligen stufenlosen Getriebezweigs am Abtrieb des Summiergetriebes eine Drehzahl oberhalb der höchsten Arbeitsdrehzahl einstellen würde.

Die gewünschte Arbeitsdrehzahl muss dann über den jeweiligen stufenlosen Zweig so eingestellt werden, dass dieser der gemeinsamen Versorgung entgegenwirkt (also immer Blindleistung) liefert. Die vom Hauptgetriebe kommende Eingangswelle der Summiergetriebe ist im Arbeitsgang der Maschine dann immer die Gesamtleistungswelle. Dies ist energetisch betrachtet eine nicht optimale, aber noch gute Lösung. Letztlich lassen sich nahezu unendlich viele Konstellationen finden, um den individuellen Anforderungen zahlloser Applikationen gerecht zu werden.

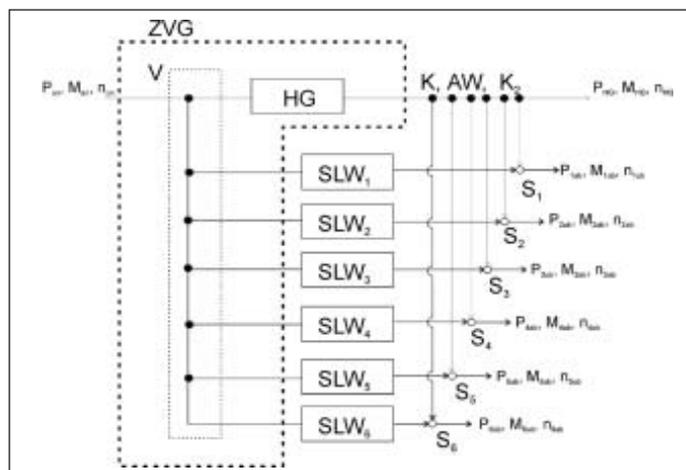


Bild 2: Blockschaftbild eines leistungsverteigten Getriebes mit mehreren Abtrieben und gemeinsamem Hauptgetriebe

Fig. 2: Modular mimic display of a power-split transmission with several power drives and a common main transmission