

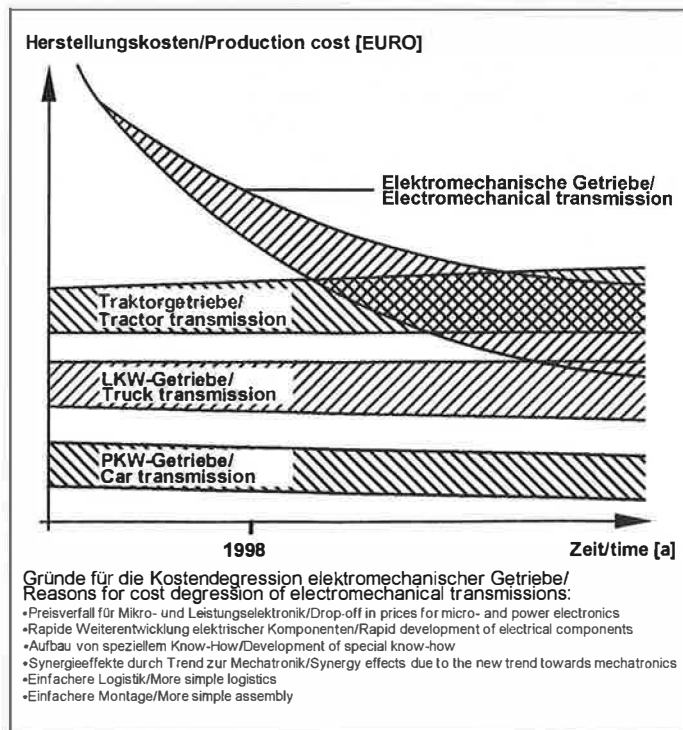
# Elektromechanische Traktorgetriebe

Getriebe mit Zukunft

*Elektromechanische Traktorgetriebe besitzen ein großes Innovationspotential. Während der letzten zehn Jahre wurden die Eigenschaften elektrischer Antriebe so verbessert und ihre Kosten derart gesenkt, dass die Substitution mechanischer oder mechanisch-hydrostatischer leistungsverzweigter Getriebe in Traktoren schon jetzt ernsthaft in Erwägung gezogen werden muss. Daher werden die Grundform eines elektromechanischen Traktorgetriebes vorgestellt und Variationsmöglichkeiten diskutiert. Die Grundform wurde in einem Prototyp mit dem Namen „Eltrac“ realisiert.*

Bild 1: Herstellungskosten verschiedener Getriebe

Fig. 1: Manufacturing cost of various transmissions



Zur weiteren Steigerung von Produktivität und Komfort, als Bestandteil von Systemen des Precision-Farming oder auch für neuartige Anwendungen fordern die Kunden bei modernen Traktoren zunehmend stufenlose Getriebe. Sie sollen

zudem robust sein, wenig Unterhalt erfordern und einen günstigen Wirkungsgradverlauf haben [1, 2, 3].

Vier mechanisch-hydrostatisch leistungsverzweigte Getriebe mit acht, vier oder zwei Stufen sind zwischenzeitlich auf dem Markt. Eine weitere Lösung sind elektromechanische Getriebe. Sie ergibt sich aus der naheliegenden Anwendung von neuen technologischen Entwicklungen aus dem Maschinenbau und der Elektrotechnik [4, 5].

## Stand der Technik

Vor allem durch Entwicklungen in den letzten zehn Jahren fanden elektrische Antriebe breitere Anwendung. Zu nennen sind

- die erhebliche Erweiterung des Drehzahlstellbereichs durch die Entwicklung von Hochleistungsumrichtern mit Schaltfrequenzen bis zu 50 KHz,
- die Ausdehnung des Konstantleistungsbereichs durch die Anwendung der feldorientierten Regelung mit Rotorlagerückführung und Feldschwächung,
- die Reduzierung der Baugröße durch optimierten Stromfluss und minimierte Verluste mit Hilfe von Simulationen, der Berechnung mittels der Finite-Elemente-Methode und die Verbesserung der Werkstoffe sowie
- die Entwicklung geeigneter Steuerungs- und Regelungssoftware.

Gleichzeitig setzte eine erhebliche Kostendegression durch größere Serien und dadurch fallende Fixkosten ein. Diese Entwicklung führte bereits bei zahlreichen technischen Produkten zum Ersatz aufwendiger mechanischer Getriebe und Steuerungen durch mechatronische Lösungen. So wurden in der Bahntechnik auch bei dieselgetriebenen Fahrzeugen die früher oft verwendeten hydraulischen Antriebe nahezu vollständig verdrängt. Ein ähnlicher Prozess findet im Werkzeugmaschinenbau statt. Dort werden die Spindeln heute meist direkt elektrisch und nicht mehr über aufwendige, mechanische Verstellgetriebe angetrieben. Ebenso werden in Flurförderzeugen wie Gabelstaplern zunehmend elektrische anstelle von hydraulischen Antrieben eingesetzt. Lediglich bei Straßenfahrzeugen ist der Einsatz elektrischer Antriebe wegen der geringeren Leistungsdichte (Baugröße und Gewicht) zur Zeit nur in Nischenprodukten wie Hybridbussen und Batteriefahrzeugen sinnvoll. Das kann sich jedoch in Zukunft ändern, wenn Brennstoffzellenantriebe oder die zurzeit in Entwicklung befindlichen mechanisch-elektrisch leistungsverzweigten Getriebe für Personenkraftwagen marktfähig werden. Gegenüber dem Stand der Technik bei Straßenfahrzeugen muss die Substitution mechanischer oder mechanisch-hydrostatisch leistungsverzweigter Getriebe in Trak-

Dr.-Ing. Dipl.Wirt.Ing. Roland Schmetz ist Geschäftsführer der Fa. Peter Josef Schmetz GmbH in 47533 Kleve, Oststr. 18, e-mail: pjsmail@t-online.de Grundlage dieses Beitrags ist ein Vortrag, der anlässlich der VDI/MEG-Tagung „Landtechnik 1998“ am 15.10.1998 in München gehalten wurde (siehe auch VDI-Berichte Nr. 1449; VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998, S. 1-6)

## Schlüsselwörter

Traktor, Getriebe, elektromechanisches Traktorgetriebe

## Keywords

Tractor, transmission, electromechanical transmission

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99201 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

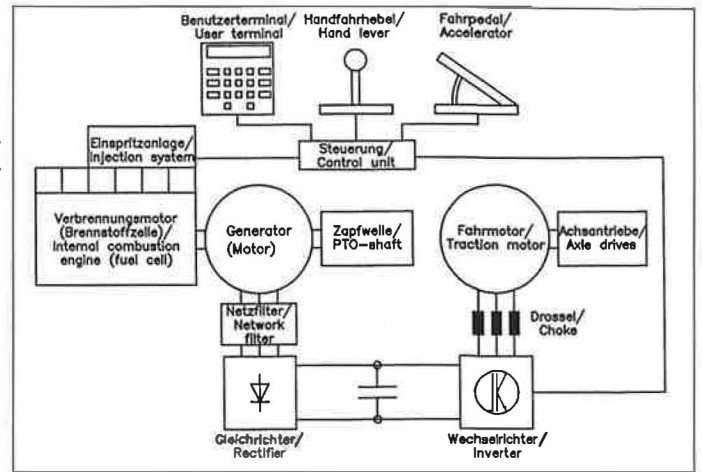
toren schon jetzt ernsthaft in Erwägung gezogen werden; denn hier besteht zwischen den speziellen Anforderungen an das Produkt sowie den Eigenschaften elektrischer Antriebe eine große Kongruenz.

Bekanntlich sind Traktorgetriebe wegen ihrer Baugröße, den übertragbaren Momenten sowie wegen ihres Stellbereichs teurer als vergleichbare Nutzfahrzeug- oder Personenkraftwagengetriebe. Der Trend zu lastschaltbaren oder mechanisch-hydrostatisch leistungsverzweigten Getrieben führt zu weiteren Kosten. Bei anhaltender Kostendegression für elektrische Antriebe sind hier in Zukunft Kostenvorteile zu erwarten (Bild 1).

- Systembedingte Nachteile wie größerer Bauraumbedarf und höheres Gewicht spielen bei Traktoren eine untergeordnete Rolle. Bezüglich des Wirkungsgradverlaufs und der Anwendungsmöglichkeiten sind elektrische Antriebe Lastschalt- oder mechanisch-hydrostatisch leistungsverzweigten Getrieben zumindest ebenbürtig. Sie besitzen ihnen gegenüber aber zahlreiche Vorteile wie
- stufenlose, kraftschlüssige Kraftübertragung vom Stillstand über Kriechgeschwindigkeiten bis zur maximalen Fahrgeschwindigkeit,
  - sanftes, ruck- und verschleißfreies Anfahren, Bremsen und Reversieren, auch unter maximaler Last,
  - freie Programmierbarkeit für automatisiertes Fahren, Fahren im optimalen Betriebsbereich, Fahren mit Tempomatfunktion, Übertragung der maximalen Zugkraft, Ausnutzung der maximalen Leistung,
  - Einsparung von Anlasser, Lichtmaschine,

Bild 2: Prinzipskizze eines elektromechanischen Getriebes

Fig. 2: Scheme of an electromechanical transmission



Konstantwasserpumpe, Riemmentrieb, Thermostat, Schwungrad, Kupplung, Betriebsbremse, Wende- und (Last-)Schaltgetriebe,

- idealer Motorzapfwellenbetrieb mit elektronischer Drehzahlregelung bei stufenlos variabler Fahrgeschwindigkeit durch nahezu vollständige Entkopplung von Motor- und Getriebedrehzahl,
- zusätzliche Verfügbarkeit der vollen Motorleistung in Form von Dreiphasen-Drehstrom sowie
- niedrige Betriebskosten durch einfachen Aufbau mit fast wartungsfreien Komponenten und hohem Gesamtwirkungsgrad.

Die Grundform eines elektrischen Traktorantriebs zeigt Bild 2. Dabei treibt ein Verbrennungsmotor einen Generator und die Motorzapfwelle an. Der für den Fahrtrieb benötigte Leistungsanteil wird in Form von Dreiphasen-Drehstrom am Generator abgegriffen, gleichgerichtet und dann über einen modernen Hochleistungsumrichter mit IGBT-Leistungshalbleitern wieder in Drehstrom mit variabler Spannung, Stärke und Frequenz umgewandelt. Mit diesem Strom wird dann ein Elektromotor angetrieben, der mit einem konventionellen Endantrieb verbunden ist. Die Bedienung des Antriebs so-

wie die Wahl der jeweiligen Fahrstrategie erfolgen dabei über einen Handfahrhebel oder ein Pedal sowie über ein Benutzerterminal. Aus dieser Grundform können bei Bedarf mehrere Varianten abgeleitet werden. Ersetzt man den Verbrennungsmotor durch eine Turbine, so muss der Generator an die veränderte Eingangsdrehzahl angepasst sowie ein weiterer Elektromotor für den Zapfwellenantrieb vorgesehen werden. Bei der Stromerzeugung durch Brennstoffzellen muss der Umrichter direkt an diese Zellen angeschlossen und das Wirkprinzip des Generators umgekehrt, also zum Antrieb der Zapfwelle genutzt werden. Ebenso ist die Verwendung der gezeigten Grundform als Bestandteil eines mechanisch-elektrisch leistungsverzweigten Antriebs möglich, indem man neben dem elektrischen einen zusätzlichen mechanischen Leistungsanteil von dem Durchtrieb des Verbrennungsmotors zur Zapfwelle abgreift und diese beiden Leistungsanteile in einem Planetengetriebe zusammenführt, dessen Summierungswelle dann mit dem Endantrieb verbunden wird.

Kriterium	mechanisch lastschaltbar	Getriebetyp		
		mechanisch	hydrostatisch-leistungsverzweigt	elektromechanisch
unter Last nutzbare Getriebestufen	z.B. 18/9	8	4	stufenlos (2 Bereiche)
hydrostatischer bzw. elektrischer Anteil	nicht relevant	0...33%	0...40 (50%)	0...100%
Reversierung	Rückwärts-vorgelege	mechanische Wendschaltung	hydrostatisch (nur eingeschränkt nutzbar)	elektrische Reversierung
maximales Anfahrmoment	0	--	-	+
Verhältnis von Motordrehzahl zu Fahrgeschwindigkeit	nur durch Getriebestufen variabel	entsprechend der Getriebestufen und dem hydrostatischen Anteil beschränkt nach oben hin variabel	entsprechend dem hydrostatischen Anteil nach oben hin variabel	weitestgehend entkoppelt
Möglichkeiten der Leistungsabgabe		Fahrtrieb, Zapfwelle		Fahrtrieb, Zapfwelle, 3-Phasen-Drehstrom
Verhalten im Dauerbetrieb	aufwendige Ölkühlung zur Stabilisierung von Temperatur, Viskosität und Übertragungsverhalten erforderlich, Störungsgefahr durch Ölalterung, Verunreinigungen und Kavitation			keine besonderen Maßnahmen erforderlich
einfacher mechanischer Aufbau	-	--	-	0
++ Kriterium sehr gut erfüllt	+ gut erfüllt	0 erfüllt	- mäßig erfüllt	-- kaum erfüllt

Tab. 1: Vergleich moderner Traktorgetriebe Table 1: Comparison of modern transmissions for tractors

### Prototyp „Eltrac“

Bei dem mit Mitteln aus dem Technologie-Programm Wirtschaft (TPW) des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Prototyp „Eltrac“ handelt es sich um einen serienmäßigen Traktor mit einer Leistung von 100 kW, bei dem das Lastschalt- und Gruppengetriebe durch einen Elektroantrieb ersetzt wurde. Dieser Prototyp ist etwas größer als ein serienmäßiger Traktor, weil die elektrischen Komponenten in einen serienmäßigen Traktor eingepasst werden mussten und bei Generator und Umrichter aus Kosten- und Verfügbarkeitsgründen bisher noch luftgekühlte Versionen verwendet werden. Bei Serienproduktion und Verwendung wassergekühlter Komponenten sind die ursprünglichen Abmessungen einzuhalten. Dennoch handelt es sich bei dem Prototyp um einen voll einsatzfähigen Traktor, an dem sich die genannten Vorteile praktisch nachvollziehen lassen. Ein Vergleich des realisierten elektromechanischen Getriebes mit lastschaltbaren und mechanisch-hydrostatisch leistungsverzweigten Getrieben erfolgt in Tabelle 1.