

Rainer Resch, Garching

Stufenlose Kettenwandler in Traktorgetrieben

Praktische und theoretische Untersuchungen zeigen das Potenzial des Kettenwandlers im stufenlosen Fahrtrieb für Traktoren der unteren Leistungsklasse. Ein erfolgreicher Serieneinsatz benötigt jedoch noch einigen Entwicklungsaufwand, um die vorhandenen Risiken zu minimieren.

Bereits vor mehr als 40 Jahren unternahm man erste Anstrengungen, um stufenlose Getriebe für landwirtschaftliche Traktoren einzuführen. Die gegenüber einem Stufengetriebe von der Motordrehzahl unabhängige Fahrgeschwindigkeit und der kraftschlüssige Geschwindigkeitswechsel wurden dabei als besonders bedeutsam erachtet [1]. Mittlerweile sind stufenlose, hydrostatisch-leistungsverzweigte Getriebe am Markt verfügbar [2]. Gemäß einer Kategorisierung nach Renius [3] in fünf weltweite Technologiestufen bei Traktoren ist der stufenlose Fahrtrieb typisch für die höchste Entwicklungsstufe.

Kettenwandler in Traktoren

Das Umschlingungsgetriebe, insbesondere der Zugkettenwandler als mechanischer Variator in einem Fahrtrieb wurde im Laufe der Zeit oft als Alternative bei kleinen Antriebsleistungen betrachtet. Die vergleichsweise hohen mechanischen Wirkungsgrade, im Bestpunkt mehr als 95 %, und der geringe Abfall bei Teillast sind Gründe hierfür [4]. In den Jahren 1957 bis 1968 untersuchte ins-

besondere die Fa. ZF in Zusammenarbeit mit P.I.V. Reimers zahlreiche Prototypgetriebe, bei denen ein Kettenwandler im direkten Leistungsfluss lag. Auch der Münchner Forschungstraktor hatte ein nach diesem Prinzip aufgebautes Getriebe [5]. Diese Konzepte haben unter anderem den Nachteil, dass die Marktanforderung „aktiver Stillstand“ nicht möglich ist, da der Laufradius der Kette nicht auf Null reduziert werden kann. Sehr früh wurde die Leistungsverzweigung als Möglichkeit zur gewünschten Spreizungserweiterung diskutiert [6]. Eine Lösung [7] für ein solches Getriebe mit zwei stufenlosen Fahrbereichen ist in *Bild 1* dargestellt. Im Fahrbereich L arbeitet das Getriebe leistungsverzweigt. Die Leistungsteilung findet im Umlaufgetriebe statt und der Variator wird durch Blindleistung belastet. Die Summierung erfolgt an der Stirnradstufe. Im Synchronpunkt erfolgt durch Verblockung des Planetensatzes der Bereichswechsel in den direkten Fahrbereich H. Die Spreizungserweiterung für den Fahrbereich L wird mit erhöhter Blindleistung im Variator und daher schlechten Wirkungsgraden bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten erkauft.

Dipl.-Ing. Rainer Resch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landmaschinen (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K. Th. Renius) der Technischen Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching, e-mail: resch@ltm.mw.tum.de

Schlüsselwörter

Traktor, stufenlose Getriebe, Kettenwandler, Simulation

Keywords

Tractor, continuously variable transmission, chain variator, simulation

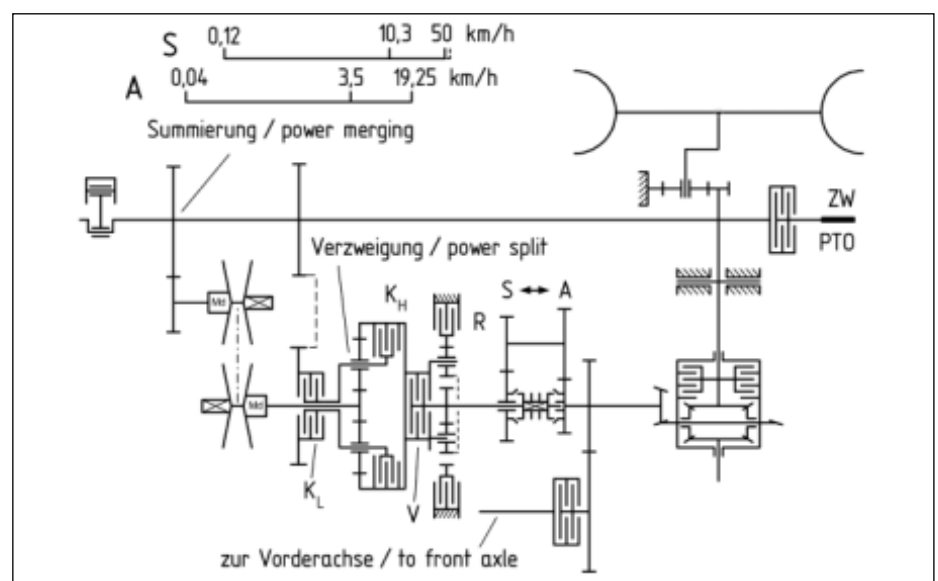


Bild 1: Stufenloses leistungsverzweigtes Traktorgetriebe mit Kettenwandler (Konzept)

Fig. 1: Infinitely variable power split transmission with chain variator (concept)

Der Faktor, um den die Blindleistung die Motorleistung übersteigt, kann als Hebel des Variatorwirkungsgrades auf den Gesamtwirkungsgrad interpretiert werden.

Systemuntersuchungen mit Simulationswerkzeugen

Am Lehrstuhl für Landmaschinen wird die dargestellte Struktur sowohl praktisch an einem Funktionsmodell als auch theoretisch mit Hilfe von Simulationswerkzeugen untersucht. Für die Simulation wurden dabei zwei grundsätzliche Modellierungsansätze gewählt:

- Quasistationärer Ansatz für Fragestellungen zu Wirkungsgraden und Einflussgrößen, wie etwa die Konfiguration der Versorgungshydraulik
- Dynamische Modellierung zur Untersuchung von bedeutsamen Betriebspunkten wie Bereichswechsel und aktivem Stillstand

Für stationäre, bei energetischen Untersuchungen maßgebliche Betrachtungen wurde der Antriebsstrang als zentral parametrierbares Modell in MATLAB/Simulink aufgebaut. Der modulare Aufbau ermöglicht einfache und weitgehend automatisierte Parameterstudien zu beliebigen Systemgrößen. Beschleunigungseffekte werden dabei bewusst vernachlässigt.

Das Getriebe wurde dabei zunächst so ausgelegt, dass der leistungsverzweigte Fahrbereich L in der Straßengruppe bis 10,5 km/h und der direkte Bereich H bis 50 km/h reicht. Bei einer Variatorspreizung von 5,5 ist eine minimale Fahrgeschwindigkeit von 0,12 km/h bei Nenndrehzahl möglich. Die maximale Geschwindigkeit kann wegen der Spreizungsreserve des Variators mit reduzierter Nenndrehzahl erreicht werden. In Bild 2 ist der Gesamtwirkungsgradverlauf über der Fahrgeschwindigkeit einschließlich Hinterachse und Hydraulik für einen Traktor mit 59 kW Nennleistung dargestellt. Zur Orientierung ist die Zielfunktion nach Renius [8] eingetragen. Auffällig ist der extrem steile, durch die hohe Blindleistung verursachte Abfall der Wirkungsgrade zur niedrigen Fahrgeschwindigkeit hin, wo die Zielfunktion deutlich unterschritten wird. Gegen Ende des Fahrbereichs L, bei geringer Variatorlast, kann die Dachkurve sogar übertroffen werden. Am Bereichswechsel kommt es zu einem Wirkungsgradsprung, der durch die Wandlerverluste verursacht wird.

Im oberen Geschwindigkeitsbereich werden gute Werte erreicht. Legt man den Schaltpunkt H/L durch Einführung einer Ackergruppe auf etwa 3,5 km/h, ergibt sich die zweite dargestellte Kurve. Während die maximale Fahrgeschwindigkeit nur noch 19 km/h beträgt, können im Hauptarbeitsbe-

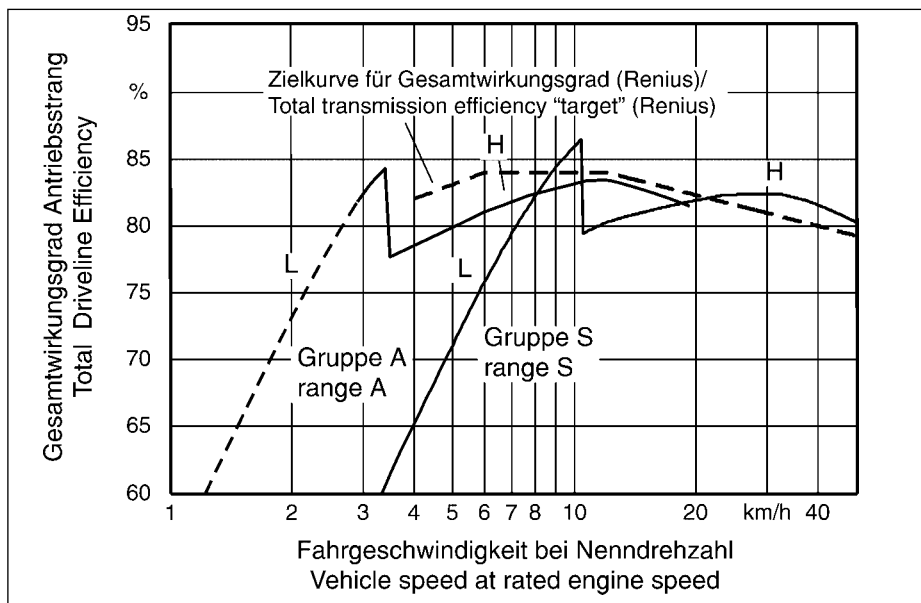


Bild 2: Simulationsergebnisse erwarteter Gesamtwirkungsgrade inklusive Hinterachse im Vergleich zur Zielkurve nach Renius [8]

Fig. 2: Simulation results for expected overall efficiencies including rear axle, compared with total transmission efficiency target by Renius [8]

reich die Wirkungsgrade deutlich gesteigert werden. Zwischen 4 und 12 km/h fallen mehr als 60% der Gesamtzeit bei landwirtschaftlichen Arbeiten an [9]. Berücksichtigt man das Geschwindigkeitskollektiv und die durchschnittliche Motorauslastung, schneidet ein derartiger Fahrentrieb nur unwesentlich schlechter als hydrostatisch-leistungsverzweigte Lösungen ab.

Der Bereichswechsel H/L wird mit Hilfe des dynamischen Simulationsmodells näher untersucht. Der vorhandene Funktionsprüfstand mit Kettenwandler und dessen hydraulischer Steuerung wurde mit der Software AMESim abgebildet und mit Prüfstandsmessungen abgeglichen. Eine Software-schnittstelle ermöglicht die Nutzung des Potenzials von MATLAB/Simulink hinsichtlich des Regler- und Steuerungsentwurfs. Insbesondere die Umkehr des Leistungsflusses in den beiden Fahrbereichen, die mit einer Änderung des Lastniveaus verbunden ist, stellt große Anforderungen an die Ansteuerung des Variators. Ersten Ergebnissen zufolge sind die beiden Kupplungen und der Variator gleichzeitig geeignet anzusteuern, um den Schaltvorgang möglichst stoßfrei zu gestalten [10].

Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- [1] Meyer, H.: Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. Grundle. Landtechnik 9 (1959), H. 11, S. 5-12
 - [2] Renius, K.Th. und R. Resch: Motoren und Getriebe bei Traktoren. Jahrbuch Agrartechnik 15 (2003), S. 50-54 und 271-272
 - [3] Renius, K.Th.: Global Tractor Development: Product Families and Technology Levels. Vortrag: 30. Symposium „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Opatija, Croatia, 12.-15. 3. 2002
 - [4] • Sauer, G.: Grundlagen und Betriebsverhalten eines Zugketten-Umschlingungsgetriebes. Dissertation, Technische Universität, München, 1996; Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12 H. 293; VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
 - [5] • Kirste, Th.: Entwicklung eines 30-kW-Forschungstraktors als Studie für lärmarme Gesamtkonzepte. Dissertation, Technische Universität, München, 1989; Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 14, Nr. 43; VDI Verlag 1989, Düsseldorf, 1989
 - [6] Renius, K.Th.: Stufenlose Drehzahl-Drehmoment-Wandler in Ackerschleppergetrieben. Grundle. Landtechnik 19 (1969), H. 4, S. 109-118
 - [7] Kress, J.H.: Getriebe, insbesondere für landwirtschaftlich genutzte Motorfahrzeuge. Patentschrift 1232834
 - [8] Renius, K.Th.: Trends in Tractor Design with Particular Reference to Europe. Journal of Agricultural Engineering Research 57 (1994), pp. 3-22
 - [9] Renius, K.Th.: Festlegung der Getriebeabstufung von Ackerschleppern nach Fahrgeschwindigkeitskollektiven. Grundle. Landtechnik 30 (1980), H. 1, S. 7-15
 - [10] • Jürgens, G.: Potentiale und Risiken von Geared-Neutral-Strukturen stufenloser Getriebe. Dissertation, Technische Universität, Graz, 1995