

Möglichkeiten des Traktorantriebes mit Konstantleistungsmotor und elektronisch geregelter Einspritzpumpe

Possibilities of the Tractor Driveline with Constant Power Engine and Electronically Controlled Injection Pump

Alfred Stroppel und Fritz Görner

Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

Kurzfassung: In Heft 1/1995 [1] dieser Zeitschrift wurde ein neues Traktor-Antriebskonzept erläutert, das als Grundlage einen Motor mit extremer Konstantleistung hat. Dieses Konzept kann mittels einer elektronisch geregelten Einspritzpumpe erweitert und verbessert werden, was insbesondere für Zapfwellenarbeiten interessant ist. Darauf wird im Detail eingegangen. Außerdem wird darauf hingewiesen, daß die beschriebene Technologie in Verbindung mit einem stufenlosen Fahrtrieb dazu benutzt werden kann, um auch einen stufenlosen Zapfwellenantrieb zu realisieren.

Deskriptoren: Traktor, Konstantleistungsmotor, elektronische Einspritzpumpe, Getriebe, stufenlose Zapfwelle

Abstract: In number 1/1995 [1] of this journal a new driveline concept for tractors was described, which has a constant power engine with an extreme characteristic as basis. This concept can be enlarged and improved by an electronically controlled injection pump, which is interesting especially in connection with pto work. This will be deepened in detail in this paper. Furthermore it will be shown, that the described concept can be used for a stepless pto driveline in connection with a stepless travelling driveline.

Keywords: tractor, constant power engine, electronically controlled injection pump, transmission, stepless pto

1 Einleitung

Zwei Trends sind bei den Motoren leistungsstarker Traktoren (ab 125 kW) in Zukunft zu berücksichtigen. Gemeint sind die Trends zu ladeluftgekühlten Turbomotoren und zur elektronisch geregelten Einspritzpumpe. Diese Trends sind nicht mehr aufzuhalten, weil die zukünftigen Emissionsbestimmungen dieses erzwingen werden. Ladeluftgekühlte Turbomotore, die schon heute Realität sind, und elektronisch geregelte Einspritzpumpen ermöglichen jedoch nicht nur eine Minimierung der Abgas-Emissionen, sondern auch eine funktionelle Erweiterung des Motors, was u.a. dazu führen kann, daß der Motor nicht nur Aufgaben des Getriebes übernimmt, sondern auch diese noch verbessert. Dadurch werden neue Traktor-Antriebskonzepte möglich, was in [1] näher ausgeführt wurde und in diesem Aufsatz noch vertieft werden soll. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei für die finanzielle Unterstützung dieser Forschungsarbeit gedankt.

2 Stufenloser Fahrtrieb durch Konstantleistung

Grundlage des neuen Traktor-Antriebskonzeptes ist ein

Motor mit extremer Konstantleistungs-Kennlinie, wie in Bild 1 auf der rechten Seite zu sehen. Dieser Motor kann also die volle Motorleistung, in diesem Fall 150 kW, stufenlos von 1300 bis 2400 min^{-1} abgeben oder je nach Gang in einem entsprechenden stufenlosen Fahrgeschwindigkeitsbereich. Er hat einen Faktor des Drehzahl-Verstellbereichs bei konstanter Leistung von 1,85 (2400/1300). Dieser 150 kW-Turbo-Motor mit Ladeluftkühlung muß natürlich ein entsprechendes Hubvolumen haben, das bei

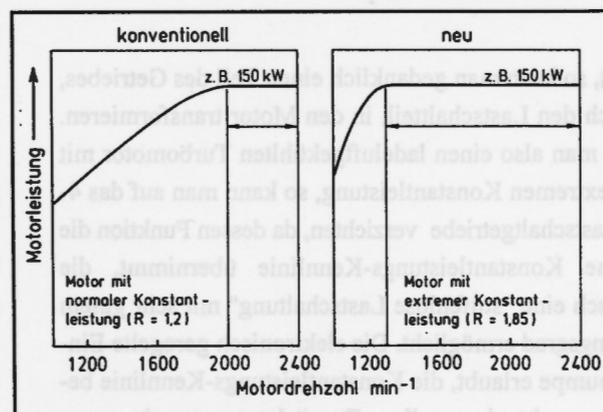


Bild 1: Leistungskennlinien

Fig. 1: Power characteristics

den derzeitig zulässigen Maximal-Zylinderdrücken von etwa 20 bar bei ca. 6,8 Liter liegt, was bei Traktor-Motoren nicht unüblich ist. Demgegenüber ist auf der linken Seite eine konventionelle Konstantleistungs-Kennlinie mit einem Verstellbereich von nur 1,2 (2400/2000) zu sehen. Diese konventionelle Kennlinie in Verbindung mit einer 4fach-Lastschaltung und einem synchronisierten 6-Gang-Hauptgetriebe mit 2fach Gruppengetriebe ergibt ein modernes Traktorgetriebe mit 48 Gängen, wie in Bild 2 zu sehen. Ersetzt man nun den Motor mit konventioneller Konstantleistungs-Kennlinie durch einen anderen mit der gezeigten extremen Konstantleistungs-Kennlinie (Bild 1,

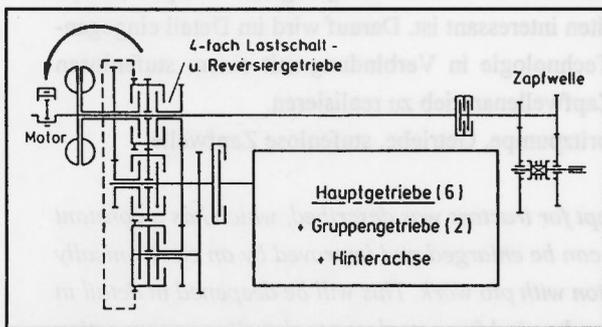


Bild 2: Modernes konventionelles Lastschalt-Getriebe
Fig. 2: Modern conventional powershift-transmission

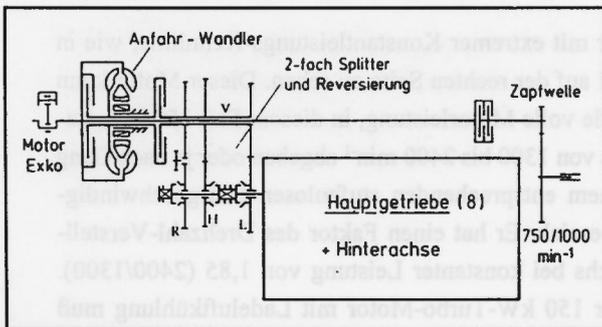


Bild 3: Neues Antriebskonzept
Fig. 3: New driveline concept

rechts), so kann man gedanklich einen Teil des Getriebes, nämlich den Lastschaltteil, in den Motor transformieren. Wählt man also einen ladeluftgekühlten Turbomotor mit einer extremen Konstantleistung, so kann man auf das 4-fach Lastschaltgetriebe verzichten, da dessen Funktion die extreme Konstantleistungs-Kennlinie übernimmt, die praktisch eine "stufenlose Lastschaltung" mit sehr gutem Wirkungsgrad ermöglicht. Die elektronisch geregelte Einspritzpumpe erlaubt, die Konstantleistungs-Kennlinie besonders exakt einzustellen. Damit kann man ein neues

Traktor-Antriebskonzept entwickeln, das vereinfacht in Bild 3 zu sehen ist und das in [1] im Detail erläutert worden ist. Durch die extreme Konstantleistung ist ein stufenloser Fahrtrieb in den für die landwirtschaftliche Arbeit wichtigen Teilbereichen möglich. Der Wirkungsgrad dieses stufenlosen Fahrtriebes, dem der Beinamen "Öko-Antrieb" gegeben wurde, ist beispielsweise im Hauptarbeitsbereich von 5,0 bis 12 km/h um etwa 5 %-Punkte besser als die in [2] vorgegebene Wirkungsgrad-Zielfunktion für stufenlose Traktor-Fahrtriebe, wie Bild 4 zeigt.

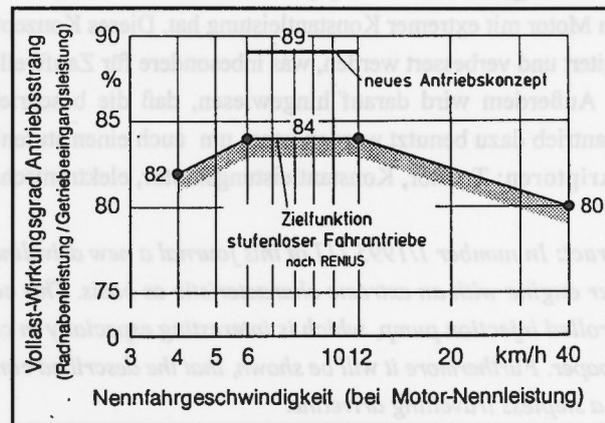


Bild 4: Vergleich der Wirkungsgrade
Fig. 4: Comparison of the efficiencies

Da der Konstantleistungsbereich der Gänge einen beträchtlichen Geschwindigkeitsbereich überstreicht, braucht man bei Zugarbeiten auf dem Feld nicht das Hauptgetriebe zu schalten, sondern nur mittels des Drehzahlverstellhebels die Geschwindigkeit unter Last stufenlos den Erfordernissen anzupassen. Dies kann man auch mittels der elektronisch geregelten Einspritzpumpe erreichen, indem man beliebige Zwischendrehzahlen bzw. Arbeitsgeschwindigkeiten des Konstantleistungsbereiches über das Bedienteil per Knopfdruck vorwählt. Es folgt dann ein automatischer Hochlauf auf die vorgewählte Motordrehzahl. Die vorgewählte Zwischendrehzahl bzw. Arbeitsgeschwindigkeit kann man über eine Handkorrekturtaste in kleinen Schritten nach oben oder unten korrigieren. Die gewählte Drehzahl kann mittels des Fahrpedals "überdrückt" werden, um schneller fahren zu können, was beispielsweise beim Wenden des Traktors mit ausgehobenem Gerät am Vorgewende des Feldes von Bedeutung sein kann. Beim Wiedereinsetzen des Gerätes erfolgt eine automatische Rückstellung auf den vorgewählten Geschwindigkeitswert.

Kritiker dieses neuen Antriebskonzeptes weisen darauf hin, daß bei Zapfwellenarbeiten wegen der konstant zu haltenden Zapfwelldrehzahl die Fahrgeschwindigkeit nicht unter Last geschaltet werden kann, was nach Meinung der Kritiker gegenüber einem Antriebskonzept mit 4fach Lastschaltung ein wesentlicher Nachteil sei. Wenn auch in der Praxis dieser Nachteil unbedeutend ist, da der vorgesehene 2fach Splitter mittels entsprechender Elektronik insbesondere bei Zapfwellenarbeiten quasi unter Last schaltbar ist [1], so kann man diesen Kritikpunkt mittels der elektronisch geregelten Einspritzpumpe völlig ausräumen, worauf im Folgenden näher eingegangen werden soll.

3 Zapfwellen-Arbeiten mittels elektronisch geregelter Einspritzpumpe

Praktiker wissen, daß Zapfwellenarbeiten in der Bodenbearbeitung nicht an eine 100%ig exakte Zapfwelldrehzahl, beispielsweise von 1000 min^{-1} , gebunden sind. Abweichungen von -10% bis $+15\%$ können ohne weiteres toleriert werden, ohne daß darunter der Arbeitseffekt leidet. Diese Abweichungen können auch deswegen akzeptiert werden, da es bei der zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitung erst einmal auf das Verhältnis von Vorwärtsgeschwindigkeit zu Umfangsgeschwindigkeit der Bodenbearbeitungswerkzeuge ankommt, und das bleibt bei sich ändernder Zapfwelldrehzahl infolge Motordrehzahländerung konstant. Bei der 1000er Zapfwelle wäre das ein zulässiger Drehzahlbereich von 900 bis 1150 min^{-1} . Damit ist auch der entsprechende Motordrehzahl- und Arbeitsgeschwindigkeits-Bereich festgelegt. Es gibt unter diesen Voraussetzungen für die Gänge 3 bis 5 (siehe [1]), die für die zapfwellengetriebene Bodenbearbeitung in erster Linie infrage kommen, unter Berücksichtigung der HL-Stufe die folgenden Geschwindigkeitsbereiche, bei denen mit der 1000er Zapfwelle bei Nennleistung gearbeitet werden kann:

- 5. Gang 5,6 bis 9,0 km/h
- 4. Gang 4,3 bis 6,9 km/h
- 3. Gang 2,7 bis 4,4 km/h

Diese stufenlosen Arbeitsgeschwindigkeits-Bereiche reichen im allgemeinen aus, wenn genügend Leistungsreserve vorhanden ist. Das kann bei folgendem Einsatzfall ein Problem sein. Führt man beispielsweise mit einer zapfwellengetriebenen Saatzkombi an eine Steigung, so reicht u.U. das Radmoment an der unteren Bereichsgrenze der Geschwindigkeit nicht mehr aus; also beispielsweise im 5. Gang das Radmoment bei

5,6 km/h. Zum Zwecke der Radmomentsteigerung müßte auf eine niedrigere Geschwindigkeit unter Last zurückgeschaltet werden, ohne daß die Zapfwelldrehzahl die zulässige Bereichsgrenze unterschreitet. Bei dem neuen Antriebskonzept ist das jedoch nicht möglich und auch nicht notwendig, weil man hierfür die elektronisch geregelte Einspritzpumpe mit Erfolg einsetzen kann. Das soll im Folgenden anhand des Bildes 5 näher erläutert werden. Die linke Seite in Bild 5 enthält die Leistungs- und Momentenkennlinie eines 150 kW Traktors mit einer extremen Konstantleistung von 1300 bis 2400 min^{-1} ohne

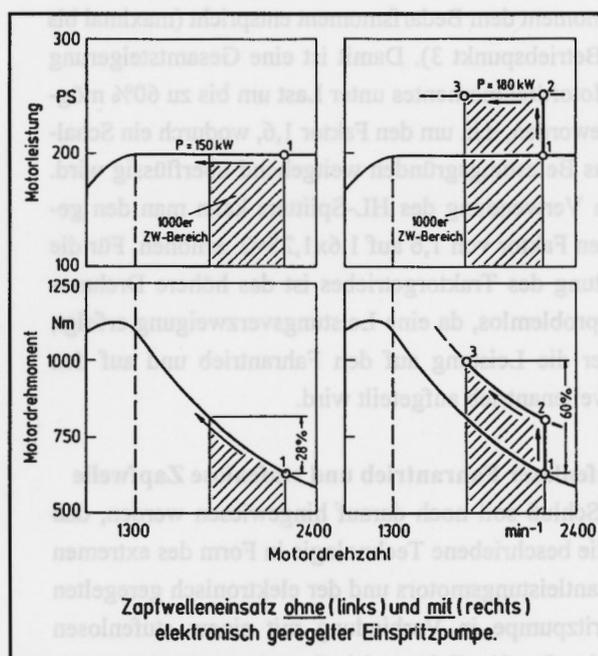


Bild 5: Zapfwelleneinsatz

Fig. 5: Use of pto

Verwendung einer elektronisch geregelten Einspritzpumpe. Eingezeichnet ist der erläuterte zulässige Motordrehzahlbereich für die 1000er Zapfwelle. Hat man nun bei einer Zapfwellenarbeit eine Belastung und Drehzahl entsprechend Betriebspunkt 1, so kann das Motor-Drehmoment um ca. 28% gesteigert werden, d.h. um den Faktor 1,28, bis man an die untere Grenze des zulässigen Drehzahlbereiches gelangt. Eine weitere Steigerung des Motor-Drehmomentes würde einen unzulässigen Abfall der Zapfwelldrehzahl bedeuten, was vermieden werden soll. Durch Verwendung des HL-Splitters mit Stufensprung 1,25 kann die lastschaltbare Momentensteigerung von 1,28 auf $1,28 \times 1,25 = 1,6$ gesteigert werden. Noch mehr kann man mit der elektronisch geregelten Einspritzpumpe erreichen, was mittels der beiden Diagramme auf der rech-

ten Seite von Bild 5 gezeigt werden soll. Die Motordrehzahl an der oberen Grenze des zulässigen Drehzahlbereiches (Betriebspunkt 1) kann über die elektronisch geregelte Einspritzpumpe als "Zwischendrehzahlregelung" per Knopfdruck eingestellt werden, wobei für Zapfwellenbetrieb und für die entsprechenden Motordrehzahlen eine Konstantleistung von 180 kW einprogrammiert wurde, was bei dem gewählten 6,8 Liter-Motor möglich ist. Überschreitet das Motordrehmoment infolge steigender Einsatzbelastung den Wert bei Betriebspunkt 1, so wandert der Betriebspunkt allmählich nach 2. Reicht dieses hohe Drehmoment auch nicht aus, dann sinkt die Drehzahl bei steigendem Vollast-Drehmoment so lange, bis das Drehmoment dem Bedarfsmoment entspricht (maximal bis zum Betriebspunkt 3). Damit ist eine Gesamtsteigerung des Motordrehmomentes unter Last um bis zu 60% möglich geworden, d.h. um den Faktor 1,6, wodurch ein Schalten aus Belastungsgründen weitgehend überflüssig wird. Durch Verwendung des HL-Splitters kann man den genannten Faktor von 1,6 auf $1,6 \times 1,25 = 2$ erhöhen. Für die Belastung des Traktorgetriebes ist das höhere Drehmoment problemlos, da eine Leistungsverzweigung erfolgt, bei der die Leistung auf den Fahrtrieb und auf den Zapfwellenantrieb aufgeteilt wird.

4 Stufenloser Fahrtrieb und stufenlose Zapfwelle

Zum Schluß soll noch darauf hingewiesen werden, daß man die beschriebene Technologie in Form des extremen Konstantleistungsmotors und der elektronisch geregelten Einspritzpumpe in Verbindung mit einem stufenlosen Getriebe für den Fahrtrieb dazu benutzen kann, um neben dem stufenlosen Fahrtrieb auch einen stufenlosen Zapfwellenantrieb zu realisieren, was wohl die ideale Traktortriebstechnik wäre. Dies soll mit Bild 6 angedeutet werden. Um welches stufenlose Getriebe es sich beim Fahrtrieb handelt, ob Kettentrieb oder hydrostatisches Getriebe, ist gleichgültig. Soll der Zapfwellenantrieb bei Nennleistung stufenlos einstellbar sein, und zwar zwischen 750 und 1100 min^{-1} , so benötigt man einen Konstantleistungsbereich von 1,5 (1100/750), also von 2400

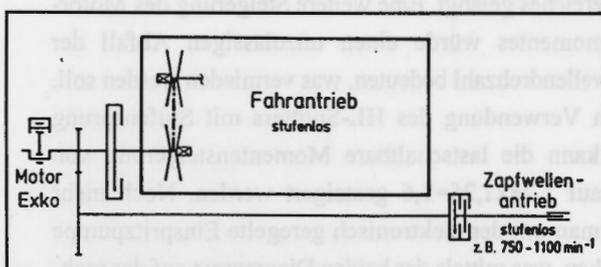


Bild 6: Stufenloser Fahr- und Zapfwellenantrieb

Fig. 6: Stepless travelling and pto driveline

bis 1600 min^{-1} . Über das Drehzahlgestänge kann man nun die Zapfwellendrehzahl innerhalb dieses Drehzahlbereiches stufenlos auf einen bestimmten Wert einstellen. Die vorgewählte stufenlos einstellbare Fahrgeschwindigkeit wird dabei durch Nachregeln des Antriebes konstant gehalten.

5 Schlußbetrachtung

In den Abschnitten 1 bis 3 (und in [1]) wurde ein neues Traktortriebskonzept beschrieben. Es ermöglicht über Geschwindigkeits-Teilbereiche, die für den praktischen Einsatz von Bedeutung sind, infolge der extremen Konstantleistungs-Charakteristik einen stufenlosen Fahrtrieb bei Zug- und Transportarbeiten, den Hauptarbeiten der leistungsstarken Traktoren. Bei Zapfwellenarbeiten ermöglicht die elektronisch geregelte Einspritzpumpe eine Optimierung der Arbeitsgänge. Die Vorteile dieses Traktor-Antriebskonzeptes gegenüber konventionellen Lastschaltgetrieben liegen in der Stufenlosigkeit des Fahrtriebes bei Zug- und Transportarbeiten, in dem besseren Wirkungsgrad und in den Vorteilen, die der hydrodynamische Anfahrwandler in sich birgt. Außerdem ist das notwendige Know-how für die Entwicklung dieses Antriebes weniger umfangreich als beim Lastschaltgetriebe. Trotz dieser Vorteile sind die Traktorfirnen, die heute den Markt beherrschen, derzeit nicht bereit, auf dieses Konzept einzugehen. Das liegt sicher zu einem großen Teil daran, daß sie millionenschwere Investitionen in Richtung Lastschaltgetriebe getätigt haben, woran sie sich auf Jahre gebunden fühlen. Dafür muß man Verständnis haben. Aber vielleicht ist das neue Antriebskonzept etwas für die Firmen, die noch nach dem richtigen Konzept suchen, und davon gibt es weltweit gesehen, beispielsweise in Osteuropa, eine ganze Reihe. Für diese Firmen ist das neue Antriebskonzept eine interessante Chance.

Literatur:

- [1] Stoppel, A. und F. Görner: Ein neues Öko-Antriebskonzept für den leistungsstarken Traktor. Agrartechn. Forsch. 1(1995), H.1, S.34-45.
- [2] Renius, K.T.: Stufenlose Fahrtriebe für Traktoren. Landtechnik 50(1995), H.5, S.254-255.

Wir möchten Herrn Dipl.-Ing. Grieshaber (Fa. Bosch) herzlich für die Beratung in Sachen elektronisch geregelter Einspritzpumpe danken.