

## **Motoren und Getriebe bei Traktoren**

Marcus Geimer, Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruher Institut für Technologie  
Karl Theodor Renius, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Technische Universität München  
Roger Stirnimann, Berner Fachhochschule, Bern

### **Kurzfassung**

Die Effizienzsteigerung und CO<sub>2</sub>-Reduktion sind nach wie vor Ziele der Traktorentwicklung. Konzeptvergleiche auf Basis des "DLG PowerMix" zeigten unter anderem, dass die Antriebsstränge trotz strengerer Emissionsgrenzwerte immer effizienter werden. Die Abgasemissionen von Traktoren sind aktuell mindestens so niedrig wie die von Pkws. Für eine zukünftige Stufe V müssen voraussichtlich alle Dieselmotoren Partikelfilter haben.

Zwei Getriebe werden beschrieben: Eines von Same Deutz-Fahr mit 12 Lastschaltstufen und das neue Fendt "VarioDrive" mit hydraulischer (sperrbarer) Längsdifferentialwirkung. An elektrischen Fahrtrieben wird weiter geforscht. Die innere Leistungsverzweigung bei CVTs kommt durch eine Serienanwendung und eine breite Grundlagenarbeit wieder ins Gespräch.

### **Schlüsselwörter**

Dieselmotor, Emissionen, Effizienz, Lastschaltung, CVT, elektrische Fahrtriebe

## **Tractor Engines and Transmission**

Marcus Geimer, Chair of Mobile Machines, Karlsruhe Institute of Technology  
Karl Theodor Renius, Chair of Automotive Technology, Technical University of Munich  
Roger Stirnimann, Bern University of Applied Sciences, Bern

### **Abstract**

Both, the improvement of fuel economy and the reduction of CO<sub>2</sub> remain central objectives of tractor development. Tractor tests by DLG PowerMix demonstrate that the power trains are still improved in efficiency in spite of stronger emission regulations. They are meanwhile at least as strong as those of EU passenger cars. A future stage V for tractors will probably require a general introduction of particle filters.

Two transmissions are described: A first of Same Deutz-Fahr with 12 power shifted speeds and a second the new Fendt "VarioDrive" with hydrostatically working (lockable) differential between the axles. Research is going on for electric tractor drives. CVTs with internal power split are discussed again due to a series production and a broad basic research work.

### **Keywords**

Tractor, Diesel engine, emissions, transmission, power shift, CVT, electric drives

## **Übersichten Antriebsstrang und Zapfwelle**

Es bestehen nach wie vor Bestrebungen, die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter zu senken. Die Effizienz des Traktor-Antriebsstrangs wird vor allem durch Motor, Getriebe (mit Achsen) und Nebenverbraucher bestimmt. Das Effizienzniveau bei Motoren und Nebenverbrauchern ist von Konzept zu Konzept wenig unterschiedlich. Anders ist es bei den Getrieben: Die inzwischen verbreiteten stufenlosen Konzepte mit Leistungsverzweigung dürften gegenüber sehr guten Lastschaltgetrieben im Trend etwas geringere Wirkungsgrade aufweisen. Die Frage ist, wie weit die Stufenlosigkeit (mit ihrem vielleicht auch geringeren Verstellaufwand) diese Nachteile beim Antriebsstrang-Management ausgleichen kann. Dazu wurden in [1] die bisherigen Ergebnisse des „DLG PowerMix“ herangezogen, eines neutralen Prüfverfahrens der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft, das den praktischen Feldeinsatz mit Geräten simuliert und energetisch bewertet. Die Ergebnisse sind in Kurzform:

- Die Antriebsstränge werden immer effizienter.
- Die Energie-Effizienz von Traktoren steigt mit dem Leistungsniveau, große Maschinen sind spezifisch etwas sparsamer als kleine.
- Traktoren mit stufenlosen Fahrtrieben schneiden mindestens so gut ab wie solche mit teilweise oder ganz unter Last schaltbaren Stufengetrieben.

Diese Ergebnisse sind nicht selbstverständlich. Sie bestätigen die Erfolge der Traktorindustrie, die CO<sub>2</sub>-Emissionen tatsächlich zu senken. Und das trotz immer strengerer Auflagen für die Abgasreinigung, trotz stetig weiter steigendem Produktivitätsdruck und trotz anhaltender Tendenz zu erhöhtem Fahrkomfort.

Die niederländische Firma Zuidberg präsentierte zusammen mit dem kanadischen Entwicklungspartner CVT Corp auf der Agritechnica 2015 eine Studie eines stufenlosen Frontzapfwellengetriebes auf Voll-Toroid-Basis. Das Konzept soll zu einer kompakteren Einheit weiterentwickelt werden. In den Firmenunterlagen von CVT Corp werden Voll-Toroid-Einheiten auch als mögliche Fahrgetriebe für Traktoren bis 90 kW dargestellt [2]. Carraro schlug in Kooperation mit Torotrak vor wenigen Jahren eine vergleichbare Richtung ein, das Projekt wird derzeit aber nicht weiterverfolgt.

## **Dieselmotoren**

Die Stufe IV der europäischen Abgasgesetzgebung für Off-road Maschinen wurde zwischenzeitlich eingeführt. Grundsätzlich sind zwei unterschiedliche Varianten zur Erreichung der Grenzwerte am Markt anzutreffen: Zum einen können die Grenzwerte mit einem SCR-System (selective catalytic reduction), vgl. z. B. Liebherr [3], und ggf. einer zusätzlichen Abgasrückführung (AGR), vgl. z. B. MAN [4], eingehalten werden. Zum anderen werden Motoren mit SCR- und AGR-System und zusätzlichem Dieseloxydationskatalysator (DOC), z. B. [5], und evtl. Dieselpartikelfilter (DPF) eingesetzt [5; 6; 7].

In [8] wird versucht, die Emissionen von Pkw mit denen von Land- und Baumaschinen zu vergleichen. Leserbriefe, z. B. [9], und eine Veröffentlichung [10] zeigen, dass ein unmittelba-

rer Vergleich nicht möglich ist, vgl. hierzu auch **Tabelle 1**. Umrechnungen zeigen jedoch, dass die Abgasgesetzgebung der Land- und Baumaschinen im üblichen Betrieb eher noch strenger ist als die von Pkw. In Bezug auf die Partikelmasse haben hingegen Lkw die strengsten Grenzwerte [11]. Praktische Messungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen an Traktoren im Einsatz zeigen Konversionsfaktoren um 2,7 kg CO<sub>2</sub> je Liter Dieselkraftstoff [12].

Grundlage	Stufe	Fahrzeug	NOx	Partikel	Bemerkung
91/441/EWG	Euro 6	Pkw	80 mg/km	4,5 mg/km	-
582/2011/EG	Euro 6	Lkw	0,4 g/kWh	0,010 g/kWh	PN: $8 \cdot 10^{11}$ /kWh
97/68/EG	Stufe IV	Maschine	0,4 g/kWh	0,025 g/kWh	entspricht Tier IV final

Tabelle 1: Aktuell gültige Abgasemissionswerte bei Neufahrzeugen

Table 1: Today's valid exhaust emission values for new vehicles

Grenzwerte für die neue Abgasstufe V wurden veröffentlicht und werden derzeit in der EU beraten. Zwischen 19 und 560 kW Motorleistung wird zukünftig nicht nur die Partikelmasse, sondern auch die Partikelanzahl begrenzt. Motoren oberhalb von 560 kW Leistung werden in die Emissionsgrenzwerte einbezogen [13]. Geplant ist ein Inkrafttreten in 2016, so dass neue Werte für Maschinen voraussichtlich ab dem 1.1.2019 bindend sind. Insbesondere Hersteller, die in ihren Motoren DOC und DPF einsetzen, werben bereits heute damit, dass sie für die Stufe V "ready" sind [6; 14]. Eine Übersicht über mögliche Abgasnachbehandlungssysteme für Stufe V ist in [15] zu finden.

Im Fokus der Forschung stehen nach wie vor Methoden und Werkzeuge zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. [16] zeigt, dass die Emissionen stark von der Prozessführung abhängen. Das KIM-Tool zur Bewertung der Nachhaltigkeit [17] kann auch im Bereich der Landtechnik eingesetzt werden. Über erste Erfahrungen wird in [18] berichtet.

Ein Punktmotor bietet nach [19] in Kombination mit einem Hybrid Potenziale zur Kraftstoffeinsparung und Vereinfachung von Komponenten.

Methan kann nachhaltig erzeugt werden, z. B. in Biogasanlagen oder synthetisch [20]. Vor diesem Hintergrund nimmt das Interesse an methanbetriebenen Fahrzeuge zu. Auf der Expo in Mailand wurde ein methanbetriebener Traktor von New Holland vorgestellt [21].

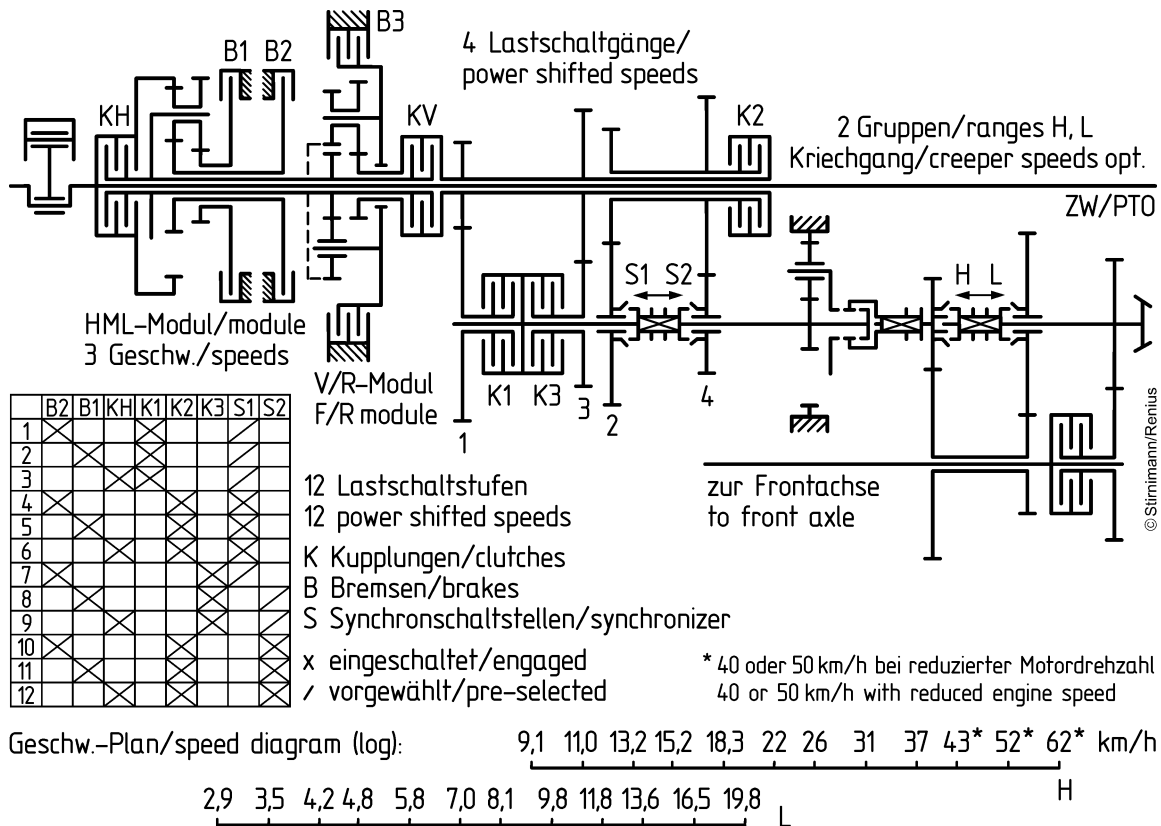
### **Gestufte Fahrtriebe**

Die gestuften Fahrtriebe werden stetig weiterentwickelt. So hat z. B. ZF angekündigt, seine Terrapower-Getriebe ab 2016 statt mit 4 zukünftig auch mit 6 Lastschaltstufen zu produzieren. Einzelheiten sind noch nicht bekannt.

Same Deutz-Fahr führte bereits 2012 bei den Iron3-Modellen ein neues Power-Shift-Getriebe mit 12 lastschaltbaren Gängen in 2 synchronisierten Gruppen ein. Mit einer optionalen Kriechganggruppe (0,66 bis 2,7 km/h) kann die Ganganzahl von 24V/24R auf insgesamt 33V/33R erweitert werden. Seit 2014 kommt dieses Getriebe in den Nachfolge-Modellen Same Audax ST 200 und 220 (147/162 kW) sowie den Schwester-Modellen von Deutz-Fahr,

Serie 7 ST zum Einsatz, **Bild 1**. Die maximalen Fahrgeschwindigkeiten von 40 oder 50 km/h werden mit reduzierten Motordrehzahlen erreicht.

Bei diesem Getriebe handelt es sich um eine Weiterentwicklung der 1990 vorgestellten 27V/27R-Version mit 9 Lastschaltstufen und 3 Gruppen inklusive Kriechgang [22]. Die bisherige 3x3-Struktur des Lastschaltteils wurde auf 3x4 erweitert. Die Lastschaltgänge 2 und 4 werden über eine neue Synchronschaltstelle vorgewählt und eine gemeinsame Lamellenkupplung (K2) geschaltet. Dadurch konnte auf eine zusätzliche Kupplung verzichtet werden.



**Bild 1:** Weiterentwickeltes 24/24-Getriebe mit 12 unter Last schaltbaren Stufen für max. 50 km/h von Same Deutz-Fahr, ab 2012 bei den Iron3-Modellen, 2014 in den Nachfolgern Audax ST (147/162 kW).  
**Figure 1:** Enhanced 24/24 transmission with 12 power shifted speeds and 50 km/h top speed of Same Deutz-Fahr, from 2012 for series Iron3 and 2014 for the followers Audax ST (147/162 kW).

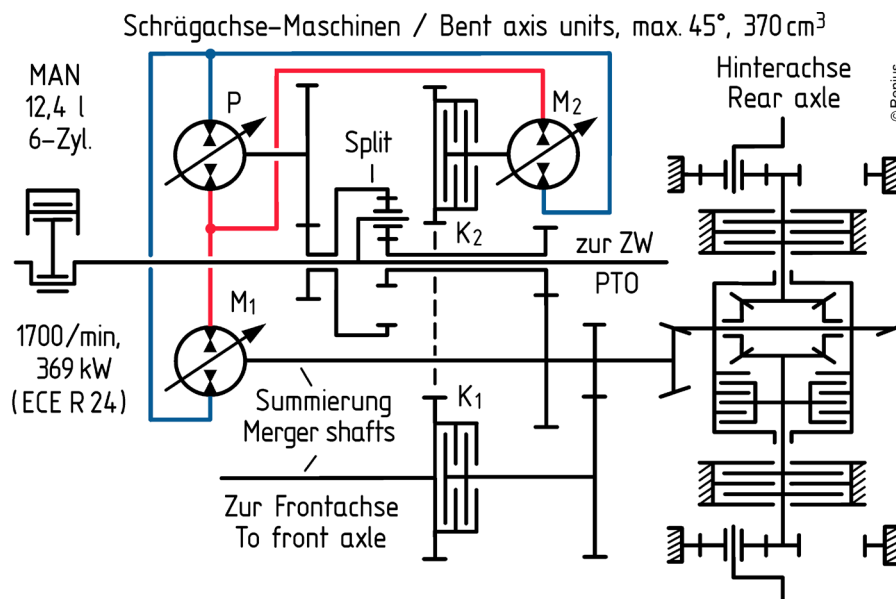
Die Synchron-Reversierung wurde durch eine lastschaltbare Einheit mit Planetengetriebe ersetzt, welche zwischen HML-Lastschaltmodul und mittlerem Getriebeteil angeordnet ist. Bei Vorwärtsfahrt ist die Lamellenkupplung KV geschlossen und das Planetengetriebe läuft verblockt um (1:1). Für Rückwärtsfahrt wird hingegen der Steg mittels Lamellenbremse B3 mit dem Getriebegehäuse verbunden und der Planetensatz arbeitet als Standgetriebe: Antrieb über das linke Sonnenrad, Drehrichtungsumkehr durch das Einzelplanetenrad am Steg.

Carraro kündigte Ende 2015 eine Erweiterung seines Getriebebaukastens mit einer 8-fach-Lastschaltversion für den Leistungsbereich von 59 bis 132 kW an [23]. Die 8 Lastschaltstufen im vorderen Getriebeteil werden nach dem Doppelkupplungsprinzip mit nur 2 Lamellenkupp-

lungen realisiert, im Gegensatz zum DirectDrive-Getriebe von John Deere mit nur zwei Wellenstichen und weniger Zahnrädern. Nachgeordnet wird eine lastschaltbare Reversiereinheit, bei der die V/R-Lamellenkupplungen auch als Anfahrerelemente benutzt werden. Durch weitere 4 synchronisierte Gruppenstufen stehen insgesamt 32V/32R-Gänge zur Verfügung. Eine Serienproduktion ist noch nicht bekannt.

### Hydrostatisch-stufenlose Fahrtriebe

Das neue stufenlose Fendt-Getriebe „VarioDrive“ (Serie Ende 2015 im Fendt 1000) baut auf der Grundstruktur des ersten Vario auf, **Bild 2**. Die Leistungsverzweigung erfolgt nach wie vor durch ein Planetengetriebe mit Antrieb der Pumpe P durch das Hohlrads. Die Hydromotoren M1 und M2 sind wie bisher parallel geschaltet. Bei geöffneter Kupplung K1 arbeitet der Antrieb der Achsen jetzt aber mit hydraulischer Längsdifferenzialwirkung. Der Hydromotor M2 treibt dabei über K2 nur die Frontachse an, während M1 und der mechanische Leistungsanteil sich auf der Kegelritzelwelle der Hinterachse vereinigen. Die Längsdifferenzialwirkung kann durch Schließen der Kupplung K1 aufgehoben werden. Dann herrscht feste Drehzahlkopplung der Treibachsen, zum Beispiel günstig bei schwerem Zug geradeaus auf dem Acker – aber ungünstig für Kurvenfahrt und Straßenbetrieb. Deshalb war es bei bisherigen Konzepten üblich, den Allradantrieb hier automatisch abzuschalten.



**Bild 2:** AGCO-Fendt VarioDrive in der neuen Traktorenbaureihe 1000 (max. 369 Nenn-kW ECE R 24, max. 60 km/h. Serie Ende 2015)

**Figure 2:** AGCO-Fendt VarioDrive of the new tractor series 1000 (max. 369 nominal-kW ECE R 24, max. 60 km/h. Series production beginning late 2015)

Wissenschaftliche Anstöße zur Behebung dieser Einschränkungen waren 1996 und 2002 seitens der TU München [24; 25] vorgelegt worden. Das neue Getriebe VarioDrive [26] erlaubt nun bei geöffneter Kupplung K1 auf der Straße einen verspannungsfreien Allradantrieb sowie auf dem Acker bei Kurvenfahrt eine ziehende Frontachse („pull in turn“) mit bis zu 10 % kleineren Wendekreisen (Werksangabe).

Den Gesamtwirkungsgrad verringert der rein hydrostatische Frontachs Antrieb bei offener Kupplung K1 zumindest theoretisch nicht – entscheidend sind vor allem die Leistungsaufteilung am Planetengetriebe, die Fahrgeschwindigkeit und die Güte der Hydroeinheiten. Letztere dürfte eher noch leicht besser sein als bisher, weil die Einheiten bei gleichem Bauprinzip größer sind und langsamer laufen (Werksangaben). Die Kupplung K1 dient nicht nur als Vollsperr, sondern bei Bedarf auch als gesteuerte Teilsperre. Zur Energieeinsparung bei schnellem Straßenbetrieb wird der Hydromotor M2 ab etwa 25 km/h auf null geschwenkt und abgekoppelt. Scherverluste können dann an K2 auftreten – insgesamt dürften Schleppverluste aber angesichts des einfachen Gesamtaufbaus vergleichsweise klein ausfallen.

### **Stufenlose sonstige und hybride Systeme**

In [27] wird ein Traktor mit seriellem elektrischen Hybrid vorgestellt. Der Generator verfügt über eine Leistung von 90 / 120 kW (Dauer / Spitze) und Schnittstellen für elektrisch betriebene Verbraucher am Anbaugerät. Es können die Funktionen Boosten/Rekuperieren, Start/Stop und elektrischer Betrieb der Anbaugeräte realisiert werden.

Elektromotoren können über hohe Drehzahlen bessere Leistungsdichten erreichen - dazu wurde mit [28] eine Studie für einen elektrischen Traktorfrontantrieb mit einer Volllastspreizung von 7 (ohne Frontladen) vorgelegt und eine interessante Leistungsdichte erreicht.

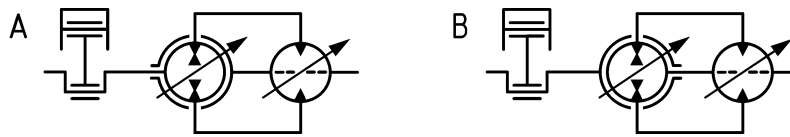
Ein niederländisches Konsortium stellte mit dem Prototyp "Multi Tool Trac" einen weiteren Traktor mit diesel-elektrischem Antrieb und 30 kWh-Batterie in [29] vor - mit STW-Einheiten ohne schaltbare mechanische Zusatzstufen. Der Mehrpreis gegenüber dem Marktniveau soll sich u. a. durch neue Funktionalitäten und geringere Kraftstoffverbräuche amortisieren. Ob das wirklich realistisch ist, muss sich noch zeigen.

### **Entwicklungswerkzeuge und konstruktive Grundlagen**

[30] zeigt den simulationsgestützten Vergleich unterschiedlicher Regelkonzepte von Stufenlosgetrieben (CVT) in Traktoren. Durch eine Anpassung der Regelstrategie wurde in einem DLG-Power-Mix-Zyklus eine Effizienzsteigerung von bis zu 8 % nachgewiesen.

Die mechanisch-hydrostatische innere Leistungsverzweigung, erstmals 1907 von Renault für ein Fahrzeug vorgeschlagen [31], kommt im Gegensatz zur äußeren Leistungsverzweigung ohne Planetengetriebe aus, der mechanische Anteil wird über mitdrehende Gehäuse übertragen. Einführungsversuche in den 1960er Jahren waren damals bei Traktoren nicht erfolgreich. Seit einigen Jahren baut nun die Japanische Firma Yanmar ein solches Getriebe in Traktoren ein [32]. Man arbeitet mit modifizierten Schrägscheiben-Axialkolbeneinheiten und nennt das Getriebe I-HMT (Integrated Hydraulic Mechanical Transmission, siehe Internet).

Unabhängig davon wurden die Grundlagen der inneren Leistungsverzweigung sowie bisherige Ausführungen in [33] ordnend aufgearbeitet und interessante neue Ansätze der Simulation entwickelt. Ähnlich wie bei der äußeren Leistungsverzweigung kann man in „Eingangskopplung“ und „Ausgangskopplung“ unterscheiden. Letztere wird in **Bild 3** gezeigt.



**Bild 3:** Innere Leistungsverzweigung mit Sekundärkopplung, Pumpe als „Differenzial“ [33].

A: Antrieb herkömmlich, mechanischer Pumpenausgang vom Gehäuse ausgehend;

B: Pumpenantrieb am Gehäuse, mechanischer Pumpenausgang von innen ausgehend

**Figure 3:** Output coupled internal power split, pump working as a differential [33].

A: conventional input, mechanical output from pump case;

B: input at the pump case, output from internal rotation

In beiden Fällen arbeitet die Pumpe als „Differenzial“, d. h. sie hat einen mechanischen und einen hydrostatischen Ausgang. Konzept A wurde in [33] in Zusammenarbeit mit der Bosch Rexroth AG praktisch ausgeführt. Die Einheit auf der Basis „Schrägscheibenmaschine“ fiel kompakt aus und funktioniert, erfordert allerdings einen gewissen konstruktiven Aufwand für die Drehdurchführungen und die Steuerung. Dafür ermöglicht sie auch aufgelöste Bauweisen mit flexibler Einbindung von einem oder mehreren Ölmotoren.

Zapfwellen-Lastkollektive für Fräsen und Ballenpressen wurden in [34] mitgeteilt - leider nach dem Rainflow-Verfahren ausgewertet, das für Zahnräder und Wälzlager ungeeignet ist.

Ein Grundlagenbuch der Mechatronik erschien in der 3. Auflage [35].

### Zusammenfassung

Die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und eine damit einhergehende CO<sub>2</sub>-Reduktion sind nach wie vor Ziele der Traktorentwicklung. Konzeptvergleiche wurden auf Basis des "DLG PowerMix" durchgeführt und zeigten unter anderem, dass die Antriebsstränge immer effizienter werden und CVT-Getriebe mindestens gleich gut abschneiden.

Die aktuelle Abgasgesetzgebung wird heute herstellereinspezifisch mit und ohne Dieselpartikelfilter erreicht. Mit Inkrafttreten einer im Entwurf bekannten Stufe V müssen voraussichtlich alle Dieselmotoren ab 2019 wegen Partikelzählung mit Partikelfiltern ausgestattet werden.

Das aktuelle 24/24-Getriebe von Same Deutz-Fahr, bestehend aus 12 lastschaltbaren Gängen in 2 synchronisierten Gruppen, wird vorgestellt. Ferner wird das neue leistungsverzweigte Getriebe "VarioDrive" von Fendt beschrieben, das über die Möglichkeit einer hydraulischen (sperrbaren) Längsdifferentialwirkung nun auch in Kurven Zugkraft bietet.

An elektrischen Fahrtrieben wird weiter geforscht, zumeist in Form eines seriellen Hybrids. Die einige Jahrzehnte bei Traktoren nicht weiter verfolgte innere Leistungsverzweigung stufenloser Fahrtriebe kommt durch eine japanische Konstruktion und eine deutsche Grundlagenarbeit wieder ins Gespräch.

## Literatur

- [1] Knechtges, H. und Renius, K. Th.: Traktoren 2014/2015 (Tractors 2014/2014). Zweisprachig, bilingual. ATZoffhighway 7 (2015), Heft 3, S. 12-23.
- [2] CVT Crop: CVTs for Agricultural Equipment. URL [http://www.cvtcorp.com/agriculture\\_equip.html](http://www.cvtcorp.com/agriculture_equip.html) - Aktualisierungsdatum: 07.01.2016.
- [3] Liebherr-International Deutschland GmbH: Diesel Engines by Liebherr. URL [http://www.liebherr.com/CP/en-GB/default\\_cp.wfw/tab-131726?file=~%2Fcms%2Fdownloads%2Fbp\\_dieselmotoren\\_28s\\_en\\_web.pdf](http://www.liebherr.com/CP/en-GB/default_cp.wfw/tab-131726?file=~%2Fcms%2Fdownloads%2Fbp_dieselmotoren_28s_en_web.pdf) – Aktualisierungsdatum: 10.12.2015.
- [4] MAN Truck & Bus AG: MAN-Motoren für Baumaschinen, Landmaschinen und Sondermaschinen. URL <http://www.engines.man.eu/global/de/off-road/bau-land-und-sondermaschinen/im-fokus/D2862-Tier-4-Final.html> - Aktualisierungsdatum: 10.12.2015.
- [5] Cummins Ltd.: Technologie, die verändert - EPA Tier 4 Final / EU Stufe IV. Informationsbroschüre zur Agritechnica 2015. URL <http://www.cummins.com>.
- [6] Deutz AG: Stufe V für die Landtechnik. Deutz World. Das Kundenmagazin der Deutz AG, Ausgabe 3/2015, S. 6-9.
- [7] John Deere: Emission Technology - Nonroad Diesel Engines. URL [http://www.deere.com/en\\_US/docs/zmags/engines\\_and\\_drivetrain/services\\_and\\_support/engine\\_literature/emissions\\_brochure.html](http://www.deere.com/en_US/docs/zmags/engines_and_drivetrain/services_and_support/engine_literature/emissions_brochure.html) - Aktualisierungsdatum: 08.01.2016.
- [8] Kellerhoff, P.: Land- und Baumaschinen hinken Pkw hinterher. VDI nachrichten 69 (2015) Heft 41, S.13.
- [9] Renius, K. Th.: Abgaswerte von Land- und Baumaschinen sogar niedriger als die von Pkw. Leserbrief zum Beitrag von P. Kellerhoff: „Land- und Baumaschinen hinken Pkw hinterher“ (VDI nachrichten 69 (2015) Heft 41, S. 13). in: VDI nachrichten 69 (2015) Heft 44, S. 3.
- [10] Geimer, M. und D. Engelmann.: Grüner als gedacht - Land- und Baumaschinen sind führend bei Emissionsreduktionen. Mobile Maschinen 9 (2016) Heft 1.
- [11] Stirnimann, R.: Traktoren - Neueste Entwicklungen für die vielfältigen Zukunftsanforderungen. Internationale Agritechnica-Eröffnungspressekonferenz 09.11.2015 in Hannover. URL [https://www.agritechnica.com/de/press/?detail/agritechnica 2015/10/1/ 8157](https://www.agritechnica.com/de/press/?detail/agritechnica%202015/10/1/8157) - Aktualisierungsdatum: 16.11.2015.
- [12] Clare, D. A., et al.: Real world measurement of carbon dioxide emissions of an agricultural tractor using a portable emissions measurement system. LAND.TECHNIK-AgEng Hannover 6./7.11.2015. In: VDI-Berichte 2251, S. 21-27. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015.
- [13] COM (2014) 581 final: Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte und die Typengenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte. URL <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/DE/1-2014-581-DE-F1-1.Pdf>



- [14] Jackson, T.: Are you ready for Tier 5 regulation emissions?. Equipment World. URL <http://www.equipmentworld.com/are-you-ready-for-tier-5-emissions-regulations/> - Aktualisierungsdatum: 10.12.2015.
- [15] Laing, B.: Moving to stage 5: The challenges ahead, Diesel Progress International 34 (2015), no. 6, p. 28-29.
- [16] Nacke, E.: The scope of efficiency improvements in the agricultural machinery industry, Symposium on Efficiency of Mobile Machines and their Applications, 10th/11th March 2015, Braunschweig.
- [17] Sustainum Consulting GbR: KIM - Kriterien- und Indikatorenmodell zur Bewertung von Nachhaltigkeit. URL <http://www.sustainum-consulting.de>.
- [18] Gandhi, T. und B. Lutz: KIM Landtechnik - Erste Erfahrungen mit der Anwendung des Nachhaltigkeits-Tools, Vortrag auf dem Arbeitskreis Technik, 25. Februar 2015, Frankfurt.
- [19] Petri, S., S. Schönfeld und P. Dittmann: Möglichkeiten zur Verbrauchs- und Kostenreduktion durch eine gezielte Auslegung des Verbrennungsmotors auf das Hybridsystem, 5. Fachtagung Hybride und Energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 25. Feb. 2015, Karlsruhe. In: Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik, Band 30, S. 127-140.
- [20] Geimer, M. und I. Ays: Nachhaltige Energiekonzepte für mobile Arbeitsmaschinen - in welche Richtung gehen Sie? Mobile Maschinen 7 (2014) H. 6, S. 18-25.
- [21] Attraktive Präsentation auf der Expo - Landtechnikkonzern präsentiert sein Nachhaltigkeitskonzept auf der Weltausstellung in Mailand, eilbote 63 (2016) H. 28, S. 18-19.
- [22] Renius, K. Th. und G. Sauer: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Jahrbuch Agrartechnik 4 (1991) S. 41-45. Hrsg. H.J. Matthies und F. Meier. Frankfurt/M.: MaschinenbauVerlag GmbH 1991.
- [23] Mottin, M.: DCT technology: Carraro vision for the new Agricultural Transmissions. LAND.TECHNIK-AgEng Hannover 6./7.11.2015. In: VDI-Berichte 2251, S. 45-51.
- [24] Grad, K.: Zur Steuerung und Regelung des Allradantriebs bei Traktoren. Diss. TUM 1996. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14, Nr. 82. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997.
- [25] Brenninger, M.: Stufenlos geregelter Allradantrieb für Traktoren. Diss. TUM 2002. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Nr. 256. Düsseldorf: VDI-Verlag 2003.
- [26] Graf, M., M. Brenninger and R. Heindl: CVDT – The Next Level in Tractor Transmission Technology. In: VDI-Berichte 2251, S. 39-44. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015.
- [27] Heymann, P.: Anbau und Erprobung eines Hybridtraktors, 5. Fachtagung Hybride und Energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 25. Feb. 2015, Karlsruhe. In: Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik, Band 30, S. 35-47.
- [28] Schröter, J. et al.: High Speed Electrical Single Wheel Drives for Mobile Machinery. LAND.TECHNIK-AgEng Hannover 6./7.11.2015. In: VDI-Berichte 2251, S. 71-76.
- [29] Schrägle, D.: Das Multi Tool auf vier Rädern. Elektrisch angetriebener Schlepper für die nachhaltige Landwirtschaft. Mobile Maschinen 8 (2015) Heft 6, S. 26-28.

- [30] Reick, B., B. Volpert und T. Ikonen: Regelstrategien stufenlos leistungsverzweigter Getriebe, 5. Fachtagung Hybride und Energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 25. Feb. 2015, Karlsruhe. In: Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik, Band 30, S. 19-33.
- [31] Matthies, H. J. und K. Th. Renius: Einführung in die Ölhydraulik. 8. überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Verlag Springer Vieweg 2014.
- [32] Yanmar Co., Ltd: Hydraulic stepless transmission. EP2 050 984 A4, Priorität 1.06.2006, veröffentlicht 12.01.2011 (ähnlich in USA 2012).
- [33] Ramm, M.: Systematische Entwicklung und Analyse stufenlos verstellbarer Getriebe mit innerer Leistungsverzweigung für mobile Arbeitsmaschinen. Dissertation RWTH Aachen 2015. Aachen: Verlagsgruppe Mainz 2015. ISBN: 978-3-95886-045-2.
- [34] Lee, D.-H. et al.: Analysis of the PTO load of a 75 kW agricultural tractor during rotary tillage and baler operation in Korean upland fields. Journal of Terramechanics 60 (2015) 75-83.
- [35] Czichos, H.: Mechatronik - Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg 2015.

**Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

**Wissenschaftliches Review / Scientific Review**

Erfolgreiches Review am 16.02.2016

**Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Geimer, Marcus; Renius, Karl Theodor; Stirnimann, Roger: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2016. S. 1-10

**Zitierfähige URL / Citable URL**

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055109>

**Link zum Beitrag / Link to Article**

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/235.html>