

# Klassenunterschiede

## Traktor-Dieselmotoren: Die weltweite Vielfalt und deren Strukturierung in fünf Technologiestufen

Karl Th. Renius, Thorsten Dreher

*Die weltweit nachgefragte Traktorentchnik nimmt bezüglich Bandbreite seit langem in Funktionen und Leistungen zu. Im Jahr 1999 wurde erstmals eine Strukturierung der Anforderungen in Technologiestufen am Beispiel von Traktorgetrieben vorgeschlagen [1]. 2002 wurde weitergehend aufgezeigt [2], dass auch eine Strukturierung von ganzen Traktoren in fünf Stufen nach dem gleichen Prinzip interessante Ergebnisse liefert, siehe auch [3].*

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Karl Th. Renius**, Leiter des Arbeitsbereichs Mobile Arbeitsmaschinen am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der TU München; Leiter: Prof. Dr.-Ing. B. Heißig;  
**Dipl.-Ing. Thorsten Dreher**, akademischer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Leiter: Prof. Dr.-Ing. M. Geimer

Die Industrieländer benötigen eine sehr aufwändige Technik mit hohen Leistungen bis über 400 kW und hohem Vorschriftenniveau, während z. B. in Asien sehr einfache Technik und geringe Leistungen ab etwa 10 kW typisch sind. Als wichtige Einflussfaktoren können dabei gelten: die Agrarstruktur, das Lohnkostenniveau, die Verfügbarkeit von Arbeitskräften sowie die politischen Rahmenbedingungen und Vorschriften.

Langfristig dürfte es bei Traktoren und deren Komponenten sinnvoll sein, integrierte globale Produktsysteme zu schaffen, um die Wirtschaftlichkeit durch Baukastenprinzip und weltweite Arbeitsteilung zu verbessern. Dazu sind strukturierte Anforderungen nötig. Die folgende Ordnung arbeitet mit fünf Technologiestufen.

### Überblick in fünf Technologiestufen

Die Ergebnisse durchgeführter Recherchen stellen eine grobe Momentaufnahme der weltweiten Dieselmotorentchnik dar, **Tabelle 1**.

Dieselmotoren der Stufe I sind typisch für Traktoren in Entwicklungsländern. Bedeutendstes Beispiel sind die in China millionenfach hergestellten 1-Zylinder-Diesels, die man in kleine Traktoren (Ein- und Zweiachser) einbaut und die eine der größten Stützen der bisherigen Agrarmechanisierung darstellen mit jetzt allerdings abnehmenden Stückzahlen zu Gunsten modernerer Konzepte [4].

Die einfache Technik der Stufe I drückt sich beispielweise durch ausschließlich Saugmotoren mit mechanischen Motorsteuerungen und niedrigen Einspritzdrücken aus – teilweise noch mit Vorkammerbrennräumen. Elektrische Ausrüstungen fehlen z. T. ganz oder beschränken sich auf das Nötigste. Die Wartungsansprüche müssen an einen niedrigen Ausbildungsstand angepasst sein. Weil die Herstellkosten besonders niedrig sein müssen, wird ein weniger günstiger spezifischer Kraftstoffverbrauch in Kauf genommen. Die Motoren sollen robust und einfach zu reparieren sein und mit relativ einfachen, örtlich verfügbaren Betriebsstoffen auskommen. Vereinzelt wird die Eignung

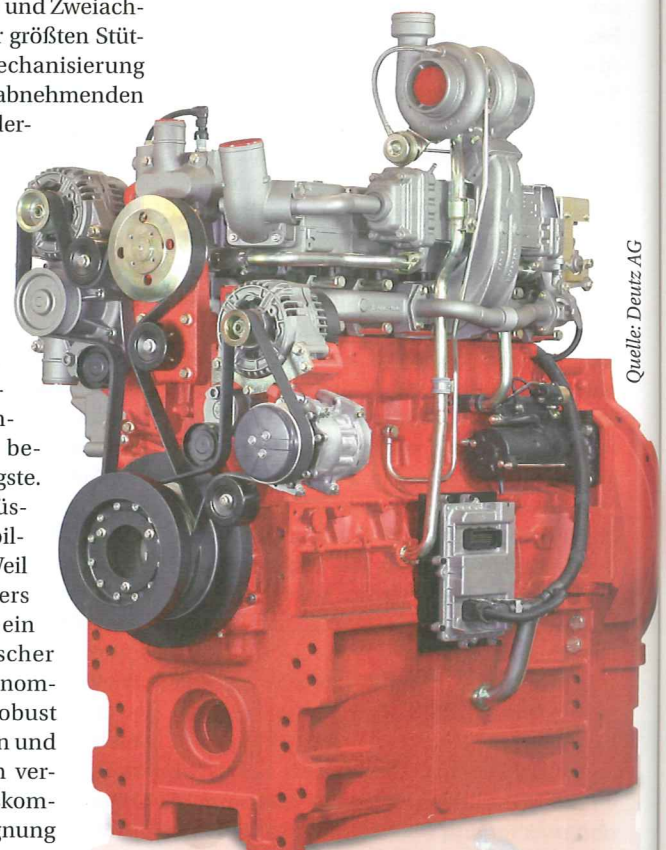
für native Kraftstoffe gewünscht. In Indien haben Motoren dieser Stufe bei Traktoren kaum noch Bedeutung. Höhere Technologiestufen kommen dort auch wegen der anziehenden Emissionsvorschriften infrage.

Dieselmotoren der Stufen II und III findet man in allen Traktormärkten weltweit, sofern die jeweils gültigen lokalen Vorschriften eingehalten werden – insbesondere bezüg-

### Globale Vielfalt erschwert Baukastensysteme

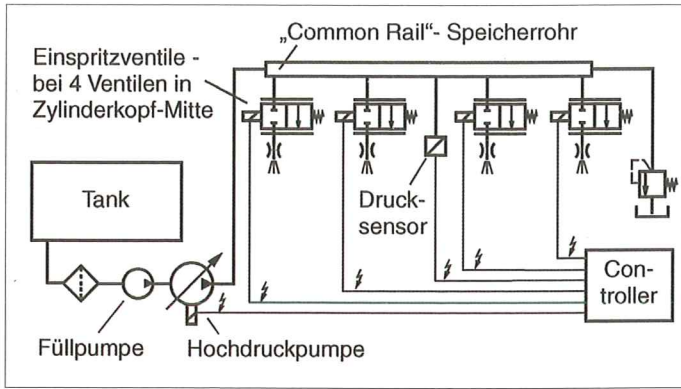
lich Emissionen. Während direkt einspritzende Saugmotoren der Klasse II allerdings auf den hoch technisierten europäischen und nordamerikanischen Märkten nur noch sehr vereinzelt – z. B. bei kleinen Traktoren – angeboten werden, sind diese auf den asiatischen, afrikanischen und südamerikanischen Märkten in sehr großer Vielfalt gefragt – allerdings auch vorwiegend bei kleinen bis mittleren Motorleistungen.

In den westlichen Märkten ist die Technologiestufe III typisch für einfache Traktoren im mittleren und unteren Leistungsbereich, wobei häufig die Motorentchnik so „aufgerüstet“ wird, dass man die lokalen Emis-

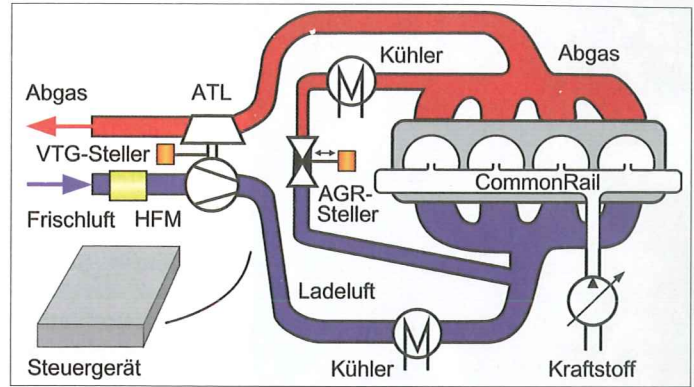


Quelle: Deutz AG





1: Typischer Aufbau eines CommonRail-Systems [5]



2: Externe gekühlte AGR an einem hoch aufgeladenen Motor mit Luftmengensensor HFM und CommonRail-Einspritzung [6]

onsvorschriften gerade erfüllt – auch mit Zugeständnissen an den Kraftstoffverbrauch.

Dieselmotoren der Stufen IV und V findet man weltweit vorrangig bei größeren und großen Traktoren und in hoch entwickelten Staaten. Die Motoren verfügen grundsätzlich über elektronische Motorsteuersysteme. Sie haben überwiegend Common-Rail-Einspritzung mit sehr hohen Drücken bis 2000 bar (**Bild 1**); in Stufe V Vierventil-

technik und oft eine gekühlte äußere Abgasrückführung (AGR), **Bild 2**. Hinzu kommen teilweise Turbolader mit variablen Leitschaufeln (**Bild 3**) und ab 2009 erste SCR-Nachbehandlungssysteme (dann ohne AGR), **Bild 4**. Zukünftig ist angesichts weiterer Verschärfungen der Emissionsgrenzen auch mit Partikelfiltern zu rechnen.

Die Kombination mehrerer Maßnahmen zur Emissionsminderung ermöglicht güns-

tige Kraftstoffverbräuche. Das Ziel „Bestpunkt im Kennfeld um 200 g/kWh“ macht damit auch zukünftig Sinn. Teilweise versucht man, den praktischen Kraftstoffverbrauch durch ein „Aggregatemanagement“ zu verringern, in einem Fall bereits durch regelbare elektrische Antriebe [9]. Das Niveau der höchsten Technologiestufe V wandert bei den technisch führenden Traktorherstellern langsam „von oben nach

Technologiestufen	Beispiele  Hersteller: Motortyp (Traktortyp, Hersteller, Marktbeispiele)	Nennleistung, kW (ECE-R24)			Zylinderzahl				Aufladung				Motorsteuerung		Einspritzanlage			Gaswechsel, Emissionen			spezifische Herstellungskosten							
		klein (<40 kW)	mittel	groß (>100 kW)	1-2	3	4	6-8	Keine (Saugmotor)	Turbolader (TL)	TL + Ladeluftkühler	Variabl. Turbolader	mechanisch	elektronisch	Vorkammerprinzip	Direkteinspritzung	Direkt, CommonRail	niedrig (<500 bar)	mittel	hoch (>1500 bar)	Vierventiltechnik	ext. Abgasrückführ.	SCR- Technik	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	
I	Einzylindermotoren (in chinesischen Kleintraktoren)	X			1				X				X		(X)	X		X					X					
	Fjian Lijia: SL2100 ABT1 (BY 280, John Deere, China)	21*)			2				X				X			X		X					X					
II	MWM International: D229-3 (TL 60E, New Holland, Südamerika)	46*)			3				X			X			X		X						X					
	JD: PowerTech M 4045 DAT70 (JD 5415, John Deere, EU)	53			4				X			X			X		X						X					
	Deutz AG: F 4L 913 (Agrolux 80, Deutz-Fahr, Nordafrika)	57*)			4				X			X			X		X						X					
III	AGCO Sisu Power: 33 DTA (MF 4435, Massey Ferguson, EU)	54			3					X		X			X		X						X					
	JD: PowerTech M 4045 TAT70 (JD 5515, John Deere, EU)	59			4				X			X			X		X						X					
	Deutz AG: BF 4L 913 (Agrolux 90, Deutz-Fahr, Nordafrika)	64*)			4				X			X			X		X						X					
IV	JD: PowerTech E 4045 HL283 (JD 6430, John Deere, EU/Nordamerika)	82			4					X		X			X		X										X	
	AGCO Sisu Power: 44 CWA (N121A, Valtra, EU/USA)	93			4					X		X			X		X										X	
	Deutz AG: TCD 2012 L06 2V (Agrottron M620, Deutz-Fahr, EU/USA)	109			6					X		X			X		X										X	
V	Deutz AG: TCD 2012 L04 4V (312 Vario, Fendt, EU)	81			4					X		X			X		X		X	X	X							X
	JD: PowerTech Plus 6068 HF481 (Axion 850, Claas, EU/Afrika/Asien)	165			6					X	X	X			X		X		X	X	X							X
	AGCO Sisu Power: 84 CTA (MF 8690, EU/Nordamerika/Australien)	268			6					X		X			X		X		X	X	X							X

\*) Werte geschätzt

Tab. 1: Hauptmerkmale von Dieselmotoren, strukturiert in fünf Technologiestufen; die Zahlen und Kreuze gelten den Beispielen, die grauen Felder dem Trend





3: Turbolader mit verstellbaren Turbinenleitschaufeln

Foto: John Deere

Motoren ab Stufe III und sehr stark bei IV und V. Hier sind so große Drehmomentanstiege üblich, dass sich gegenüber der Nennleistung oft Überleistungen ergeben. Ebenso ist es populär, wenn die Motorelektronik bei Betrieb unter mäßiger Belastung des Fahrtriebs (z. B. bei rascher Straßenfahrt oder abgezwigter Zapfwellenleistung) kostengünstig „Boost“-Leistung freischaltet.

■ **Kraftstoffverbrauch und Nenndrehzahlen**

Die Anforderungen an Sparsamkeit steigen von I nach V mit günstigsten Kennfeldpunkten bei etwa 230 g/kWh (I) bis 200 g/kWh (IV, V). Das insgesamt niedrige Niveau wird unter anderem durch moderate Nenndrehzahlen erreicht, die über der ganzen Technologiespannweite wenig schwanken – typisch um 2000 min<sup>-1</sup>.

■ **Kühlung**

Luftkühlung hat aus mehreren Gründen kaum noch Bedeutung. Wasserkühlung ist selbst bei den unteren Technologiestufen fast die Regel und Standard für die Stufen II bis V.

■ **Höhentauglichkeit**

Aufgeladene Motoren sind ab etwa 1 500 m über NN etwas im Vorteil, ab 3 000 m sinnvoll.

■ **Wartung und Wartungsintervalle**

Die Wartungsansprüche sollten bei Einfachtraktoren so gering wie möglich sein – möglichst auf Niveau „Dorfschmiede“. Der gegenteilige Trend gilt für die Intervalle, weil die Arbeitskosten gering sind.

■ **Qualität der Betriebsstoffe**

Diese sind meistens durch lokale Bedingungen vorgegeben. Die oberen Stufen III bis IV verlangen wegen der Aufladung, der hohen Leistungsdichten und der langen Wartungsintervalle hoch spezifizierte Öle

und gleichzeitig wegen der komplexen Einspritzsysteme, Emissionsgrenzen und gegebenenfalls Nachbehandlungssysteme auch hoch spezifizierten, schwefelarmen Dieselmotoren. Das ist in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern nicht gegeben und unterstreicht die Zweckmäßigkeit einfacher Techniken für diese Märkte.

■ **Lokale Verfügbarkeit**

Will man Motoren der oberen Technologiestufen lokal z. B. in Schwellenländern fertigen, gibt es oft Probleme mit verfügbaren Werkstoffen und Zulieferteilen. Eingeführtes Material verursacht meistens sehr hohe Kosten. Auch dieses unterstreicht die Anwendung der unteren Stufen für weniger entwickelte Länder.

■ **Lebensdauer**

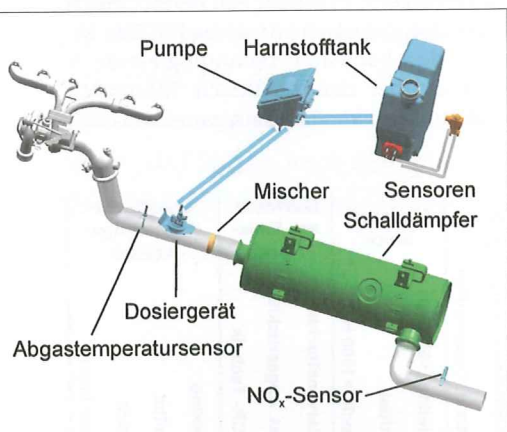
Die Verfasser schätzen, dass es ein leichtes Gefälle von V nach I gibt. Für die Stufen III bis V können B10-Lebensdauerziele (90 % Überlebenswahrscheinlichkeit) von etwa 6 000 bis 12 000 Betriebsstunden gelten – steigend mit der Leistung [1]. Für die Stufen I und II etwas weniger.

■ **Erlöse**

Es gibt ein so großes Gefälle von V nach I, dass z. B. die Produktion von Einfachtraktoren der Stufen I und II in Mitteleuropa oder Nordamerika (z. B. für Indien oder China) bisher und wahrscheinlich auch in nächster Zukunft nicht infrage kommt. Hauptgrund sind die sehr niedrigen lokalen Arbeitskosten in den typischen Märkten der Traktorstufen I und II.

**Technologiestufen und Programme einiger Motorenhersteller**

Die folgenden Informationen basieren auf Informationen von drei Herstellern [12]. **John Deere** beliefert die eigenen Traktorfabriken sowie weitere Traktorfirmitäten mit



4: SCR-System zur NOx-Reduktion mit Harnstoff [7]

unten“ zu Motoren geringerer Leistung. Ein Grund sind die zukünftig weiter verschärften und nach Leistung gestaffelten Emissionsgrenzen, **Tabelle 2**.

**Trends über die gesamte Technologiespannweite**

■ **Leistungsdichte**

Die Leistungsdichte, am besten ausgedrückt durch den Mitteldruck, steigt deutlich von I nach V mit allerdings geringen Unterschieden zwischen IV und V. Die Differenzierung wird dabei vor allem durch Turboaufladung erreicht. In den oberen Technologiestufen reichen die Mitteldrücke von Sechszylindermotoren lange Zeit wesentlich höher als die von Vierzylindern [10], weil viele Landwirte statt hoch aufgeladener Vierzylinder mild aufgeladene Sechszylindermotoren bevorzugten – und es teilweise immer noch tun [11].

■ **Drehmomentanstiege und Überleistungen**

Diese Kriterien sind bei den Stufen I und II kaum ein Thema, zunehmend aber bei den

Leistung	NOx	HC	CO	Partikel	Datum
PN	NOx+NMHC				
kW	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
Stufe IIIA					
19 ≤ PN < 37	7,5		5,5	0,6	2007
37 ≤ PN < 75	4,7		5,0	0,4	2008
75 ≤ PN < 130	4,0		5,0	0,3	2007
130 ≤ PN < 560	4,0		3,5	0,2	2006
Stufe IIIB					
19 ≤ PN < 37	4,7		5,0	0,025	2013
37 ≤ PN < 75	3,3	0,2	5,0	0,025	2012
75 ≤ PN < 130	3,3	0,2	5,0	0,025	2012
130 ≤ PN < 560	2	0,2	3,5	0,025	2011
Stufe IV					
56 ≤ PN < 130	0,4	0,2	5,0	0,025	2014
130 ≤ PN < 560	0,4	0,2	3,5	0,025	2014

Tab. 2: Emissionsgrenzwerte für Traktor-Dieselmotoren in der EU [8] (USA ähnlich)



Motoren der Marke PowerTech des eigenen Geschäftsfeldes Dieselmotoren. Die aktuellen Aggregate PowerTech M, PowerTech E und PowerTech Plus mit 3- bis 6- Zylindern erfüllen Tier 3/EG-Stufe IIIA. Deren Spezifikationen passen zu den hier vorgeschlagenen Technologiestufen III, IV und V. Die PowerTech Plus-Baureihe hat beispielsweise wassergekühlte CommonRail-Motoren in Vierventiltechnik mit gekühlter Abgasrückführung und variabler Turbolader-Geometrie. Daneben verfügt Deere Power Systems unter der allgemeinen Bezeichnung PowerTech über Aggregate, die zwar westliche Abgasvorschriften nicht oder nur teilweise erfüllen, dennoch auf zahlreichen

### Die Strukturierung in fünf Technologiestufen ergibt eine grobe Ordnung

Märkten nach wie vor Verwendung finden. PowerTech Saugdiesel der Stufe II sind in Europa und Nordamerika vereinzelt noch in der Kompaktklasse anzutreffen. Für die von John Deere in China vertriebene Traktorenbaureihe BY kommen Aggregate des chinesischen Herstellers Fjian Lijia zur Anwendung, die der Stufe I zugeordnet werden können.

Die **Deutz AG** bietet luft- und wassergekühlte 3- bis 8-Zylinderaggregate der Technologiestufen II bis V in mehreren Bauweisen an. Diese werden weltweit in zahlreichen Traktorfabrikaten verbaut. Traditionreiche luftgekühlte Deutz-Aggregate kommen in den aktuellen Traktormodellen für die westliche Märkte nur noch vereinzelt vor. Mit der Baureihe TCD 2013 bietet man z. B. einen wassergekühlten CommonRail-Diesel in Vierventiltechnik mit gekühlter Abgasrückführung und Wastegate-Turbolader der Technologiestufe V an, der in Mittelklasse- und Großtraktoren führender Hersteller Verwendung findet.

Die AGCO-Konzerntochter **AGCO Sisu Power** verfügt in Ihrem Produktportfolio über wassergekühlte 3-7-Zylinderdieselmotoren, die sich den Technologiestufen III bis V zuordnen lassen. Man klassifiziert die aktuellen Aggregate der „3rd Generation Series“ für Off-road-Anwendungen entsprechend dem Hubraum. Diese Motoren werden weltweit, insbesondere zunehmend in den AGCO-Traktormarken, verwendet. Die 6-Zylinder-Baureihe 66 CTA bis 84 CTA wird als CommonRail-Diesel in Vierventiltechnik mit Ladeluftkühlung der Stufe V zugeordnet. Mit der Einführung der SCR-Technik verspricht sich AGCO Sisu Power eine bedeutende Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs bei niedrigen Emissionswerten. SCR soll bei Sisu Power die Basistechnologie für die nächste Motorgeneration sein.

### Zusammenfassung und Ausblick

Weltweite Anforderungen an Traktoren und damit auch Motoren erreichen eine immer größere Bandbreite in Funktionen und Leistungen. Global geplante Produktsysteme werden angestrebt, um die Wirtschaftlichkeit von Traktoren durch Baukastenprinzip und globale Arbeitsteilung zu verbessern. Der vorliegende Beitrag analysiert dazu die aktuelle Technik von Traktor-Dieselmotoren. Deren Klassierung in fünf Technologiestufen führt zu einer brauchbaren Grobstrukturierung, wie die Analyse der aktuellen Bauprogramme von drei Motorenherstellern zeigt. Die Methodik ist wahrscheinlich auch für andere technische Systeme geeignet.

TU MÜNCHEN  
KIT 6057930

WWW  
www.vfv1.de/#6057930

#### Quellenangaben:

- [1] Renius, K.Th.: *Tractors: Two Axle Tractors; CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. III, p. 115-184. St. Joseph, MI, USA: ASAE American Society of Agricultural Engineers 1999*
- [2] Renius, K.Th.: *Global Tractor Development: Product Families and Technology Levels; 30. Symposium „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Optatija, Croatia, 12.-15.3.2002. Proceedings S. 87-95*
- [3] Ehrlenspiel, K., A. Kiewert und U. Lindemann: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, 4. Auflage; Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2003 (S. 359-360)*
- [4] Persönliche Mitteilung von Prof. Wang Mahua, China Agriculture University und Chinese Academy of Engineering, Peking
- [5] Renius, K.Th. und G. Sauer: *Motoren und Getriebe bei Traktoren; Jahrbuch Agrartechnik 8 (1996) S. 55-60 und 251-251; Münster: Landwirtschaftsverlag 1996 (deutsch/engl.)*
- [6] Drews, P. et al.: *Fast Model Predictive Control for the Air Path of a Turbocharged Diesel Engine, European Control Conference (ECC), Budapest, Ungarn, 23.-26.8.2009. Proceedings S. 3377-3382*
- [7] Renius, K.Th. und M. Geimer: *Motoren und Getriebe bei Traktoren; Jahrbuch Agrartechnik 19 (2007) S. 57-64. Münster: Landwirtschaftsverlag 2007 (deutsch/engl.)*
- [8] Geimer, M. und K.Th. Renius: *Motoren und Getriebe bei Traktoren; Jahrbuch Agrartechnik 21 (2009) S. 62-67. Frankfurt/M.: DLG-Verlag 2009 (deutsch/engl.)*
- [9] Renius, K.Th. und H. Knechtges: *Gesamtentwicklung Traktoren; Jahrbuch Agrartechnik 20 (2008) S. 63-70. Frankfurt/M.: DLG-Verlag 2008 (dt./engl.)*
- [10] Renius, K.Th.: *Traktoren 1993/94. Automobiltechn. Zeitschrift ATZ 96 (1994) H. 7/8, S. 460-470*
- [11] Neunaber, M. und W. Holtmann: *140 PS aus 4 Zylindern? Pro und Contra (vier Zylinder oder Sechszylinder); Profi 21 (2009) H. 3, S. 92-93*
- [12] Broschüren, Datenblätter und persönliche Auskünfte der genannten Traktoren- und Motorenhersteller

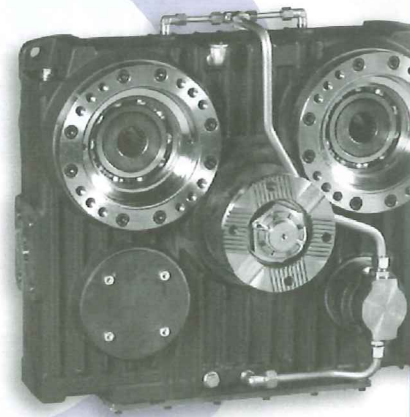
**RÖGELBERG**  
Getriebe



#### Wir bieten Ihnen:

- Getriebe
- Sonderlösungen
- Knowhow und
- hohe Qualität

wie Sie es bereits von uns seit über 50 Jahren gewohnt sind.



Rögberg-Stirnrädergetriebe für Bergbaufahrer.

Wir stellen aus! 08. - 14.11.2009  
Agritechnica Hannover  
Halle 13 • Stand Nr. B41

**Rögberg Getriebe GmbH & Co. KG**  
Am Rögberg 10  
D-49716 Meppen

Telefon: ++49 (0) 59 32 / 5 07-0  
Telefax: ++49 (0) 59 32 / 5 07-101  
info@roegelberg-getriebe.de  
www.roegelberg-getriebe.de

Weitere Informationen [www.vfv1.de/#6244940](http://www.vfv1.de/#6244940)