

Was kommt nach der nächsten Abgasstufe?

Ab 2014 müssen die ersten Traktoren noch strengere Abgasgrenzen einhalten. Wir haben unter anderem mit Dr. Dirk Bergmann* diskutiert, ob es danach noch härter wird und wie es die Konstrukteure schaffen wollen, die Motoren sparsamer zu machen.

Im nächsten Jahr werden die Abgasobergrenzen für Schleppermotoren noch strenger. Im Fokus stehen vor allem Stickoxide (NOx) und Ruß. Mit der Stufe IV (Tier 4 final) ab 2014 dürfen Traktoren über 130 kW nur noch 3% der NOx und 3% der Partikel im Vergleich zum Start der Abgasgesetzgebung 1996 durchs Auspuffrohr schicken. Für Partikel gilt diese Obergrenze bereits seit 2011, jetzt ziehen auch die NOx nach. Also muss das NOx im Vergleich zur vorherigen Stufe IIIB noch einmal um 80% reduziert werden.

Im Prinzip gibt es zwei Wege, die Grenzwerte einzuhalten: Stickoxide entstehen besonders bei hohen Verbrennungstemperaturen und -drücken, also vor allem wenn der Motor im Verbrauchsoptimum läuft. Dabei entsteht nur wenig Ruß. Leitet man dagegen einen Teil der Abgase gekühlt wieder zurück in den Brennraum, kann man die Stickoxid-Bildung senken. Allerdings bildet sich dann mehr Ruß und

der Verbrauch steigt, wenn nicht mit deutlich höheren Auflade- und Einspritzdrücken entgegengewirkt wird.

Bei der ersten Variante muss das Abgas mit dem hohen Anteil an Stickoxiden nachbehandelt werden. In einem Kat wird wässrige Harnstofflösung (AdBlue) eingespritzt und die Stickoxide wandeln sich so zu Luftstickstoff und Wasserdampf um (SCR-System). Bisher setzen u.a. die Motorenhersteller FPT, Deutz und Agco Power in den Leistungsklassen ab rund 75 kW auf diese Lösung. Nachteil sind die Kosten und die Logistik für das AdBlue.

Einen anderen Weg geht John Deere. Durch die gekühlte Abgasrückführung halten die Schlepper die Grenzwerte auch ohne AdBlue ein. Dafür muss der entstehende Ruß mit einem Partikelfilter (DPF) aus dem Abgas gefischt werden. Der aufgefangene Ruß wird – gesteuert vom Bordrechner – regelmäßig aus dem Filter entfernt. Dazu erhöht das System ca. alle 24 Betriebsstunden die

Einspritzmenge, die Abgastemperatur steigt und die Rußpartikel verbrennen im Filter. DLG-Messungen bei unseren Schleppertests haben keinen nennenswerten spezifischen Mehrverbrauch festgestellt. Allerdings sammelt sich mit der Zeit nicht verbrennbare Asche (z. B. Reste von Öladditiven) in den Filtern an, sodass sie ausgetauscht werden müssen. John Deere hat bei unseren letzten Schleppertests die Kosten für den Austausch nach 5000 Betriebsstunden bei den aktuellen Modellen auf rund 600 € beziffert.

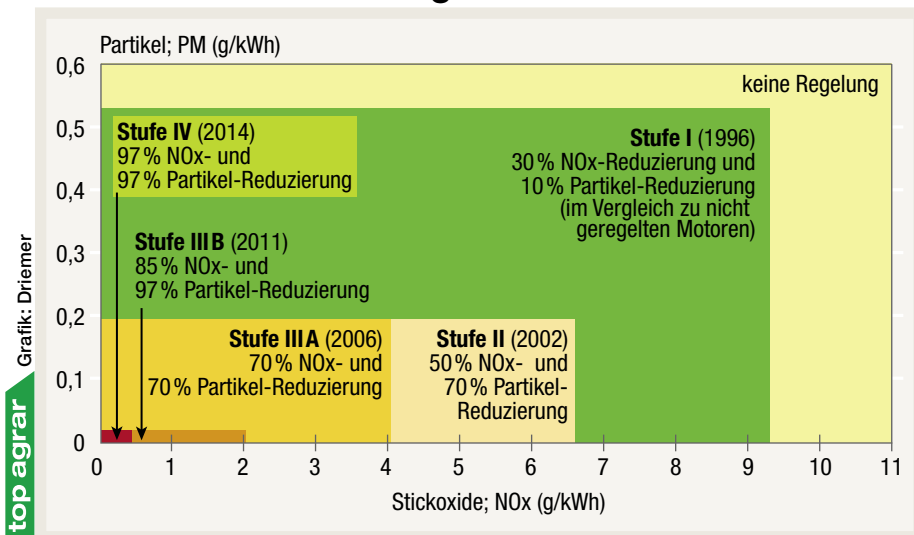
Durch die Abgasrückführung läuft der Motor allerdings nicht im Verbrennungsoptimum und Nachteile können sich durch eventuelle Rückstände bzw. Säureeinwirkung an den mit Abgas in Kontakt stehenden Motorkomponenten ergeben. Der Aufwand für die Kühlung des Motors ist höher.

Nicht mehr ohne AdBlue: Um die nächste Abgasstufe 2014 zu erreichen, wird aber auch John Deere einen SCR-Kat, also AdBlue, in das bestehende System integrieren. Durch die ziemlich aufwendige Kombination von AdBlue mit der Abgasrückführung und dem Partikelfilter lässt sich der AdBlue-Verbrauch in Grenzen halten.

Andere Hersteller, wie z. B. FPT, erreichen die letzte Abgasstufe mit reiner SCR-Technik. Ihre Philosophie: Der Motor soll „frei atmen“, also möglichst im Optimum laufen. So werden die aktuellen Rußgrenzwerte eingehalten. Alle anderen Schadstoffe müssen in der Abgasnachbehandlung unschädlich gemacht werden. Das geschieht zunächst über einen Dieseloxydations-Katalysator (DOC). Und dann über das SCR-System mit AdBlue. Bisher ist also kein Partikelfilter notwendig.

Übrigens: Bei den Traktoren im niedrigeren Leistungsbereich arbeiten alle Firmen weiterhin aus Kostengründen mit der Abgasrückführung. In der Klas-

Übersicht 1: 97% weniger Schadstoffe ab 2014



Abgasstufen für Motoren über 130 kW. Die Abbildung zeigt, um wie viel Prozent der Schadstoffgehalt jeweils in Bezug auf unregulierte Motoren reduziert werden musste.



Das aktuelle Abgasziel ist erreicht. Jetzt geht es verstärkt um den Verbrauch und Feinstpartikel im Abgas.

se unter 56 kW hängt die gesetzliche Latte außerdem nicht ganz so hoch wie bei den größeren Triebwerken.

Bei den größeren wird ähnlich wie im Lkw-Bereich in Zukunft mit einer weiteren Verschärfung der Abgasgrenzen gerechnet. Zurzeit wird die Stufe V vorbereitet, die sich wahrscheinlich an der

Der Motoren-Experte



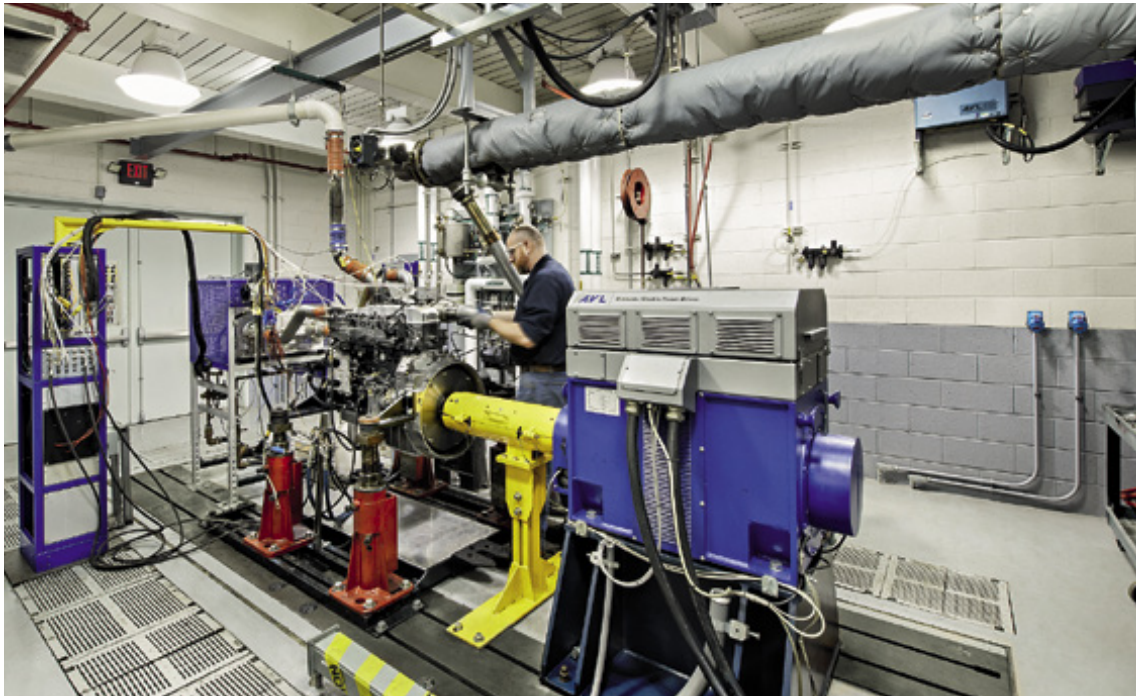
Dr. Dirk Bergmann ist Leiter der FPT Motorenforschung AG in Arbon, Schweiz. FPT-Motoren arbeiten unter anderem in Traktoren von Case IH, New Holland und Claas (Axion 800 und 900).

Lkw-Norm Euro VI orientiert, und 2019 bis 2020 in Kraft treten soll. Dann wird es vor allem um die Feinstpartikel gehen. Bisher wird im Rahmen der Emissionsgesetzgebung die Partikelmasse (inkl. Ruß) limitiert. Weil aber insbesondere allerfeinste Partikel im Verdacht stehen, ernsthafte gesundheitliche Schäden in der Lunge hervorzurufen, wird es wie in der Lkw-Euro VI auch bei der Off-Road-Abgasstufe V einen Partikel-Anzahlgrenzwert geben. Nach dem heutigen Stand der Technik geht das dann nicht mehr ohne spezielle Partikelfilter.

Im technisch sinnvollen Rahmen lassen sich die Abgase darüber hinaus kaum noch reduzieren. Deshalb kommt parallel die CO₂-Diskussion auf, die im Bereich der Landwirtschaft besonders schwierig zu bewerten ist (siehe auch top agrar 06/2013). Unabhängig vom Ausgang der Diskussion: Steigende Die-

selpreise sind Anlass genug, die Motoren so sparsam wie möglich zu machen. Nachdem die Abgasgesetzgebung in den letzten Jahren fast bei allen Herstellern einen Großteil der Entwicklungskapazitäten gebunden hat, können sich die Firmen nach Erreichen der vorerst letzten Stufe intensiver darum kümmern, den Verbrauch bzw. die Lebenskosten der Motoren zu optimieren.

Der Wirkungsgrad steigt! Bei Erfindung des Dieselmotors lag der Wirkungsgrad bei rund 26%. Steigerungen brachten unter anderem Turbo, Ladeluftkühlung und Vierventiltechnik. Moderne Triebwerke erreichen heute bis 46% Wirkungsgrad. Dr. Dirk Bergmann hält eine weitere Steigerung auf bis zu 55% bis 2020 für möglich. Dabei setzen natürlich die Kosten, das Gewicht und die Abmessungen (Wendigkeit) des Schleppers Grenzen. Im Detail



Um den Wirkungsgrad weiter zu erhöhen, wollen einige Firmen möglichst viel Wärme aus dem Abgas nutzen.

diskutieren die Entwickler zurzeit folgende Ansätze:

- **Reibung reduzieren:** Das Prinzip des Dieselmotors ist 120 Jahre alt und immer noch lassen sich Reibungsverluste im Triebwerk reduzieren: bessere Schmierstoffe, Druckschmiersysteme, verbesserte Lager, spezielle Beschichtung der Oberflächen. Auch innerhalb des Turbos lassen sich künftig die Reibungsverluste noch senken.

- **Aggregate nach Bedarf:** Dieselpumpe, Lüfter, Kompressor, Hydraulikpumpen oder auch der Klimakompressor werden oft direkt mechanisch vom Motor angetrieben. Viele „Organe“ lassen sich maximal an- und abschalten. Einsparmöglichkeiten bestehen also über einen bedarfsgerechten Antrieb der Organe. Das lässt sich z.B. über interne elektrische Antriebe umsetzen.

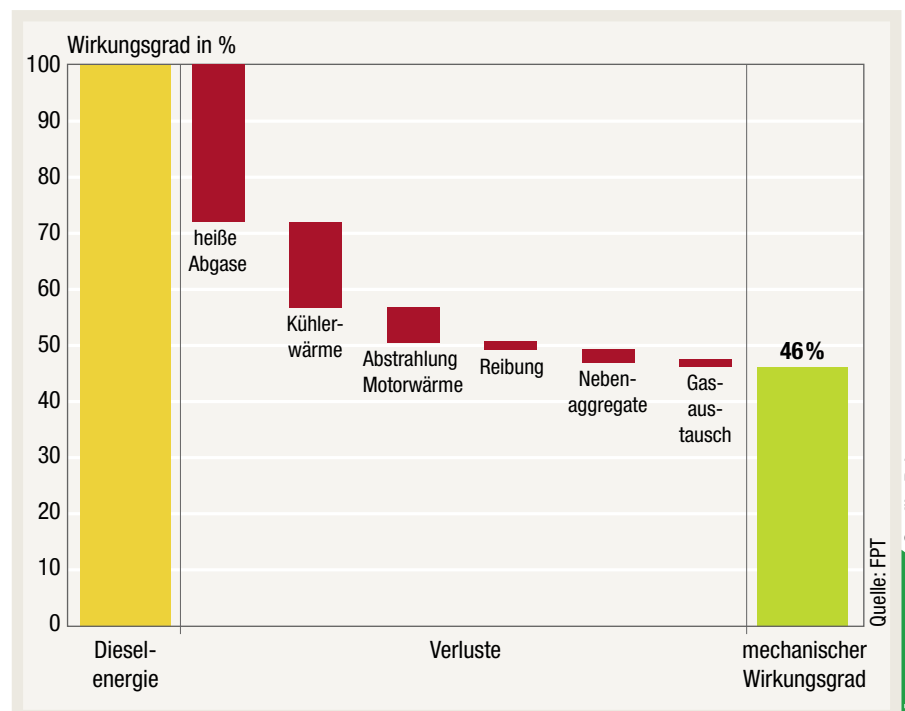
- **Einspritzung optimieren:** Der eingespritzte Diesel soll so vollständig verbrennen wie eben möglich. Die Einspritzung muss optimal auf den Verbrennungstakt abgestimmt sein. Durch CommonRail-Systeme mit Injektoren, die unter anderem über Piezo-Elemente sehr schnell öffnen und schließen, lässt sich bereits jetzt der Diesel pro Verbrennungstakt mit 1800 bis 2200 bar in mehreren kleinen Portionen einspritzen (An/Aus). Die Konstrukteure entwickeln die Einspritzung weiter. Künftig könnten neue Injektoren während des gesamten Arbeitstaktes einspritzen und dabei die Menge passend variieren. Mittlerweile gibt es erste Ansätze, diese regelungstechnisch sehr anspruchsvolle Aufgabe zu realisieren.

- **Intelligente Steuerung:** Der Fahrer hat immer noch großen Einfluss auf den Verbrauch. Intelligente Software für Motor und den gesamten Antriebsstrang kann den Fahrer entlasten und alle Einstellungen auf die aktuelle Arbeit optimieren. Die Sensoren im Antriebsstrang ermitteln den aktuellen Leistungsbedarf und die Elektronik regelt Einspritzmenge, Motordrehzahl

und Getriebeübersetzung automatisch. Auch die Charakteristik des Motors lässt sich variabel, passend zur wirklich benötigten Leistung gestalten. Diese Lösungen gibt es unter anderem bereits im Bereich der Feldhäcksler.

- **Abgasnachbehandlung optimieren:** Die Filter und Katalysatoren sind sehr teuer und bisher oft mit Reserven ausgelegt. Durch genauere Strömungsanalysen

Übersicht 2: Heute maximal 46 Prozent Effizienz



Die größten Verluste gehen noch als heiße Abgase durch den Auspuff. Die Konstrukteure arbeiten daran, auch diese Energie noch zu nutzen.

und verbesserte Regelungsstrategien lassen sich die Bauteile zukünftig effizienter und kompakter gestalten.

• Energie aus dem Abgas: Trotz Abgasturbo gehen bei modernen Schleppermotoren zwischen 25 und 30% der Dieselenergie über das heiße Abgas durch den Auspuff verloren. Wenn sich diese Energie effizient nutzen ließe, könnte man den Motorwirkungsgrad sogar noch einmal um mehr als 5% anheben.

Ein interessanter Ansatz ist das Turbo-Compound-System. Hinter dem Turbo-Lader treibt das Abgas eine weitere Turbine an, die ihre Leistung über ein Getriebe an die Kurbelwelle abgibt. Das System kommt vom Flugzeugbau und wird heute bei Lkw, BHKW und auch bei den größten New Holland-Mähdreschern eingesetzt. Der Wirkungsgradgewinn bewegt sich um 3 bis 4%.

Recht große Erwartungen setzen die Konstrukteure in den sogenannten Rankine-Prozess. Das System wird heute bereits sehr erfolgreich in Kraftwerken eingesetzt. Unter anderem arbeitet der auf Automotive-Klimasysteme spezialisierte Zulieferer Behr daran, das System auch für Fahrzeugmotoren nutzbar zu machen. Vereinfacht dargestellt funktioniert das Ganze so: Eine Flüssigkeit wird durch die heißen Abgase in einem geschlossenen System verdampft. In einer Turbine gibt der Dampf

seine Energie wieder ab. Heruntergekühlt beginnt der Prozess erneut. Bei konstanter Leistung kann die Dieseleinspritzmenge zurückgenommen werden. Das Einsparpotenzial soll bei diesem System über 5% liegen. Bisher gibt es im Landmaschinen-Bereich aber noch keine Triebwerke, die damit ausgestattet sind.

• Energiespeicher: Bei Pkw im Stadtverkehr, Radladern oder auch Hafenkranen versucht man Energie beim Bremsen, Richtungswechsel oder Absenken von Lasten „aufzufangen“ und zu speichern. Das geht z.B. über ein Hybridsystem mit Akkus oder hydraulischen/pneumatischen Druckspeichern. Im normalen Leben eines Ackerschleppers gibt es aber nur selten große Schwungmassen abzubremsen – also ist der Energiespeicher kaum ein Weg, wirtschaftlich Kraftstoff einzusparen.

• Alternative Antriebe: Die fossilen Kraftstoffe sind in ihrem Energiegehalt und der Speicherbarkeit kaum zu toppen. Allerdings gibt es auch bereits Traktoren mit Gasmotoren (Zündstrahltechnik) im Probetrieb. Theoretisch können die Motoren auch selbst erzeugtes Biogas verbrennen. Das müsste aber zuvor aufwendig aufbereitet werden. Auch absehbare Zeit wird es bei Ackerschleppern kaum ohne Diesel – oder vielleicht Benzin – gehen. *G. Höner*

Schnell gelesen

- Ab 2014 müssen die ersten Traktoren die strengste Abgasstufe erfüllen. Das wird ohne AdBlue nicht mehr möglich sein.
- Nach Erreichen der bisherigen Abgas-Gesetze wird mit einer weiteren Verschärfung gerechnet, die sich an den Normen für Lkw orientiert. Dann geht es um Feinstpartikel.
- Wenn ohnehin AdBlue an Bord ist, können die Konstrukteure die Verbrennung optimieren und das NOx im Kat. unschädlich machen.
- Heutige Motoren erreichen maximal 46% Wirkungsgrad. Fachleute halten eine Steigerung auf bis zu 55% für realistisch.