Fotos: Heil, Werkbilder, Höner

Rund um die Technik FACHWISSEN

Motorleistung: Angaben zum Angeben

Praxisferne Leistungsangaben, steigende Abgasnormen, Boost und Chiptuning: Beim Schlepperkauf blickt kaum noch ein Praktiker durch. Wir geben Antworten auf die 10 wichtigsten Fragen rund um den Motor.

Ein Motor, eine Plattform, zwei Marken und total unterschiedliche Typenbezeichnungen: Während die Modellbezeichnung der einen Marke die PS-Nennleistung enthält, steckt in der anderen die geboostete Maximalleistung. So werden aus 160 PS beim roten Traktor ganz schnell 210 PS beim blauen – wohlgemerkt bei identischen Motoren!

Die Prospektangaben der Hersteller sind oft so unübersichtlich, dass es vielen Praktikern schwerfällt, unterschiedliche Angebote fair miteinander zu vergleichen. Dazu kommen immer neue Bezeichnungen für Motorkonzepte und Strategien zur Leistungssteigerung. Und durch die Diskussionen über Abgasnormen, Chiptuning und Spar-Rekord-Verbrauchszahlen in den Anzeigen geht der Überblick schließlich komplett verloren. Die Verwirrung ist perfekt und man wird ein leichtes „Opfer" für geschickte Verkäufer.

Doch wenn man in etwa versteht, wie moderne Schleppermotoren wirklich ticken, kann man auch die Informationen der Hersteller besser einordnen. Wir haben die 10 wichtigsten Fragen, die Praktiker immer wieder stellen, gesammelt und Fachleute nach den richtigen Antworten gefragt.

1 Was ist der Unterschied zwischen Drehmoment und Leistung?

Die Leistung eines Motors ergibt sich aus dem Drehmoment (also der Kraft, die an der Kurbelwelle dreht) und der Drehzahl (Drehmoment x Drehzahl geteilt durch 9550 = Leistung in kW). Drehmoment und Drehzahl sorgen für die individuelle Leistungscharakteristik des Motors, die man meist in einem typischen Diagramm darstellt.

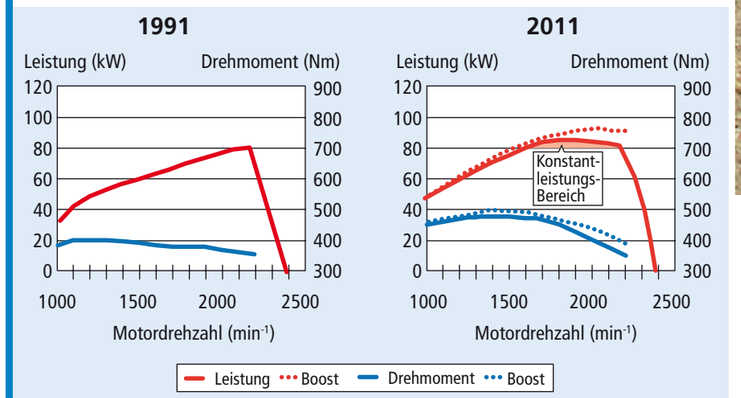
Die Diagramme haben sich in den letzten Jahren entscheidend verändert, was vor allem an den modernen Einspritz-Systemen liegt. Bei klassischen mechanischen Pumpen stehen Drehzahl und Einspritzmenge in einem engen Verhältnis. Bei Nenndrehzahl hat die mechanische Pumpe keine Reserven mehr, sie arbeitet am Endanschlag. Steigt jetzt die Last an, kommen Motor und damit auch die Einspritzung schneller von Touren, die Leistung fällt drastisch ab. Man muss den Gang wechseln, wenn man den Motor nicht abwürgen will.

Anders bei modernen, elektronischen Einspritzsystemen: Durch Mehrfacheinspritzungen und längere Einspritzdauer kann die Leistung „in die Länge" gezogen werden. Wächst bei diesen Motoren die Last, legt die elektronische Einspritzung noch was drauf. Dadurch steigt das Drehmoment – also das „Durchzugsvermögen" – stark an, was man klar an dem Verlauf der Kurve erkennen kann. Trotz sinkender Drehzahl setzt der Motor jetzt mehr Leistung als bei Nenndrehzahl frei, was auch als Überleistung bezeichnet wird. Bei modernen Motoren ist dieser Anstieg um bis zu zehn Mal höher als beim alten Diesel mit gleicher Leistung.

Der Drehzahlbereich, in dem der Motor mit Überleistung arbeitet, heißt auch Konstantleistungs-bereich. Gute Motoren erreichen heute bis zu 10 % Überleistung und einen Konstantleistungs-Bereich bis zu 30 % – sprich bei 1500 Touren ist die Leistungsabgabe noch genau so hoch, wie bei 2100 U/min.

Die Motoren haben den geringsten spezifischen Verbrauch (Menge Diesel pro Leistung in einer bestimmten Zeit, z.B. Gramm pro Kilowattstunde) bei ca. 1500 Umdrehungen. Deshalb dürfen sie bei Volllast ruhig mit gedrückter Drehzahl knurren – das ist effizient.

Übersicht 1: So haben sich Leistung und Drehmoment in den letzten 20 Jahren entwickelt



Zwei Traktoren mit gleicher Nennleistung aber 20 Entwicklungs-Unterschied: Links fällt die Leistung mit sinkender Drehzahl deutlich ab, es gibt keine Überleistung. Rechts das Diagramm eines modernen Motors: Mit sinkender Drehzahl steigen Drehmoment und Leistung deutlich an, der Motor hat Überleistung bzw. einen Konstantleistungs-Bereich. Noch mehr Power gibt's durch den Boost. *Grafik: Orb*

2 Warum ist das leichte Motorrad so stark wie der schwere Traktor?

Satte 110 PS aus gerade 0,61 Hubraum: Die Triebwerke von Rennmaschinen setzen enorme Leistung frei. Der Motorradmotor arbeitet mit 12000 oder sogar 14000 Umdrehungen pro Minute. Er „braucht" also nur ein Bruchteil des Drehmoments, um auf die gleiche Leistung wie ein Schleppermotor zu kommen, der mit 1500 Umdrehungen an der Schwungscheibe dreht (Drehmoment x Drehzahl = Leistung).

Bei gleicher Leistung ist aber durch das geringe Drehmoment die Durchzugskraft des Motorrades nicht mit dem Schlepper zu vergleichen. Das Bike ist für die hohe Geschwindigkeit gebaut. Der Schlepper entwickelt seine hohen Zugkräfte bei vergleichsweise niedriger Geschwindigkeit.

3 Warum hat ein Dreizylinder so viel PS wie früher ein Sechszylinder?

Die Motorkonstrukteure holen immer mehr Leistung aus dem Zylinder und sparen so Hubraum ein. Motoren mit weniger Zylindern sind leichter, kompakter und brauchen weniger Diesel. Wie erreichen die Ingenieure diese Leistungssteigerung?

Luft und Diesel müssen im optimalen Verbrennungsverhältnis stehen. Heißt im Umkehrschluss: Je mehr Luft man in den Brennraum packt, desto mehr Diesel kann eingespritzt werden und desto mehr Leistung kann man aus dem Hubraum holen. Dazu gibt's einige technische Kniffe:

■ Turbolader drücken mehr Luft in den Brennraum. Bei modernen Motoren erreicht der Ladedruck bereits 2,5 bar und er wird weiter steigen. Die Turbine wird direkt über den Abgasstrom angetrieben, frühe Turbos hatten deshalb eine Schwäche: Geringe Motordrehzahl bedeutete weniger Abgas, niedrige Turbodrehzahl und damit einen geringeren Ladedruck: Das ist der Grund für das Turbo-Loch.

Moderne Lader mit Wastegate oder variabler Geometrie (VGT- bzw. VTG-Lader) beatmen den Brennraum auch bei niedrigen Drehzahlen mit genug Luft.

■ Ladeluftkühler oder Intercooler: Durch das Turbo-Verdichten erwärmt sich die Luft. Der Haken: Warme Luft enthält weniger Sauerstoff, pro 100° C halbiert sich der Gehalt. Ein Intercooler hinter dem Turbolader hat deshalb die Aufgabe, die Verbrennungsluft so weit wie möglich wieder herunterzukühlen. Mehr Sauerstoff erlaubt mehr Diesel und damit mehr Leistung.

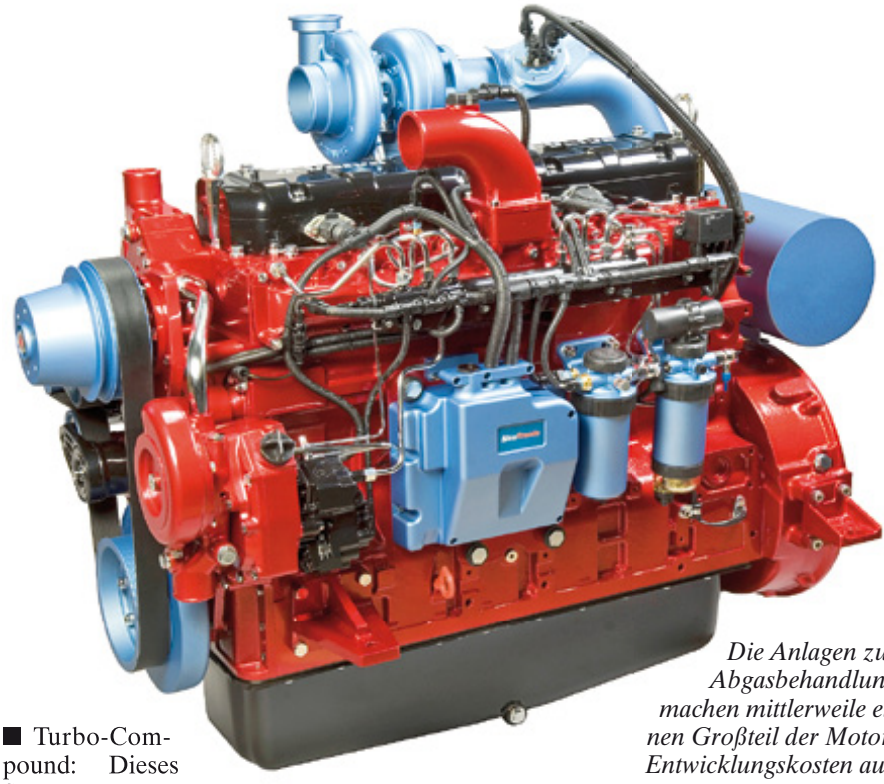
■ Mehrventiltechnik: Zylinderköpfe mit vier Ventilen sorgen für einen schnelleren Gaswechsel. Und in noch kürzerer Zeit gelangt mehr Luft in den Brennraum. Optimierte Brennraummulden in den Kolben verbessern zusätzlich die Durchmischung von Diesel und Luft.

■ Commonrail-Einspritzung (CR): Ein System – zwei wichtige Vorteile durch hohen Druck und variable Einspritzungen. Aktuelle CR-Systeme beim Schlepper erreichen bis zu 1 800 bar, bei einigen Pkw-Motoren sind es bereits 2 400. Je höher der Druck, desto feiner die Zerstäubung und desto besser die Dieselausnutzung bei höherem Ladedruck. Die Konstrukteure müssen übrigens auch das Material des Brennraums auf die hohen Drücke abstimmen, sonst frisst sich der Dieselstrahl irgendwann durch Zylinder oder Kolben.

Die Commonrail-Injektoren lassen sich elektronisch unabhängig von der Motordrehzahl steuern. Selbst wenn der Kolben im Arbeitstakt schon auf dem Weg nach unten ist, kann man noch Diesel „nachschieben“. Das sorgt für höheren Verbrennungsdruck und mehr Drehmoment. „Alte“ Diesel erreichen 30 bis 50 bar Verbrennungsdruck, aktuelle Triebwerke bis zu 80 bar.

■ Regelbare Lüfter: Vollhydraulische Lüfter mit weitem Regelbereich fördern nur so viel Luft, wie das Kühlsystem aktuell benötigt. Die Zukunft gehört den Vistronic-Lüftern, die über feste Kenngrößen noch genauer regeln. Maßgeschneiderte Kühlsysteme halten die Verluste gering und verhindern, dass die thermische Belastung des Motors zu hoch wird.

■ Weniger Reibung: Leichtmetallkolben mit spezieller Beschichtung, Leichtlauföle, Druckumlaufschmierung (weniger Öl, weniger Planschverluste) senken die Verluste.



Die Anlagen zur Abgasbehandlung machen mittlerweile einen Großteil der Motor-Entwicklungskosten aus.

■ Turbo-Compound: Dieses System stammt ursprünglich aus Flugzeug-Sternmotoren und wird bisher nur bei sehr großen Motoren eingesetzt (Quadtrac, New Holland CR 9090). Eine zusätzliche Turbine hinter dem Turbo nutzt die kinetische Abgasenergie und überträgt sie über ein spezielles Getriebe auf die Kurbelwelle. Das soll bis zu 3 % Mehrleistung bringen.

4 Laufen Fünfzylinder immer unrunder?

Je mehr Zylinder, desto kürzer ist der Zündabstand, was für mehr Laufruhe sorgt – egal ob gerade oder ungerade Zylinderzahl. Je mehr Weg die Kurbelwelle bis zur nächsten Zündung überbrücken muss, desto ruppiger läuft der Motor. Der Dreizylinder hat einen Zündwinkel von 240°, der Vierzylinder von 180° und der Sechszylinder 120°. Warum gibt es dann Schlepper mit 4 und 6 Zylindern, aber nicht mit 5? Der Haken sind die Kosten: Die speziellen Kurbel- und Nockenwellen lassen sich nur aufwändig fertigen (Fiat hatte mal Fünfzylinder im Programm).

Je weniger Zylinder, desto mehr muss man für Ausgleich sorgen: Ein Dreizylinder braucht eine schwere Schwungscheibe mit exzentrisch verteiltem Gewicht. Bei den größeren Motoren arbeiten die Konstrukteure mit Ausgleichswellen, die per Stirnrad angetrieben werden oder mit einem so genannten Ballancer, der mittig auf der Kurbelwelle sitzt. Mit steigender Zylinderzahl nehmen die Gewichte ab.

5 Wohin verschwinden die Pferdestärken?

Dieselmotoren setzen zwischen 30 und 46 % der Kraftstoffenergie in Drehleistung um. Der Rest geht als Wärme bzw. Abgasenergie verloren.

Gute Schleppermotoren erreichen immerhin Werte von bis zu 38 %, mit den absoluten Spitzenwerten punkten bisher nur Pkw. Aber Achtung: Diese Werte beziehen sich immer auf die Leistung, die an der Schwungscheibe ankommt. Intern geht weitere Leistung verloren. Bei einem Schlepper mit z.B. 130 PS müssen Sie mit diesen Verlusten rechnen:

■ Lichtmaschine: 1,5 bis 3 PS
■ Kühlerlüfter: 5 bis 8 PS
■ Druckluftanlage: 2 bis 3 PS
■ Klimaanlage: 5 bis 7 PS
■ Abgasbehandlung: 2 bis 3 PS

Die Verluste können sich also bis auf über 20 PS summieren.

6 Was genau macht der Boost?

Ein Boost erhöht über die elektronische Einspritzanlage die Motorleistung um bis zu 40 oder mehr PS, sobald es die Belastung des Antriebsstrangs zulässt.

In vielen Schleppern ist das teure Getriebe das begrenzende Element. Moderne Zahnradboxen sind relativ leicht und arbeiten mit hoher Drehzahl, um das materialbeanspruchende Drehmoment gering zu halten (Drehzahl x Drehmoment = Leistung). Muss der Schlepper in langsamer Übersetzung schwer ziehen, ist die Drehzahl im Antriebsstrang niedrig und das Drehmoment hoch, das Getriebe hat kaum Reserven: Keine Chance für den Boost!

Anders bei höheren Geschwindigkeiten (höhere Drehzahl, geringeres Drehmoment) sowie bei zusätzlicher Leistungsabnahme über Zapfwelle oder Hydraulikpumpe. Jetzt kann der Antriebsstrang mehr vertragen und die Elektronik packt eine Schüppe drauf.

Entweder schaltet der Boost komplett zu oder die Elektronik erhöht die Leis-

tung Schritt für Schritt nach aktueller Belastung des Antriebsstrangs (z.B. Drehmomentsensor in der Hauptwelle).

7 Sind „saubere" Motoren durstiger?

Hoher Druck, viel Sauerstoff, heiße Verbrennung: Das ist ideal für einen hohen Wirkungsgrad, wenig Ruß – aber leider bilden sich auch reichlich Stickoxide (NO_x). Die Abgasnormen verlangen stetig sinkende Stickoxide. Bei den ersten Abgasstufen bis 3a haben die Konstrukteure das noch über einige Kunstgriffe erreicht, wie z.B. die Abgasrückführung (EGR) und verschobene Einspritzzeitpunkte, die für geringeren Druck, weniger Sauerstoff und niedrigere Temperaturen sorgen. Die Folge: Die Effizienz der Motoren sinkt. Fachleute schätzen, dass der spezifische Verbrauch seit Einführung der Abgasgesetzgebung zwischen 5 und 10 % gestiegen ist. Hätten die Ingenieure die Triebwerke nicht an anderer Stelle weiter verbessert, wäre der Anstieg vermutlich noch deutlicher ausgefallen.

Mit der aktuellen Stufe 3b im oberen Leistungsbereich entscheiden sich die meisten Motorenhersteller für die SCR-Technologie. Die Stickoxide werden jetzt in einem Kat durch Zugabe einer Harnstofflösung (AdBlue) in unschädlichen Luftstickstoff umgewandelt. Der AdBlue-Verbrauch liegt zwischen 5 und 7 % des Dieselverbrauchs. AdBlue kostet etwa 1/3 vom Dieselpreis.

Vorteil der SCR-Technik: (Fast) alle Effizienzbremsen fallen weg, der Motor kann wieder im Optimum laufen und „alles" aus dem Diesel rausholen. Dadurch soll der Verbrauch im Vergleich zum Motor mit EGR um 5 bis 10 % sinken. Zieht man davon die Aufwendungen fürs AdBlue ab, bleibt unter dem Strich eine Einsparung der Kraftstoffkosten von 4 bis 8 %.

Nachteil: Die Technik ist aufwändig, ziemlich teuer und verbraucht zusätzlich Energie (Pumpen, Heizsystem bei Frost). Dazu kommen die Logistik, die zusätzliche Zapfstelle und die Kosten fürs AdBlue. Das ist einer der Gründe, warum vor allem John Deere zurzeit auch bei den Topmodellen weiter auf EGR setzt. Wegen des hohen technischen Aufwands wird die AdBlue-Technik auch zur schärfsten Abgasstufe ohnehin wohl nur den größeren Modellen vorenthalten bleiben. Bis etwa 120 PS werden die meisten Firmen die Abgasvorgaben mit der EGR-Strategie umsetzen.

Manche Hersteller nehmen es bei ihrer Werbung leider nicht ganz so genau: In ihren Grafiken vergleichen sie die spezifischen Verbräuche verschiedener Wettbewerbsschlepper mit ihren aktuellen SCR-Modellen, ohne auf die jeweilige Abgasstufe der anderen Motoren einzugehen. Auch der AdBlue-Verbrauch wird in diesen Übersichten gerne verschwiegen, frei nach dem Motto: „Das ist ja kein Kraftstoff, sondern nur ein Betriebsmittel..."

Moderne Traktoren arbeiten ab der mittleren Leistungsklasse heute mit elektronischen Einspritz-Systemen.

8 Was passiert beim Chip-Tuning?

Elektronische Einspritzsysteme lassen sich viel mehr beeinflussen als mechanische Lösungen – das nutzen die Chip-Tuner. Sie verpassen Serienschleppern mehr Leistung und/oder senken den Verbrauch.

Dazu erhöhen sie die Einspritzmenge und manipulieren das Motorkennfeld (was letztendlich auch ein Boost macht, aber nur, wenn es der Antriebsstrang wirklich verträgt). Manche Tuner steigern den Druck im Commonrail oder beeinflussen die Einspritzzeitpunkte. Manche haben sogar ganze „Tier-0-Kits" im Programm, mit denen die dieselaufwändigen Systeme zur Abgasreinigung stillgelegt werden (bis hin zum Dichtmachen der Abgasrückführung).

Beim gängigen Tuning erhalten die Motorsteuerboxen eine veränderte Software. Das geht meist direkt vor Ort per Laptop im berühmten schwarzen Bully. Oder der Tuner bietet separate Boxen an, die dann per Post kommen und vom Schlepperbesitzer selbst an entsprechender Stelle in den Kabelbaum gestöpselt werden.

9 Wo liegen die Risiken beim Tuning?

Zugegeben, die Versuchung ist groß: Für 1000 bis 2000 € kommt der Schlepper mit 5 bis 10 % weniger Diesel aus oder hat 50 PS mehr im Ärmel, vielleicht sogar beides. Aber genau so sicher ist, dass der Schlepper sofort sämtliche Garantieansprüche, die Betriebserlaubnis (3 Punkte in Flensburg!) und sogar den Versicherungsschutz verliert (Straftat, 6 Punkte und Anzeige).

Was ist besser? SCR mit dem zusätzlichen Betriebsmittel AdBlue oder ein Partikelfilter? Noch fehlen neutrale Messwerte, die sich direkt vergleichen lassen.

Viele Tuningkunden beruhigen ihr Gewissen. Sie glauben, dass in dem kleineren Modell ohnehin die gleiche Technik des nächst größeren Bruders oder sogar der ganzen Baureihe steckt. Also kann man getrost mehr Leistung durchs Getriebe schicken. Vorsicht: Wie so oft entscheiden die inneren Werte. Auch wenn das Getriebegehäuse von außen gleich aussieht, müssen nicht die gleichen Teile darin rotieren. Schwer erkennbare

Unterschiede gibt's auch beim Lüfter, dem Turbo oder der Kolbenform.

Aber auch wenn der Tuner die Leistung nicht erhöht und sich nur um die Abgase kümmert, drohen Gefahren: Beim Verlegen des Zündzeitpunktes steigt z.B. die thermische Belastung des Motors deutlich an. Die Kopfdichtungen müssen höheren Drücken standhalten, die Kanten der Leichtmetallkolben – der Feuersteg – brennen weg. Ein überhöhter Einspritzdruck wäscht eventuell Injektoren und Kolben aus.

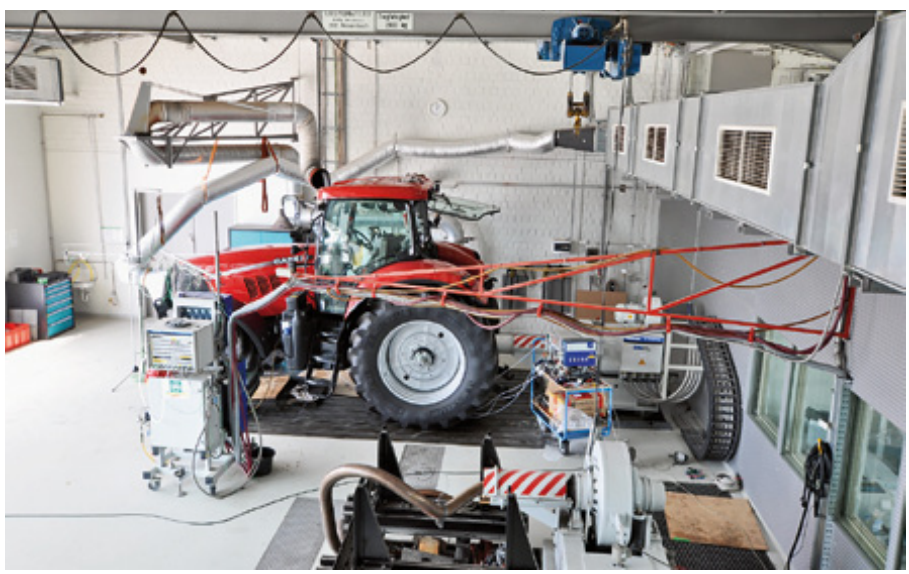
Die Schlepperhersteller bekämpfen das Tuning mit aller Macht. Bei den Firmen geht es in erster Linie um Gewährleistungsfragen: Ist der Getriebeschaden durch einen Materialfehler entstanden oder durch die plötzliche Mehrleistung des Motors? Alle Steuerboxen zeichnen Manipulationen mittlerweile elektronisch auf, teils über versteckte Fehlercodes. Sie erkennen außerdem, ob, wie oft und teils sogar welcher Laptop am Steuergerät eingestöpselt war. Weist der Hersteller das Tuning nach, sind alle Garantieansprüche schnell bearbeitet…

10 Wie lese ich die Prospektangaben?

Früher ging der Kunde zum Händler und kaufte einen 100 PS-Schlepper. Die guten alten DIN-PS bezogen sich auf die Leistung, die der Motor an der Schwungscheibe abgab. Eine recht faire Sache, die allerdings alle Getriebeverluste unberücksichtigt lässt.

DIN-PS oder – kW sind out und leider ist dadurch alles komplizierter geworden. Den verschiedenen Normen liegen unterschiedliche Messmethoden zugrunde (siehe Tabelle). Bis hin zu Angaben zum nackten Triebwerk ohne Wasserpumpe, Kühler, Luftfilter oder Lüfter – welcher Praktiker will das wissen? Aus 100 DIN-kW werden so schnell 110 bis 114 kW.

Manche Firmen wollen es extra „gut" machen und geben in den Prospekten die Leistung gleich nach mehreren Normen an. Und zwar jeweils drei Werte: Nennleistung, Maximalleistung und Maximalleistung mit Boost. Macht sieben oder mehr Leistungsangaben zum selben Motor – alles klar? Eigentlich reicht doch die Zapfwellenleistung (Nenn, Maximal und mit Boost) nach OECD-Norm. Wenn man dann noch grob und pauschal mit 10 % Verlust im Antriebsstrang rechnet, kommt man der wirklichen Zugleistung des Schleppers viel näher. Auch wenn die Firmen aus welchen Gründen auch immer nicht auf die vielen Normen verzichten wollen oder können: Eine deutlich hervorgehobene Zapfwellenleistung, wie z.B. in MF-Prospekten, würde alles übersichtlicher machen. Die Zapfwellenleistung nach OECD ist genau der Wert, den wir bei unserem Schleppervergleich zusammen mit der DLG ermitteln. G. Höner



Die Zapfwellenleistung ist eine praxisgerechte Angabe.

Übersicht 2: So unterscheiden sich die Leistungsnormen

Vergleich der verschiedenen Normen zur Leistungsmessung hinsichtlich der während der Messung mitangetriebenen Nebenaggregate

Norm oder EU-Richtlinie	DIN 70020	SAE J1995	ISO TR14396 ECE R 120	97/68 EG – 200/25 EG	EWG 80/1269	ECE R24	OECD
Messpunkt	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Schwungscheibe	Zapfwelle
Turbolader	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Ladeluftkühler	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Einspritzpumpe	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Wasserpumpe	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Wasserkühler	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Luftfilter	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Auspuff	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Lüfter	Ja (max. Drehzahl)	Nein	Nein	Nein	Ja (Abgasmessung ohne Lüfter)	Ja (min. Drehzahl)	Ja
Andere Zusatzaggregate (Klimaanlage, Getriebe, Kupplung, Hydraulik, etc.)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Berücksichtigung von Luft-, Kraftstofftemperatur und Luftdruck	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Bedingt
Prozentuale Abweichung von der Messung nach DIN in %	–	ca. +15 %	ca. +10 %	ca. +9 %	ca. +10 %	ca. +5 %	ca. –10 %