

Veel schoner, amper zuiniger

Inventarisatie ontwikkeling van trekkermotoren van Stage I tot Stage V

Enorme bedragen zijn er de afgelopen twintig jaar geïnvesteerd om de dieselmotoren aan de steeds strengere emissie-eisen te laten voldoen. Het eind van dat lastige traject is in zicht. Uit onze inventarisatie blijkt echter dat dieselmotoren in al die jaren amper zuiniger zijn geworden. De CO₂-reductie is dus minimaal. Daar mogen de fabrikanten nu aan gaan werken.

Mooi openingsbeeld uit de Agco Power-fabriek in Finland. De voormalige Valtra/Sisu-fabriek heeft in de periode dat de emissie-eisen stapsgewijs zijn gerealiseerd een enorme ontwikkeling doorgemaakt. Onder de Agcovlag is de productie uitgebreid, evenals het motorenaanbod, waaronder nu zelfs een prestigieuze V12. Ook zijn alle motoren doorontwikkeld tot klaar voor de laatste stap, Stage V. Agco Power is net als andere fabrikanten klaar voor

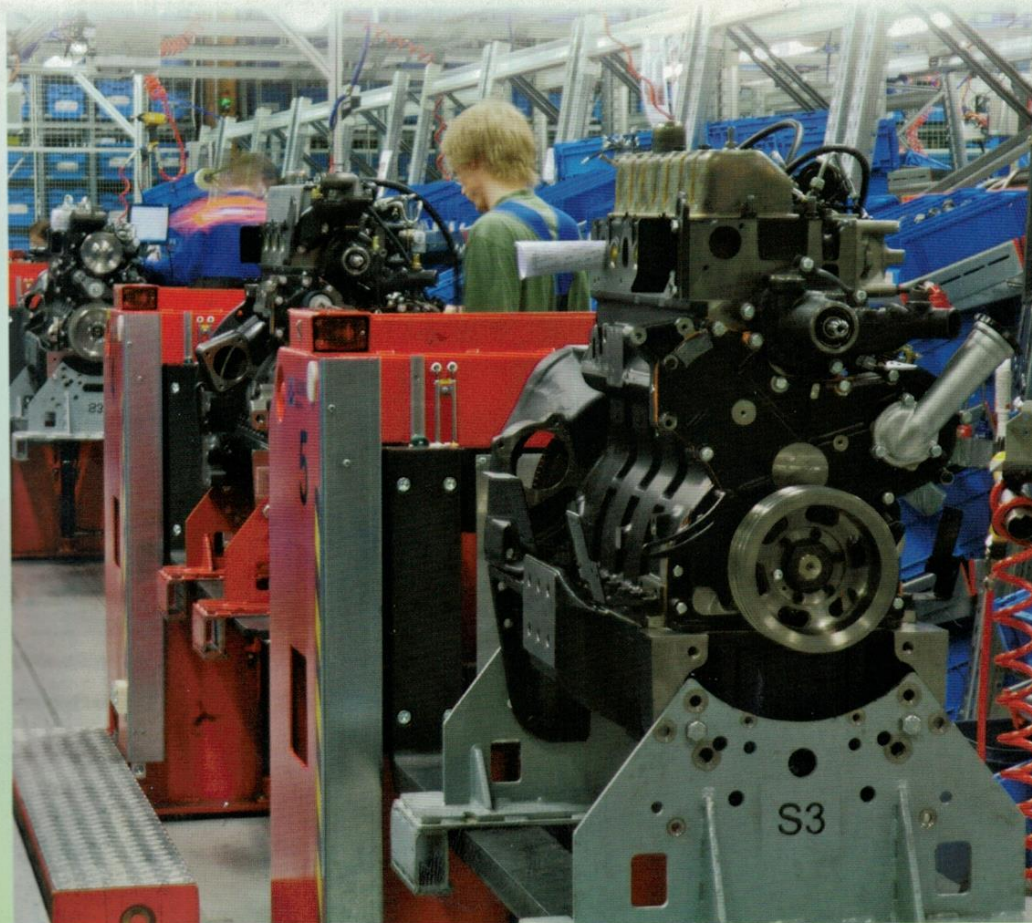
die stap. Bij elke voorgaande stap werd er in persberichten door fabrikanten gerept over zuiniger. Reden voor ons om eens te onderzoeken of dat voor de trekkers klopt. Daarvoor hebben we het specifiek brandstofverbruik van een aantal min of meer vergelijkbare modellen bij elkaar gezocht. We hebben hiervoor gebruik gemaakt van de onafhankelijke testmetingen van het Duitse onderzoeksinstituut DLG (zie kader 'Brandstofverbruik bij de DLG-

testmetingen). Daaruit blijkt dat de motoren in een vergelijkbare vermogensklasse niet zuiniger zijn geworden. De fabrieksgegevens van Deutz-motoren (kader Deutz) onderstrepen deze stelling. Fabrikanten bevestigen dat de motoren bij vollast inderdaad amper zuiniger zijn geworden, maar merken op dat het genuanceerder ligt. Reden om uit te zoeken hoe dat allemaal zit.

Enorme ontwikkeling

Voor de invoering van de emissie-eisen moest een trekkermotor relatief eenvoudig en degelijk zijn. Liefst een dikke zescilinder voor gevoelsmatig meer taaheid. Natuurlijk zuinig, maar daar lag de nadruk toen niet op. Een lang leven was belangrijker. En als hij hard trok een pluim op de uitlaat als teken van pure trekkracht. Hoe dit de afgelopen zestien jaar met de intrede van de Europese emissie-eisen is veranderd, heeft u van dichtbij meegemaakt.

Konden we voor het emissietijdperk nog toe met twee kleppen per cilinder en een mechanische brandstofpomp met circa 900 bar, nu hebben we het standaard over vier kleppen per cilinder, met een uiterst geavanceerde temperatuurregeling van inlaatlucht en motorblok, een hoogwaardig, fijngevoelig commonrail-brandstofsysteem dat met 1600 bar inspuit in combinatie met dubbele of variabele turbo, elektronisch motormanagement om de parameters te bewaken en bij te sturen teneinde die enorm strenge uitlaatgasemissienormen te halen. En dan uitlaatgasregeneratie (EGR) in combinatie met uitlaatgasnabehandeling, roetfilters (DPF) en dieseloxidatiekatalysatoren (DOC) voor het roet en SCR (AdBlue) voor de NO_x. Om nog maar te zwijgen over grotere koelers. Zelfs de carterventilatie wordt teruggevoerd, om maar geen spatje schadelijke gasen uit te stoten. Welke emissie-eisen er stapsgewijs zijn ingevoerd, hebben we op een rijtje gezet in de tabel.



Om de resultaten wat tastbaarder te maken: voor een 100 kW (136 pk) trekker is de uitstoot van roetdeeltjes beperkt van maximaal 79 gram per uur bij Stage II tot maximaal 0,15 gram bij Stage V.

Het dilemma

Het lastige voor de motorenbouwers is dat de roetuitstoot en de NOx-uitstoot tegengesteld reageren op temperatuur. Een heterere motor geeft minder roet, maar levert weer een hogere NOx-uitstoot op. Omgekeerd geeft een koude motor een lagere NOx-uitstoot, maar meer roet. Beide in de motor oplossen blijkt voor de laatste emissiestappen niet haalbaar. Wat je niet in de motor kunt oplossen, moet erna in de uitlaat gebeuren: het roet via een roetfilter of DOC en de NOx via een SCR-unit (AdBlue). Je ziet bij Stage IIIb en Stage IV daarom de grootste wijzigingen (zie ook het kader over Cummins).

Bij de stap naar Stage IIIb zag je de motorenbouwers nog kiezen tussen twee routes. Het roet in de motor oplossen door deze (weer) heter te maken en de hogere NOx in de uitlaat met een SCR-unit aanpakken. Of de NOx laag houden (koude motor) en het roet met een roetfilter/katalysator (DPF/DOC) oplossen. In uitersten gesproken zette FPT van meet af aan vooral in op de hete motor en John Deere op het roetfiltertraject om een SCR-unit (AdBlue) zo lang mogelijk buiten de deur te houden.

Uiteindelijk ontkomen alle fabrikanten bij Stage V niet meer aan gecombineerde systemen. Je ziet daarbij dat we toe gaan naar gecombineerde DOC- (eventueel met DPF) en SCR-systemen (AdBlue). Fabrikanten leggen de accenten wel verschillend, dus zullen we verschillen gaan zien in percentage AdBlue-verbruik, variërend van een enkele procent tot richting de tien procent. In het laatste geval is de motor weer extra heet, waardoor mogelijk ook EGR buiten de deur wordt gehouden.

Toch zuiniger

Natuurlijk schoppen we bij fabrikanten tegen het zere been als we stellen dat

motoren helemaal niet zuiniger zijn geworden. Hun weerwoord is dat de motoren wel efficiënter zijn geworden en zelfs iets zuiniger. Een belangrijke aanpassing aan de motoren is volgens de fabrikanten dat de druk boven de zuiger met ruim een derde (van circa 20 bar naar circa 30 bar) is toegenomen om een betere verbranding te krijgen, nodig voor lagere emissiewaarden. Dat geeft direct ook efficiëntiewinst. Dat samen met vier kleppen per cilinder, een hoogwaardigere brandstofsysteem, een geoptimaliseerde kopvorm en kleptiming en nauwere toleranties. Dat geeft logisch ook hogere drukken en meer wrijving, terwijl ook de aandrijving van nokkenas, brandstofpomp en waterpomp meer energie vraagt. Dat allemaal hebben de fabrikanten naar eigen zeggen weten te compenseren. Meer dan dat zelfs.

Emissie-eisen Europese Unie voor offroad-dieselmotoren

In het overzicht hebben we ons beperkt tot de waarden roet en NOx, omdat die het lastigst zijn voor de dieselmotorenbouwers. Naast NOx en roet zijn er ook parameters voor koolmonoxide en koolwaterstoffen. Verder hebben we ons beperkt tot één vermogensklasse. Voor lichtere en zwaardere klassen zijn de waarden op punten afwijkend. Ook is de bandbreedte van de klasse van 55 kW (75 pk) verruimd. In grote lijnen is de trend hetzelfde.

Klasse 75-130 kW (102-177 pk)

| | Jaar | NOx | Roet |
|------------|------|-----------|-------------|
| Stage I | 1999 | 9,2 g/kWh | 0,7 g/kWh |
| Stage II | 2003 | 6,0 g/kWh | 0,3 g/kWh |
| Stage IIIa | 2007 | 4,0 g/kWh | 0,3 g/kWh |
| Stage IIIb | 2012 | 3,3 g/kWh | 0,025 g/kWh |
| Stage IV | 2014 | 0,4 g/kWh | 0,025 g/kWh |
| Stage V | 2020 | 0,4 g/kWh | 0,015 g/kWh |

Deutz-motoren

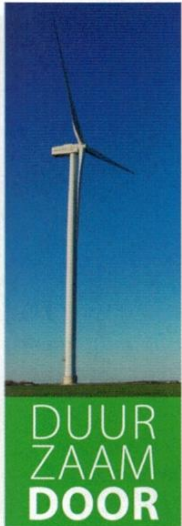
Bij motorfabrikant Deutz vind je op de site de fabrieksopgaven van het dieselverbruik in de motor (niet aftakasgemeten) van de nu leverbare motoren, sommige ook nog in lagere emissieklassen. De 913 en 914 zijn luchtgekoelde motoren. Het laat goed zien hoe het verbruik door de jaren heen niet is verminderd.

| Type | Inhoud | Cilinders | Emissieklasse | Vermogen | Verbruik |
|----------|--------|-----------|---------------|----------|-----------|
| 913 | 6,1 l | 6 | Stage II | 128 kW | 205 g/kWh |
| TCD 914 | 6,5 l | 6 | Stage IIIa | 130 kW | 220 g/kWh |
| BFM 1013 | 7,2 l | 6 | Stage II | 137 kW | 208 g/kWh |
| TCD 2013 | 4,8 l | 4 | Stage IIIa | 120 kW | 209 g/kWh |
| TCD 4,1 | 4,1 l | 4 | Stage IV/V | 120 kW | 208 g/kWh |

Evolutie Cummins B-serie

In deze tabel is goed te zien hoe de Cummins B-familie motoren zich heeft ontwikkeld. Bij elke stap is het maximale vermogen toegenomen en op het eind wordt de meeste efficiëntiewinst geboekt.

| Emissieklasse | Stage I | Stage II | Stage IIIa | Stage IIIb | Stage IV | Stage V |
|-------------------|---------|----------|------------|------------|----------|-------------|
| Inhoud | 5,9 l | 5,9 l | 6,7 l | 6,7 l | 6,7 l | 6,7 l |
| Brandstofsysteem | mech. | mech. | elektr. | elektr. | elektr. | elektr. |
| Technologie | - | - | HPCR | HPCR | HPCR | HPCR |
| | - | - | - | EGR | EGR | - |
| | - | - | - | DPF | DOC/SCR | DPF/SCR |
| | - | - | - | - | - | start/stop |
| Max. vermogen | 175 pk | 210 pk | 275 pk | 300 pk | 300 pk | 325 pk |
| Brandstofverbruik | 0 | 0 | -3% | -5% | -5% | -5 tot -15% |



Keuze voor viercilinders

Een logisch neveneffect van de hogere drukken boven de zuigers is dat het maximum vermogen evenredig toeneemt. Zag je voor de intrede van de emissie-eisen amper viercilinders boven de grens van 92 kW (125 pk), nu gaan de viercilinders (motoren met ongeveer één liter inhoud per cilinder) al naar de 148 kW (200 pk) toe, zoals deze Stage V-ready Deutz TCD 4,1. De motorenfabrikanten geven aan dat de keuze door trekkerfabrikanten voor viercilinders in plaats van zescilinders vooral ook vanuit praktisch en financieel oogpunt zijn gemaakt. Immers, een viercilinder is compacter, gemakkelijker in te bouwen, heeft minder draaiende delen en minder olie en - last but not least - is goedkoper dan een zescilinder. Volgens de fabrikanten doen de prestaties niet onder voor die van een zescilinder. Sterker nog, een viercilinder met dezelfde inhoud per cilinder heeft bij dezelfde deellastbehoefte hogere drukken boven de zuigers en zal in de praktijk dus zuiniger zijn dan een zescilinder die met lagere drukken hetzelfde vermogen afgeeft. Dankzij de moderne elektronica is de motorrespons zo snel dat je weinig merkt van de kleinere motorinhoud.

Fabrikanten stellen daarbij nadrukkelijk dat je je bij verbruiksmetingen niet moet beperken tot de waarden bij maximum vermogen en nominaal toerental onder volle last. Motorbouwers geven in zijn algemeenheid aan dat het brandstofverbruik bij Stage IV- en V-motoren in het optimale traject (bij deellast bij lagere toerentallen) wel degelijk is verminderd ten opzichte van oude generaties motoren. Dat betekent dat wie een dergelijke belasting en toerenbereik (rond de driekwart motortoeren en driekwart belasting) benut vijf tot tien procent brandstof

bespaart. Verder geven fabrikanten aan dat de maximum toerentallen (nominaal) door de jaren heen al iets zijn teruggebracht en dat het maximum vermogen in veel gevallen bij lagere toerentallen (circa 1800 toeren per minuut) is komen te liggen. Wie dat benut, zal zuiniger werken met de laatste generatie motoren en zuiniger zijn dan de gemeten waarden bij vollast.

Fabrikanten aan zet
Je proeft uit de reacties van de motorenfabrikanten dat ze in motorefficiëntie niet veel meer winst kunnen halen.

De winst die er nog te pakken is, doet denken aan wat we in de truckwereld zien: naar lagere toerentallen gaan, het meer en beter benutten van het meeste efficiënte toerental en motorbelasting. Dat zien we ook al bij een aantal zelfrijders. Hier is er voor de trekkerbouwers nog een inhaalslag te maken. Niet zo'n eenvoudige, want het verlagen van het motortoerental vraagt ook om een andere gearing van de transmissie en (met name) de 1000-toerige aftakas (niet iedereen heeft eco voor en achter). Last but not least vraagt het om een flinke verzwaaring van de aandrijflijn om de hogere koppels bij het lagere motortoerental aan te kunnen. Wie dat niet wil, zal een tussenbak tussen motor en de rest van de aandrijflijn moeten bouwen. Daar zit ook niemand op te wachten. Een andere weg zou in de toekomst mogelijk een soort hybrideoplossing kunnen zijn. Denk aan het uitschakelen van cilinders of ander technisch vernuft. Dat zijn de ontwikkelingen die komen als de stap naar Stage V is gezet. Dan kunnen de motorenbouwers samen met de trekkerbouwers de uitdaging aan om na het schoner maken te komen tot efficiënte totaalconcepten om de CO2-uitstoot wel te beperken. En dan hebben we het nog niet gehad over lpg of de brandstofcel.

TEKST: Gert Vreemann
FOTO'S: fabrikanten

Met dank aan Deutz, Cummins, FPT, Agco Power en John Deere voor de achtergrondinformatie.

Pierpaolo Bifalli (FPT):

"Onze motoren zijn wel zuiniger geworden."

Pierpaolo Bifalli, hoofd motorenontwikkeling van FPT-industriemotoren, stelt dat het brandstofverbruik in de periode van Stage I tot Stage V met tien procent is teruggedrongen. Hij doelt dan op het feit dat de motor nu het maximum vermogen levert bij lagere toerentallen en dat door nieuwe technieken en hogere verbrandingsdrukken de motoren bij deellast zuiniger zijn geworden. Naast alle technieken spelen het verhogen van de drukken in de cilinder in combinatie met nieuwe cilinderkoppen met standaard vier kleppen per cilinder, een betere flow, een beter gevormde verbrandingskamer en een geoptimaliseerde zuigervorm een belangrijke rol in een betere brandstofefficiëntie. Hij geeft aan dat FPT klaar is voor het verder verlagen van het motortoerental (zoals bij de trucks), maar dat dit eerst aanpassingen vergt van de afnemers, zoals de trekkerfabrikanten.

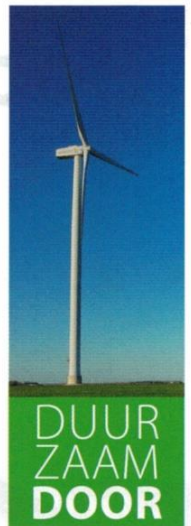


Brandstofverbruikswaarden

(aftaksmetingen, bron DLG)

| Model | Vermogen | Motor | Inhoud | Jaar | Maximaal | Nominaal |
|--------------------------|------------|---------|--------|------|-----------|-----------|
| Case IH | | | | | | |
| Case IH Puma 175 | 132 kW | FPT | 6,7 l | 2015 | 225 g/kWh | 254 g/kWh |
| Case IH Puma 160 | 118 kW | FPT | 6,7 l | 2012 | 230 g/kWh | 253 g/kWh |
| Case IH Puma 180 | 134 kW | FPT | 6,7 l | 2008 | 234 g/kWh | 252 g/kWh |
| Case CVX 1190 | 129 kW | Sisu | 6,6 l | 2004 | 249 g/kWh | 274 g/kWh |
| Case MX 180 | 134 kW | CDC | 8,3 l | 2000 | 259 g/kWh | 282 g/kWh |
| Case IH Magnum 7120 | 134 kW | CDC | 8,3 l | 1995 | 229 g/kWh | 248 g/kWh |
| Deutz-Fahr/Same | | | | | | |
| Deutz-Fahr 6180 P | 123 kW | Deutz | 6,1 l | 2014 | 230 g/kWh | 265 g/kWh |
| Deutz-Fahr M625 | 120 kW | Deutz | 6,1 l | 2010 | 257 g/kWh | 270 g/kWh |
| Deutz-Fahr M640 | 125 kW | Deutz | 6,1 l | 2009 | 238 g/kWh | 250 g/kWh |
| Deutz-Fahr TTV 1160 | 113 kW | Deutz | 7,1 l | 2004 | 249 g/kWh | 268 g/kWh |
| Same Rubin 150 | 110 | Same | 6,0 l | 2000 | 249 g/kWh | 249 g/kWh |
| Deutz-Fahr 6.81 Agrostar | 140 kW | MWM | 7,0 l | 1994 | 250 g/kWh | 250 g/kWh |
| Same Titan 190 | 139 | Same | 6,0 l | 1994 | 238 g/kWh | 247 g/kWh |
| Same Titan 160 | 117 | Same | 6,0 l | 1992 | 243 g/kWh | 243 g/kWh |
| Fendt | | | | | | |
| Fendt 720 | 136 | Deutz | 6,1 l | 2016 | 225 g/kWh | 252 g/kWh |
| Fendt 516 | 110 kW | Deutz | 4,1 l | 2014 | 230 g/kWh | 253 g/kWh |
| Fendt Vario 820 | 140 kW | Deutz | 6,0 l | 2009 | 243 g/kWh | 253 g/kWh |
| Fendt Vario 820 | 140 kW | Deutz | 6,0 l | 2007 | 225 g/kWh | 233 g/kWh |
| Fendt 818 | 132 | Deutz | 6,9 l | 2003 | 222 g/kWh | 237 g/kWh |
| Fendt 716 Vario | 118 kW | Deutz | 5,7 l | 1999 | 218 g/kWh | 232 g/kWh |
| Fendt Favorit 916 | 125 kW | MAN | 6,9 l | 1998 | 220 g/kWh | 238 g/kWh |
| John Deere | | | | | | |
| 6210R | 154 kW | DPS | 6,8 l | 2012 | 241 g/kWh | 252 g/kWh |
| 6930 | 114-133 kW | DPS | 6,8 l | 2010 | 235 g/kWh | 250 g/kWh |
| 7530 | 129 kW | DPS | 6,8 l | 2008 | 236 g/kWh | 252 g/kWh |
| 7810 | 129 kW | DPS | 8,1 l | 2003 | 242 g/kWh | 259 g/kWh |
| 6920 | 110 kW | DPS | 6,8 l | 2002 | 228 g/kWh | 242 g/kWh |
| 7800 | 125 kW | DPS | 7,6 l | 1994 | 238 g/kWh | 251 g/kWh |
| 4755 | 140 kW | DPS | 7,6 l | 1990 | 226 g/kWh | 231 g/kWh |
| Massey Ferguson | | | | | | |
| 7615 Dyna6 | 110 kW | Agco | 6,6 l | 2014 | 235 g/kWh | 250 g/kWh |
| 7615 Dyna4 | 110 kW | Agco | 6,6 l | 2014 | 253 g/kWh | 261 g/kWh |
| 7615 Dyna VT | 110 kW | Agco | 6,6 l | 2014 | 234 g/kWh | 258 g/kWh |
| 7490 Dyna VT | 125 kW | Sisu | 6,6 l | 2004 | 247 g/kWh | 276 g/kWh |
| MF 8240 | 125 | Sisu | 6,6 l | 2000 | 252 g/kWh | 274 g/kWh |
| MF 3670 | 125 kW | Valmet | 6,6 l | 1993 | 231 g/kWh | 242 g/kWh |
| New Holland | | | | | | |
| T6.175 | 103-122 kW | FPT | 6,7 l | 2012 | 235 g/kWh | 265 g/kWh |
| T7.210 | 121-147 kW | FPT | 6,7 l | 2010 | 230 g/kWh | 254 g/kWh |
| T7040 | 134 kW | FPT | 6,7 l | 2008 | 236 g/kWh | 270 g/kWh |
| TVT170 | 126 kW | Sisu | 6,6 l | 2005 | 241 g/kWh | 272 g/kWh |
| TM165 | 119 kW | NH | 7,5 l | 2000 | 262 g/kWh | 274 g/kWh |
| TM160 | 119 kW | NH | 7,5 l | 1996 | 238 g/kWh | 260 g/kWh |
| G210 | 155 kW | NH | 7,5 l | 1995 | 225 g/kWh | 243 g/kWh |
| 8730 | 113 kW | Ford | 6,6 l | 1992 | 276 g/kWh | 276 g/kWh |
| 8830 | 137 kW | Ford | 6,6 l | 1992 | 263 g/kWh | 263 g/kWh |
| Claas/Renault | | | | | | |
| Arion 650 | 129 kW | DPS | 6,8 l | 2016 | 239 g/kWh | 253 g/kWh |
| Arion 650 | 129 kW | DPS | 6,8 l | 2014 | 236 g/kWh | 246 g/kWh |
| Arion 640 | 110 kW | DPS | 6,8 l | 2009 | 242 g/kWh | 248 g/kWh |
| Ares 715 | 115 kW | DPS | 6,8 l | 2002 | 241 g/kWh | 248 g/kWh |
| 180-94 | 125 kW | MWM | 6,2 l | 1991 | 257 g/kWh | 257 g/kWh |
| Valtra | | | | | | |
| T174 | 129 kW | Agco | 7,4 l | 2015 | 237 g/kWh | 257 g/kWh |
| N136 | 120 kW | Agco | 4,9 l | 2013 | 238 g/kWh | 264 g/kWh |
| T182 | 132 kW | Sisu | 7,4 l | 2010 | 235 g/kWh | 262 g/kWh |
| T191 | 136 kW | Sisu | 7,4 l | 2007 | 252 g/kWh | 284 g/kWh |
| T190 | 140 kW | Sisu | 7,4 l | 2004 | 250 g/kWh | 262 g/kWh |
| 8400 | 118 kW | Valmet | 6,6 l | 2001 | 240 g/kWh | 256 g/kWh |
| 8750 | 140 kW | Valmet | 7,4 l | 1997 | 243 g/kWh | 278 g/kWh |
| Overige | | | | | | |
| Schlüter Eurotrac 190 | 140 kW | MAN | 6,9 l | 1991 | 222 g/kWh | 237 g/kWh |
| JCB Fastrac 1150 | 116 kW | Perkins | 6,0 l | 1998 | 258 g/kWh | 269 g/kWh |
| JCB Fastrac 3185 | 139 kW | Cummins | 5,9 l | 1999 | 253 g/kWh | 274 g/kWh |
| McCormick XTX 215 | 142 kW | Cummins | 5,9 l | 2006 | 227 g/kWh | 243 g/kWh |
| McCormick X 7.460 | 118 kW | FPT | 4,5 l | 2015 | 248 g/kWh | 274 g/kWh |

In het overzicht is goed te zien dat ondanks de behoorlijke spreiding er geen sprake is van grote veranderingen in het specifiek brandstofverbruik. Zeker als je bedenkt dat de laatste jaren het AdBlue-verbruik ook moet worden meegenomen. Je ziet ook dat de beste waarden bij de meeste fabrikanten voor het emissie-traject gunstiger waren dan in de jaren van Stage I tot Stage III. Pas nu de hele ontwikkeling aan het eind komt, zie je dat die waarden weer in beeld komen. Dat ondersteunt de gedachte dat motorenfabrikanten in de tussenliggende periode naar een eindoplossing hebben toegewerkt.



Brandstofverbruikswaarden bij DLG-trekkertestmetingen

Om enig inzicht te geven in de brandstofverbruikswaarden door de jaren heen hebben we in de klasse van ruwweg 120 tot 130 kW (163 tot 177 pk) per merk een aantal typen op een rij gezet. De gebruikte waarden zijn afkomstig van metingen door het Duitse testinstituut DLG. Om voldoende meetresultaten te krijgen, moesten we wat spelen met de vermogensklasse. Wat spreiding is niet zo'n probleem, omdat het om het specifiek brandstofverbruik gaat. Er is gekozen voor de middenklasse-trekkers, omdat in de hogere vermogensklassen van 221 kW (300 pk) en meer in het verleden nog geen trekkers werden getest. Naast het specifiek brandstofverbruik bij nominaal toerental (volgas, afregelgebied) is ook het specifieke verbruik bij maximaal vermogen weergegeven. Het verbruik bij maximaal vermogen geeft een beter inzicht in de efficiëntie van de motor, omdat dat dicht bij het optimum ligt, omdat je toch vaker bij dit lagere toerental zult werken en omdat je bij nominaal toerental in het ongunstiger afregelgebied zit. Bedenk wel dat het maximumvermogen door de jaren heen is verschoven naar lagere toerentallen. Bij de oudste trekkers zijn er waarbij het maximumvermogen op het nominaal toerental ligt.