

Gaz d'échappement Phase V

Nouveautés pour les tracteurs

Les moteurs des nouveaux engins mobiles non routiers (en anglais : Nonroad Mobile Machinery NRRM) sont soumis aux valeurs limites de la norme Euro V, tout comme le sont désormais les moteurs d'une puissance inférieure à 19 kW et supérieure à 560 kW.

Depuis janvier 2020, les limites d'émissions polluantes de niveau V s'appliquent à l'ensemble des classes de puissance caractéristiques des tracteurs, en Suisse également. Pour les tracteurs à empattement étroit avec roues ou chenilles, ou pour les tracteurs enjambeurs, il existe d'autres réglementations spécifiques étant donné que la problématique liée aux espaces très restreints pour les systèmes de traitement des gaz d'échappement est ici particulièrement vraie et que les volumes de production sont relativement faibles.

Réduction supplémentaire de la masse des particules

Le niveau V fixe pour la première fois des valeurs limites pour les moteurs avec des puissances inférieures à 19 kW (26 CV) et supérieures à 560 kW (762 CV). Pour ces nouvelles classes de puissance, les valeurs de l'oxyde d'azote (NOX) et de la masse des particules (PM) sont moins strictes que pour les véhicules réglementés jusqu'ici (19 à 560 kW). Au total, les valeurs limites NOX et PM sont quasiment identiques à celles du niveau IIIA des classes voisines.

Pour les classes de puissance déjà réglementées, la limite de la masse des particules est abaissée une nouvelle fois – s'y ajoute également une valeur limite pour le nombre de particules (PN). Il s'agit ici de réduire au maximum l'émission de particules très petites, aux effets particulièrement néfastes pour la santé humaine, en raison de leur infiltration profonde dans les alvéoles pulmonaires. À l'heure actuelle, le respect de la valeur limite PN de 1×10^{12} (nombre/kWh) ne peut être garanti qu'avec des systèmes de filtres à particules fermés.

Moteur technologique et facteur de coûts

Outre les valeurs limites plus strictes, la norme Euro V prévoit d'autres nouveautés. Les fabricants doivent désormais prouver que les valeurs

d'émissions sont respectées en conditions réelles d'utilisation et sur une longue durée. La législation sur les gaz d'échappement est un moteur technologique significatif, qui implique néanmoins d'importants investissements de la part du fabricant. Pour les moteurs, les coûts sont ainsi multipliés par 2.

L'injection par rampe commune, la technologie à quatre soupapes, les turbocompresseurs, le refroidissement d'air de suralimentation, les visco-ventilateurs et la commande de moteur électronique, constituent des piliers techniques pour le moteur, permettant de concilier les différentes exigences en termes de puissance, de consommation et d'émissions. De même, les technologies connues sont le plus souvent utilisées en matière de gaz d'échappement. Les systèmes de traitement des gaz d'échappement que sont le catalyseur diesel à oxydation (DOC), le filtre à particule diesel (DPF) et la réduction catalytique sélective (SCR), avec le catalyseur d'oxydation

d'ammoniac (AOC), sont toujours utilisés sur les moteurs Euro V des tracteurs agricoles à partir de 56 kW. Alors que la diversité des combinaisons était encore assez importante pour le niveau IV, elle a diminué pour les tracteurs standard non soumis à des réglementations spécifiques, à tel point que le choix se limite désormais aux combinaisons AGR/DOC/DPF/SCR et DOC/DPF/SCR, voir illustration 2.

Recyclage des gaz d'échappement : oui ou non ?

DOC, DPF et SCR sont donc utilisés d'office en tant que systèmes de traitement des gaz d'échappement et la question qui se pose maintenant est de savoir si l'AGR demeure nécessaire en tant que technologie interne au moteur, en vue de diminuer la formation de NOX. Le fabricant de moteurs Deutz AG, basé à Cologne, et John Deere par exemple, continuent d'utiliser les quatre technologies antipollution. À l'inverse, FPT Industrial (fabricant de moteurs pour Case New Holland) utilise uniquement

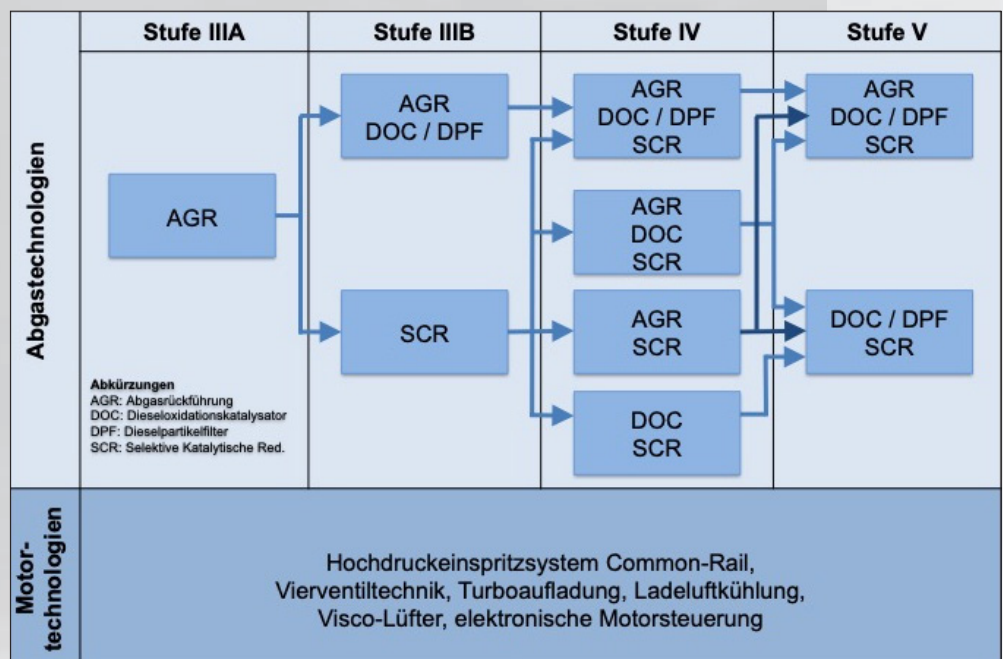


Abbildung 2: Entwicklung der Abgastechnologien.

Illustration 2 : Développement des technologies antipollution

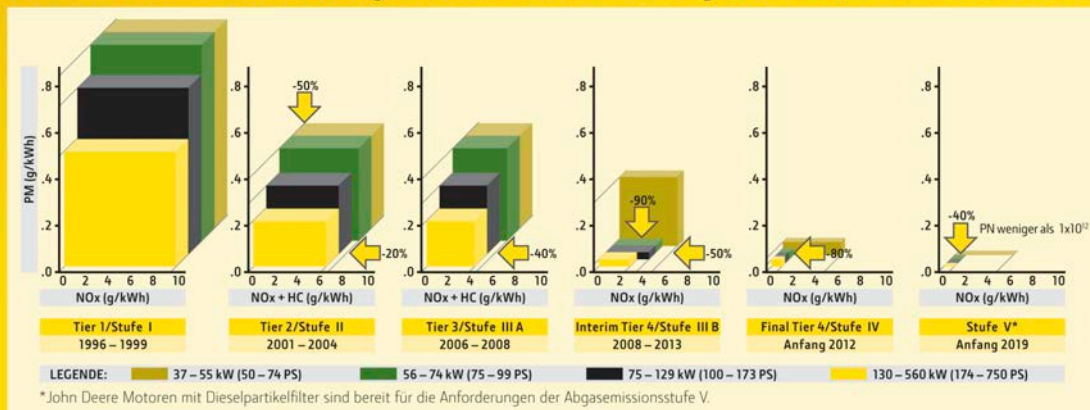
Abgas Stufe V

Neuerungen im Traktorenbereich

Einhaltung der Emissionsvorschriften nach Final Tier 4/Stufe IV/Stufe V

John Deere entwickelt und testet ständig neue Technologien, um die jeweils geltenden Emissionsvorschriften zu erfüllen. Um die durch Final Tier 4/Stufe IV vorgeschriebene weitere 80-prozentige Verringerung des NOx-Anteils zu erzielen, haben wir für unsere bewährte Motorplattform PowerTech™ bei Motoren ab 56 kW (75 PS) ein System mit selektiver katalytischer Reduktion (SCR) eingeführt. John Deere Motoren mit Dieselpartikelfilter-Technologie (DPF) sind bereit für die Anforderungen der Abgasemissionsstufe V. Ferner werden wir unsere Motorenlösungen auch weiterhin so anpassen, dass sie sich für diverse Off-Highway-Anwendungen und Kundenanforderungen eignen.

Emissionsvorschriften für nicht straßengebundene Maschinen und Fahrzeuge (EPA und EU): 37 – 560 kW (50 – 750 PS)



*John Deere Motoren mit Dieselpartikelfilter sind bereit für die Anforderungen der Abgasemissionsstufe V.

NOx – Stickoxide, die in der Atmosphäre mit Kohlenwasserstoffen (HC) reagieren
 HC – Kohlenwasserstoffe, ein Nebenprodukt im Rahmen des Verbrennungsvorgangs
 PM – Feststoffpartikel, Feststoffe als Ergebnis der Verbrennung

Abbildung 1: Entwicklung der Emissionsvorschriften von Stufe 1 bis V im Leistungsbereich von 37 bis 560 kW. (Quelle: John Deere)

Illustration 1: Évolution des prescriptions en matière d'émissions du niveau 1 à V, dans une plage de puissance comprise entre 37 et 560 kW. (Source: John Deere)

Motoren von neuen nicht am Strassenverkehr teilnehmenden Fahrzeugen (englisch: Nonroad Mobile Machinery NRMM) unterliegen den Grenzwerten der Abgasstufe V. Neu gehören auch die Motoren mit weniger als 19 kW und mehr als 560 kW Leistung dazu.

Seit Januar 2020 gelten die Abgasgrenzwerte der Stufe V für alle traktortypischen Leistungsklassen auch in der Schweiz. Für Schmalspurtraktoren mit Rädern oder Raupen sowie für Stelzradtraktoren gibt es weiterhin Sonderregelungen, weil die Problematik mit knappen Platzverhältnissen für Abgasnachbehandlungssysteme hier besonders ausgeprägt ist und die Produktionsstückzahlen relativ klein sind.

Partikelmasse noch mehr reduziert
 Mit der Stufe V gibt es erstmals Grenzwerte für Motoren mit Leistungen von weniger als 19 kW (26 PS) und mehr als 560 kW (762 PS). Die Werte für Stickoxide (NOX) und Parti-

kelmasse (PM) sind bei diesen neuen Leistungsklassen allerdings weniger streng als bei den bisher reglementierten (19 bis 560 kW). Insgesamt bewegen sich die NOX- und PM-Grenzwerte ungefähr auf Stufe-III-A-Niveau der jeweiligen Nachbarsklassen.

Bei den bisher schon regulierten Leistungsklassen wird die Partikelmasse-Limite noch einmal abgesenkt und es kommt neu ein Grenzwert für die Partikelanzahl (PN) dazu. Mit Letzterem soll der Ausstoss an sehr kleinen Partikeln minimiert werden, die der menschlichen Gesundheit wegen ihrer «Lungenbläschengängigkeit» besonders abträglich sind. Der PN-Grenzwert von 1×10^{12} (Anzahl/kWh) lässt sich aus heutiger Sicht nur mit geschlossenen Partikelfiltersystemen einhalten.

Technologie- und Kostentreiber
 Neben verschärften Grenzwerten bringt die Abgasstufe V noch weitere Neuerungen mit sich. So müssen die Hersteller nachweisen, dass die

Emissionen auch im Realbetrieb und über eine längere Zeitdauer eingehalten werden. Die Abgasgesetzgebung ist ein wichtiger Technologietreiber, was allerdings mit grossen Investitionen seitens der Hersteller verbunden ist. Für die Motoren hatte das eine Verteuerung um bis zu Faktor 2 zur Folge.

Common-Rail-Einspritzung, Vierventiltechnik, Turbolader, Ladeluftkühlung, Visco-Lüfter und elektronische Motorsteuerung stellen weiterhin die motortechnischen Grundpfeiler dar, um die Anforderungen an Leistung, Verbrauch und Emissionen unter einen Hut zu bringen. Auch bei den Abgastechnologien wird in den meisten Fällen auf bekannte Technologien zurückgegriffen. Die Abgasnachbehandlungssysteme Dieselloxidationskatalysator (DOC), Dieselpartikelfilter (DPF) und Selektive Katalytische Reduktion (SCR) mitsamt Ammoniak-Sperrkatalysator (AOC) werden bei Abgasstuf-V-Motoren von Landwirtschaftstraktoren ab 56 kW immer eingesetzt. War die Kombinationsvielfalt bei der Stufe IV noch recht gross, dürfte sich diese bei Standardtraktoren, die nicht unter Sonderregelungen fallen, in Zukunft auf die Kombinationen AGR/DOC/ DPF/SCR und DOC/DPF/ SCR reduzieren, siehe Abbildung 2.

Abgasrückführung – ja oder nein?
 DOC, DPF und SCR als Abgasnachbehandlungssysteme sind somit gesetzt und es wird nur noch um die Frage

la technologie SCR et renonce au recyclage des gaz d'échappement. MAN suit le même chemin avec le moteur neuf litres D1556, utilisé par exemple dans le tracteur Fendt Vario 900. Les raisons principales en sont la réduction des capacités de refroidissement et de la complexité technique.

Dans le cas des systèmes de traitement des gaz d'échappement (DOC, DPF, SCR), la tendance est aux unités plus compactes, à l'efficacité accrue. Pour les tracteurs, le regroupement de ces unités en un module unique (comme c'est p. ex. le cas dans les poids-lourds) est difficile en raison du manque de place dans la partie moteur. FPT Industrial est l'un des premiers fabricants à avoir présenté un système de filtre SCR on Filter (SCRoF), dont le filtre à particules possède un revêtement SCR et absorbe ainsi une partie du NOX. Le catalyseur SCR reste ainsi compact et le système complet DOC/DPF/SCR pour la norme Euro V prend à peine plus de place que la combinaison DOC/SCR utilisée jusqu'à lors pour le niveau IV. FPT utilise le SCRoF sur tous les moteurs

NRMM à partir d'une cylindrée de 4,5 l, par exemple sur la série New Holland T5 Auto-Command ou sur le Case-IH Optum.

Conclusion

À partir de 56 kW, les moteurs diesel de tracteurs de niveau V sont aujourd'hui équipés des systèmes de traitement des gaz d'échappement DOC, DPF et SCR. Pour l'EGR, la tendance est à des taux de recyclage réduits, voire inexistantes. Par ailleurs, les constructions deviennent plus compactes. Des systèmes d'entraînement alternatifs, comme p. ex. les moteurs au méthane ou les piles à combustibles, font l'objet de recherches actives. Un simple coup d'œil sur la situation des véhicules utilitaires lourds laisse deviner que d'autres mesures devront être appliquées dans le secteur, à l'échelle européenne. ■

Roger Stirnimann, professeur de technique agricole, Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires de Zollikofen

Réglementation UE en matière d'émissions Niveau V pour les machines mobiles

L'ordonnance (UE) 2016/1628 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL DE L'EUROPE du 14 septembre 2016 concernant les limites d'émission pour les gaz polluants et les particules polluantes et la réception par type pour les moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, doit être appliquée depuis le 1^{er} janvier 2017. Si besoin, elle fera l'objet d'une mise à jour et sera complétée par de nouvelles interprétations de 2016/1628. Les principales nouveautés concernent l'extension du champ d'application à des moteurs présentant une puissance < 19 kW et > 560 kW, ainsi que pour les moteurs à auto-allumage (FI) et à allumage commandé (SI), et l'introduction d'une valeur limite du nombre de particules de $1 \cdot 10^{12}$ #/kWh pour les catégories de moteurs NRE (19 kW–560 kW), IWA/IWP (à partir de 300 kW) et RLR requiert l'utilisation d'un DPF.

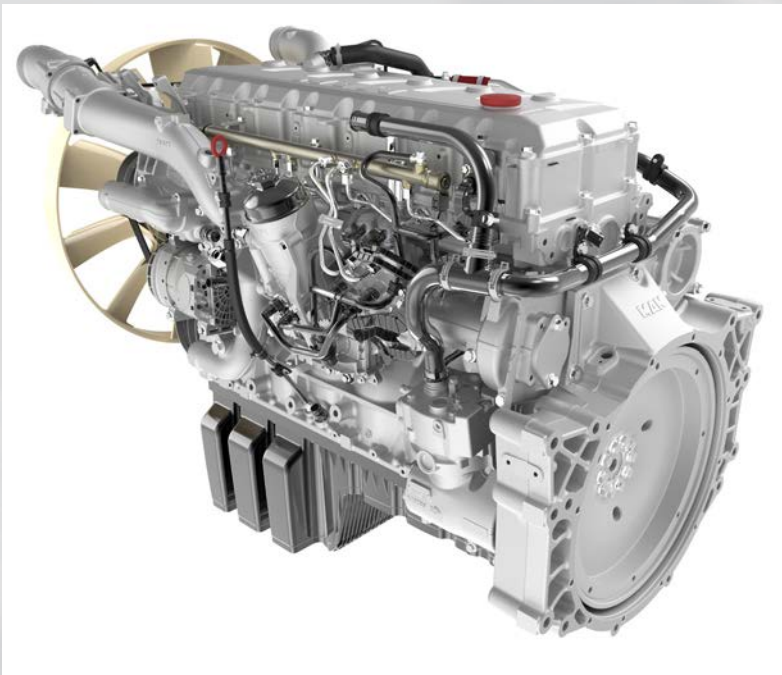


Abbildung 4: Neun-Liter-Motor D1556 von MAN
Illustration 4: Moteur neuf litres D1556 de MAN



Abbildung 5: John Deere setzt alle vier Abgastechnologien ein.
Illustration 5: John Deere utilise les quatre technologies antipollution.

Europäische Abgasgesetzgebung für Nonroad-Fahrzeuge: Grenzwerte und Einführungszeitpunkte* für die Stufen IIIB bis V

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Leistungsklassen	Abgasstufen mit den jeweiligen Grenzwerten für CO, HC, NO_x und PM in g/kWh sowie für PN in #/kWh											
0 kW < P < 8 kW	keine Reglementierung								Stufe V CO 8.0 / HC+NO _x 7.5 / PM 0.4 / PN -			
8 kW ≤ P < 19 kW	keine Reglementierung								Stufe V CO 6.6 / HC+NO _x 7.5 / PM 0.4 / PN -			
19 kW ≤ P < 37 kW	Stufe IIIA CO 5.5 / HC+NO _x 7.5 / PM 0.6								Stufe V CO 5.0 / HC+NO _x 4.7 / PM 0.015 / PN 1x10 ¹²			
37 kW ≤ P < 56 kW	Stufe IIIA		Stufe IIIB CO 5.0 / HC+NO _x 4.7 / PM 0.025						Stufe V CO 5.0 / HC+NO _x 4.7 / PM 0.015 / PN 1x10 ¹²			
56 kW ≤ P < 75 kW		Stufe IIIB CO 5.0 / HC 0.19 NO _x 3.3 / PM 0.025			Stufe IV (ab 01.10.2014) CO 5.0 / HC 0.19 NO _x 0.4 / PM 0.025				Stufe V CO 5.0 / HC 0.19 / NO _x 0.4 PM 0.015 / PN 1x10 ¹²			
75 kW ≤ P < 130 kW		Stufe IIIB** NO _x 2.0 / PM 0.025			Stufe IV CO 3.5 / HC 0.19 / NO _x 0.4 / PM 0.025				Stufe V CO 3.5 / HC 0.19 / NO _x 0.4 / PM 0.015 / PN 1x10 ¹²			
130 kW ≤ P ≤ 560 kW	Stufe IIIB** NO _x 2.0 / PM 0.025		Stufe IV CO 3.5 / HC 0.19 / NO _x 0.4 / PM 0.025						Stufe V CO 3.5 / HC 0.19 / NO _x 0.4 / PM 0.015 / PN 1x10 ¹²			
P > 560 kW	keine Reglementierung								Stufe V CO 3.5 / HC 0.19 / NO _x 3.5 / PM 0.045 / PN -			

* Einführungszeitpunkte gelten für Inverkehrbringung ** Grenzwerte CO und HC: 3.5 / 0.19
CO: Kohlenmonoxid / HC: Kohlenwasserstoff / NO_x: Stickoxide / PM: Partikelmasse / PN: Partikelanzahl

Abbildung 3: Entwicklung der Abgastechnologien
Illustration 3: Développement des technologies antipollution.

gehen, ob es die AGR als innermotorische Technologie zur Verminderung der NOX-Bildung noch braucht oder nicht. Der Kölner Motorenhersteller Deutz AG und John Deere beispielsweise werden weiterhin alle vier Abgastechnologien einsetzen. FPT Industrial (Motorenhersteller für Case New Holland) hingegen bleibt auf dem SCRonly-Pfad und verzichtet auf die Abgasrückführung. MAN begeht mit dem Neun-Liter-Motor D1556 ebenfalls diesen Pfad, im Einsatz zum Beispiel im Fendt Vario 900. Hauptgründe hierfür sind die Verringerung der Kühlkapazitäten sowie die Reduktion der technischen Komplexität.

Bei den Abgasnachbehandlungssystemen (DOC, DPF, SCR) gibt es insgesamt einen Trend zu effizienteren und kompakteren Einheiten. Bei Traktoren ist es aufgrund der knappen Platzverhältnisse im Motorbereich allerdings schwierig, diese in einem einzigen Modul zusammenzufassen, wie dies beispielsweise bei LKW möglich ist. FPT Industrial hat als einer der ersten Hersteller ein SCR on Filter-System (SCRoF) vorgestellt, bei dem der Partikelfilter eine SCR-Beschichtung aufweist und somit einen Teil der NOX-Reduktion übernimmt. Der eigentliche SCR-Katalysator kann dadurch

sehr kompakt gehalten werden und das Gesamtsystem DOC/DPF/SCR für die Abgasstufe V braucht nur wenig mehr Platz als die bisherige DOC/SCR-Kombination für die Stufe IV. FPT setzt SCRoF bei allen NRMM-Motoren ab 4,5 l Hubraum ein, zum Beispiel in der Baureihe New Holland T5 Auto-Command oder im Case-IH Optum.

Fazit
Traktordieselmotoren der Stufe V werden heute ab 56 kW mit den Abgasnachbehandlungssystemen DOC, DPF und SCR ausgestattet. Bei der AGR ist ein Trend zu reduzierten Rückfuhraten oder sogar komplettem Verzicht zu erkennen. Zudem werden die Konstruktionen kompakter. Alternative Antriebssysteme, wie z.B. Methanmotoren oder Brennstoffzellen, stehen im Fokus von Untersuchungen. Ein Blick auf die Situation der schweren Nutzfahrzeuge lässt erahnen, dass europaweit laufend weitere Auflagen auf die Branche zukommen. ■

Roger Stirnimann, Dozent für Agrartechnik, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften Zollikofen

EU Stufe V Emissionsverordnung für mobile Maschinen

Die Verordnung (EU) 2016/1628 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 14. September 2016 über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, ist ab dem 1. Januar 2017 anzuwenden. Sie wird bei Bedarf aktualisiert und um neue Interpretationen zur 2016/1628 ergänzt. Die wichtigsten Neuerungen betreffen die Ausweitung des Anwendungsbereichs auf Motoren mit einer Leistung < 19 kW sowie > 560 kW, sowohl für Fremdzündungs- (SI) als auch Selbstzündungsmotoren (CI) sowie die Einführung eines Partikelanzahlgrenzwerts von 1*10¹² #/kWh für Motorenkategorien NRE (19 kW–560 kW), IWA/IWP (ab 300 kW) und RLR, erfordert den Einsatz eines DPF.