

Für Mensch & Umwelt



## Online-Workshop

**"Stand der Emissionsminderungstechnik bei kleinen  
Motoranlagen"**

**Emissionsgesetzgebung für Lastkraftwagen  
und mobile Maschinen und Geräte**

**Helge Jahn**

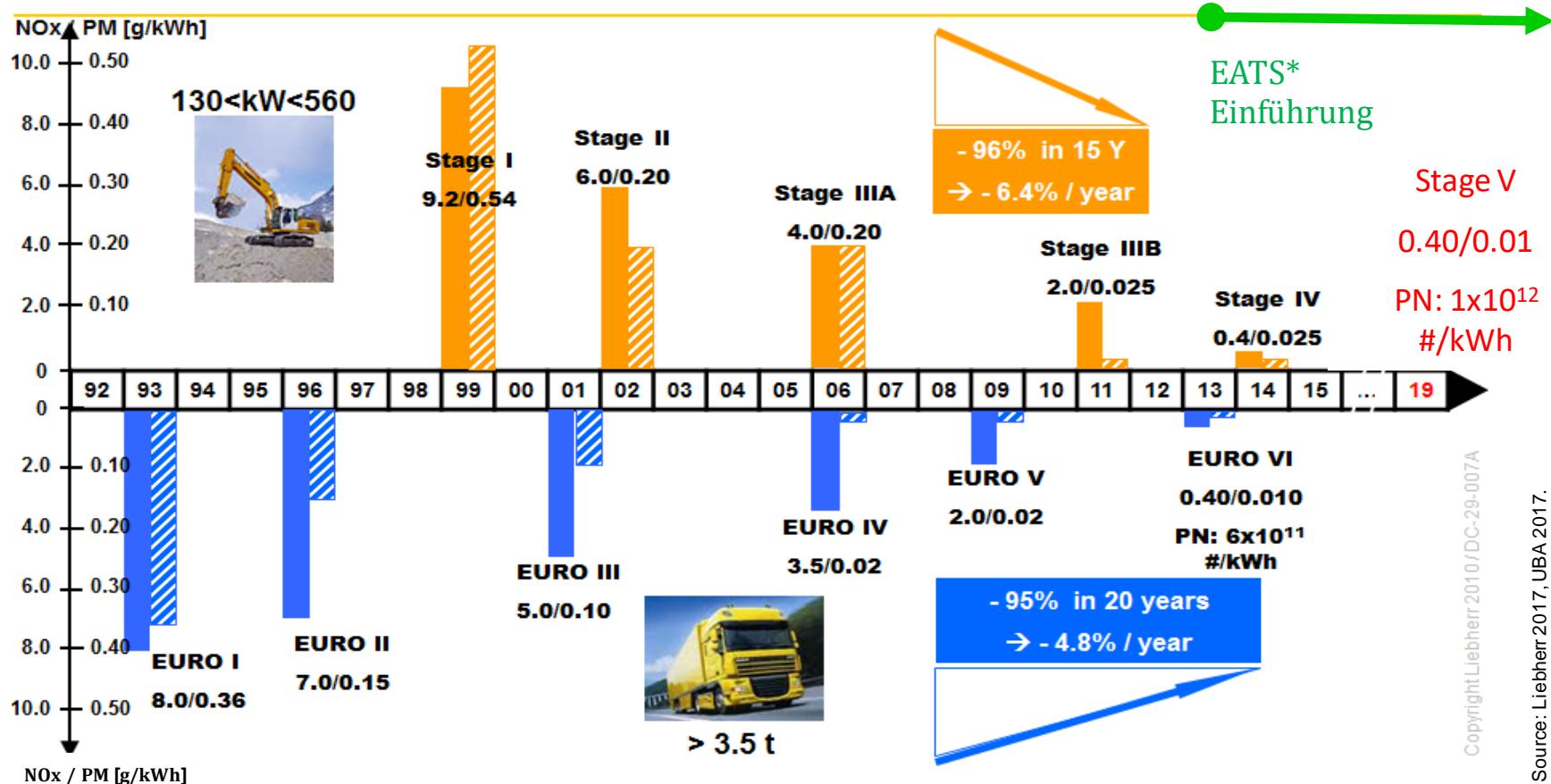
**Fachgebiet I 2.2 - Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr**

19. Oktober 2021

# Inhalt

1. Chronologie der Abgasgesetzgebung
2. Emissionsgesetzgebung für mobile Maschinen und Geräte (NRMM) und für Lastkraftwagen (LKW)
3. Umrechnung der aktuellen Anforderungen an mobile Maschinen und Geräte und Lkw in mg/m<sup>3</sup> bei 5 % O<sub>2</sub>
4. Betriebliche Überwachung (ISM), Marktüberwachung und Nachrüstung bei NRMM
5. Schlussfolgerungen/Fazit

# Chronologie der Abgasgesetzgebung



Copyright Liebherr 2010 / DC-29-007A

Source: Liebherr 2017, UBA 2017.

\*EATS=Exhaust Aftertreatment System: Ab Euro V bzw. Stage V in der Regel mit Partikelfilter und SCR-Katalysator

# Euro VI Emissionsgesetzgebung für LKW

Richtlinien (EC) No. 595/2009 und (EU) No. 133/2014:

- NOx Kontrollsysteme und Grenzwert für Ammoniak (NH<sub>3</sub>) Konzentration: 10 ppm
- In-Service Conformity (ISC) basiert auf tragbaren Emissionsmesssystemen (PEMS)
- Dauerhaltbarkeitsperiode: 700.000 km / 7 Jahre

Transient Testing WHTC							
Stage	Date	CO	NMHC	CH <sub>4</sub> <sup>a</sup>	NOx	PM <sup>b</sup>	PN <sup>c</sup>
		g/kWh					1/kWh
Euro VI	2013.01	4.0	0.16 <sup>d</sup>	0.5	0.46	0.01	$6.0 \times 10^{11}$

a. nur für Gas-Motoren (Euro III-V: NG only; Euro VI: NG + LPG)  
b. nicht anwendbar für Gasmotoren der Euro III-IV stages  
c. für Dieselmotoren  
d. THC für Dieselmotoren

Steady-State Testing WHSC							
Stage	Date	CO	HC	NOx	PM	PN	
		g/kWh					1/kWh
Euro VI	2013.01	1.5	0.13	0.40	0.01	$8.0 \times 10^{11}$	

## UNECE – GTR's:

- No. 4: Test Prozeduren and Zyklen
- No. 5: WWH-OBD
- No. 10: Off Cycle Emissions

# Stage V Abgasgesetzgebung (EU) 2016/1628 – NRMM

Grenzwerte der Stage V im Vergleich mit den alten EU stages (IIIA - IV) in g/kWh

	EU aktuell	CO		Nox + HC				PM		PN	
CI Engines (Compression Ignited)	0 - 8 kW	-	-	8,0	-	-	7,5	-	0,4/0,6	-	→
	8 - 19 kW	-	-	6,6	-	-	7,5	-	0,4	-	→
	19 - 37 kW	IIIA	5,5	5,0	7,5	7,5	4,7	0,6	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	37 - 56 kW	IIIB	5,0	5,0	4,7	4,7	4,7	0,025	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	56 – 130 kW	IV	5,0	5,0	0,4	0,19	0,4	0,025	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	130 – 560 kW	IV	3,5	3,5	0,4	0,19	0,4	0,025	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	P > 560 kW	-	-	3,5	-	-	3,5	0,19	-	0,045	-
CI+SI	0 - 8 kW	TIER 4	8,0	8,0	7,5	7,5	7,5	0,4/0,6	0,4/0,6	-	→
	8 - 19 kW	TIER 4	6,6	6,6	7,5	7,5	7,5	0,4	0,4	-	→
	19 - 37 kW	TIER 4	5,5	5,0	4,7	4,7	4,7	0,03	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	37 - 56 kW	TIER 4	5,0	5,0	4,7	4,7	4,7	0,03	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	56 – 130 kW	TIER 4	5,0	5,0	0,4	0,19	0,4	0,02	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	130 – 560 kW	TIER 4	3,5	3,5	0,4	0,19	0,4	0,02	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	P > 560 kW	TIER 4	3,5	3,5	3,5	0,19	3,5	0,19	0,04	0,045	-

Grenzwerte der Stage V im Vergleich mit US EPA Tier 4 in g/kWh

	US EPA	CO		Nox + HC				PM		PN	
CI Engines (Compression Ignited)	0 - 8 kW	TIER 4	8,0	8,0	7,5	7,5	7,5	0,4/0,6	0,4/0,6	-	→
	8 - 19 kW	TIER 4	6,6	6,6	7,5	7,5	7,5	0,4	0,4	-	→
	19 - 37 kW	TIER 4	5,5	5,0	4,7	4,7	4,7	0,03	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	37 - 56 kW	TIER 4	5,0	5,0	4,7	4,7	4,7	0,03	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	56 – 130 kW	TIER 4	5,0	5,0	0,4	0,19	0,4	0,02	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	130 – 560 kW	TIER 4	3,5	3,5	0,4	0,19	0,4	0,02	0,015	-	1x10 <sup>12</sup>
	P > 560 kW	TIER 4	3,5	3,5	3,5	0,19	3,5	0,19	0,04	0,045	-

Source: VDMA 2016, UBA 2017.

# Umrechnung der aktuellen Anforderungen an mobile Maschinen und Geräte und Lkw in mg/m<sup>3</sup> bei 5 % O<sub>2</sub>

- Anforderungen an mobile Maschinen und Geräte beziehen sich auf den Output an mechanischer Energie.
- Voraussetzungen:
  - Dieselkraftstoff hat (bezogen auf 5 % O<sub>2</sub>) ein spezifisches Rauchgasvolumen von 314 m<sup>3</sup>/GJ. Die Energie in Gigajoule bezieht sich auf den Energieinhalt des Brennstoffs (Input).
  - Der mechanische Wirkungsgrad liegt bei 0,4.
- Umrechnung der Konzentration im Abgas auf m<sup>3</sup>/kWh Input: => Faktor 1,13
- Dieser Faktor bezieht sich immer noch auf den Input. Zur Umrechnung auf den Output an mechanischer Leistung dividieren wir durch den mechanischen Wirkungsgrad.
- => Umrechnungsfaktor 2,8
- Umrechnungsfaktor bei Wirkungsgrad 0,5: 2,26

# Umrechnung der aktuellen Anforderungen an mobile Maschinen und Geräte und Lkw in mg/m<sup>3</sup> bei 5 % O<sub>2</sub>: Beispiele

- Beispiel: NOx-Grenzwert 0,4 g/kWh, 40 % mechanischer Wirkungsgrad
  - $0,4 \text{ g/kWh} : 2,8 \text{ m}^3/\text{kWh} = 140 \text{ mg/m}^3$  (SCR erforderlich)
- Beispiel: Staub-Grenzwert 0,015 g/kWh = 15 mg/kWh, 40 % mechanischer Wirkungsgrad
  - $15 \text{ mg/kWh} : 2,8 \text{ m}^3/\text{kWh} = 5,4 \text{ mg/m}^3$  (Rußfilter erforderlich)

# Emissionsgesetzgebung für NRMM

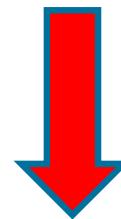
Emissionsstufe IV



Messungen am  
Motorenprüfstand

- NRSC (stationärer Zyklus)
- NRTC (transienter Zyklus)

Emissionsstufe V



Wie Stufe IV + Prüfung des  
Emissionsverhaltens während  
des gesamten tatsächlichen  
Arbeitsbetriebs laut Verordnung  
2017/655, Anlage 8:

- Nr. 9 Übereinstimmungsfaktoren unter Berücksichtigung von Working Events und Non Working Events
- Nr. 10 Übereinstimmungsfaktoren ohne Einschränkungen sind zu berichten (Roh Daten!)

# Europäische Union: Pilotprogramme zur betrieblichen Überwachung (In-Service Monitoring = ISM)

(EU) 2016/1628 (Artikel 19): Überwachungsprogramme für jede Motorklasse

- Für die Typgenehmigung werden die Emissionen über die gesamte Emissions-Dauerhaltbarkeitsperiode (EDP) gemessen; mit Emissionsprüfungen zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Dauerhaltbarkeitsperiode, indem die Motoren auf dem Prüfstand oder im Feld gealtert werden.
- Für jede der Motorkategorien muss ein standardisierter Alterungszyklus festgelegt werden.
- Hierzu ist eine Gleichwertigkeit zwischen der Alterung auf dem Prüfstand und im Feld erforderlich.



Leistungsbereich (kW)	Unterklasse	EDP (Stunden)
$0 < P < 8$	NRE-v-1	3 000
$8 \leq P < 19$	NRE-v-2	
$19 \leq P < 37$	NRE-v-3	5 000
$37 \leq P < 56$	NRE-v-4	
$56 \leq P < 130$	NRE-v-5	8 000
$130 \leq P \leq 560$	NRE-v-6	
$P > 560$	NRE-v-7	

# Marktüberwachung und Nachrüstung bei mobilen Maschinen und Geräten

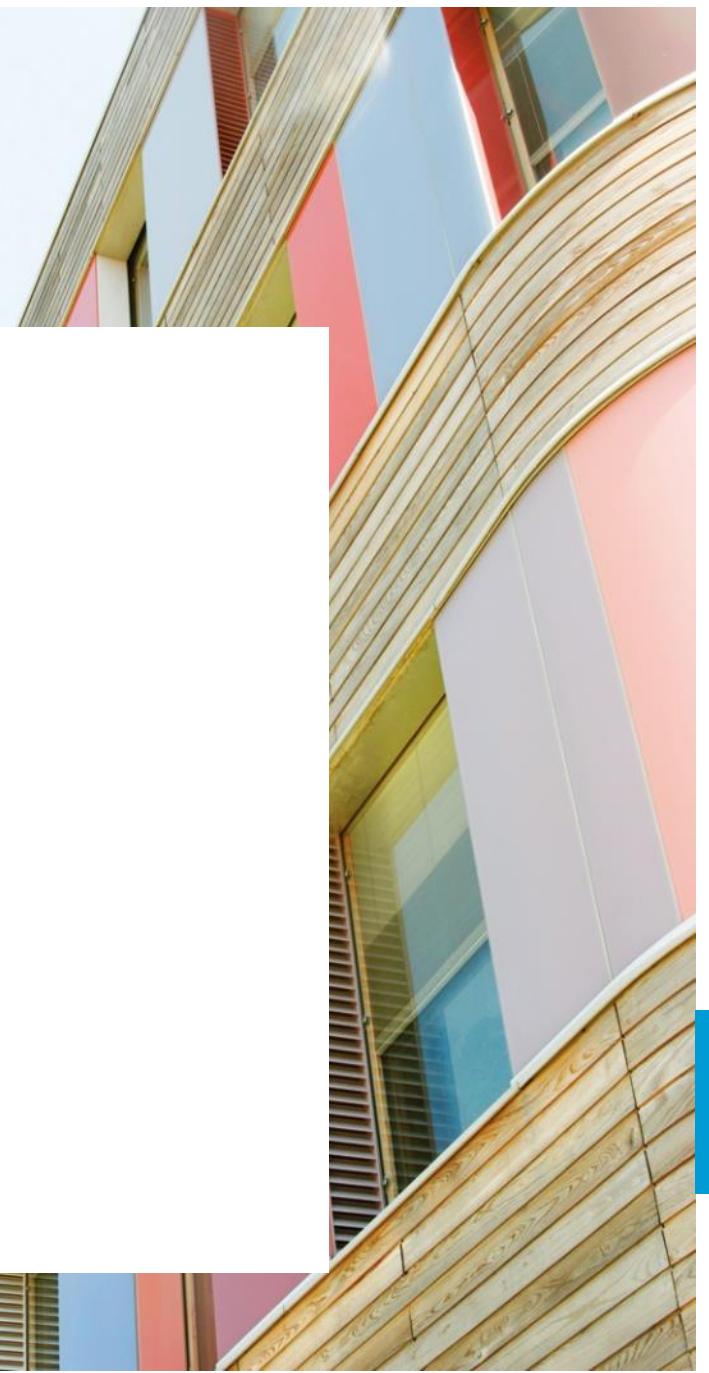
- Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen von mobilen Maschinen im Rahmen der kommunalen Luftreinhalteplanung existieren bisher nicht.
- In die Schweiz, in Österreich, in Berlin und in 5 Städten Baden-Württembergs werden bei öffentlichen Ausschreibungen Etiketten verlangt.
- Für Nachrüstfilter stehen zahlreiche Zertifizierungen zur Verfügung: BAFU, VERT, FAD, UNECE Nr. 132, TRGS 554.
- Für den Nachrüstmarkt werden einfache Lösungen mit nur einem Zulassungsverfahren und Etikett empfohlen.
- Es gibt nur einen kleinen Markt für Nachrüstgeräte zur Emissionskontrolle von NO<sub>x</sub>
- Die UNECE-Verordnung 96 = Verordnung (EU) 2016/1628 ist ein wichtiger Schritt für die internationale Harmonisierung.

## Schlussfolgerungen/Fazit: Übertragbarkeit auf stationäre Motoren

- Ab 56 kW, das entspricht etwa 140 kW Feuerungswärmeleistung, ist bei NRMM der SCR-KAT erforderlich – Grenzwert: 140 mg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>
- Ab 19 kW, das entspricht etwa 47,5 kW Feuerungswärmeleistung, ist der Einsatz eines Partikelfilters notwendig – Grenzwert: 5,4 mg/m<sup>3</sup> PM
- Prüfung des Emissionsverhaltens während des gesamten tatsächlichen Arbeitsbetriebs im Rahmen der Dauerhaltbarkeitsperiode (EDP) des Herstellers
- Nachrüstung v.a. von Partikelfiltern ist angemessen
- Vorschlag: Regelmäßige Überwachung durch den Schornsteinfeger mit PEMS oder gleichwertigem „technischen Update“ für Kleinfeuerungsanlagen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Umwelt  
Bundesamt



# Stage V für NRMM: Prüfzyklen: C1 und NRTC

Gleiche Grenzwerte für Motoren mit variabler und konstanter Drehzahl

Table A.1 — Table of cycle C1 test modes and weighting factors

Mode number	1	2	3	4	5	6	7	8
Speed <sup>a</sup>	100%				Intermediate			
Torque <sup>b</sup> (%)	100	75	50	10	100	75	50	0
Weighting factor	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15

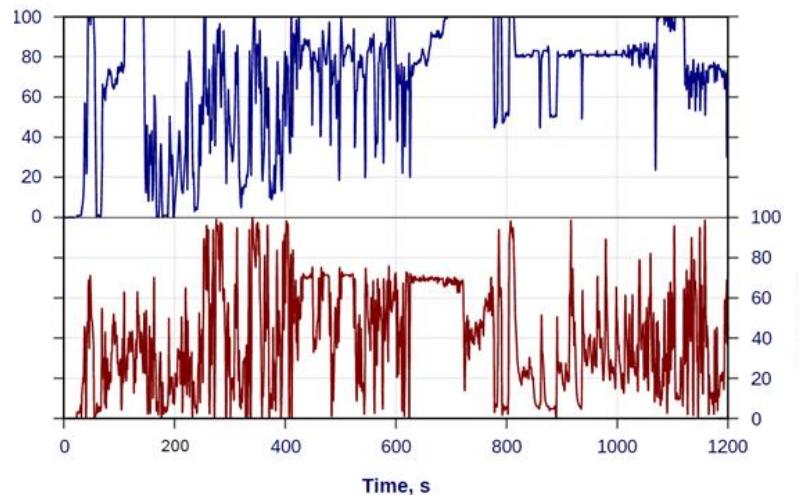
<sup>a</sup> See 7.2, 7.4 and 7.7 for determination of required test speeds.  
<sup>b</sup> The % torque is relative to the maximum torque at the commanded engine speed.

Table B.1 — Table of RMC-C1 test modes

RMC Mode Number	Time in mode (s)	Engine speed <sup>ac</sup>	Torque (%) <sup>bc</sup>
1a Steady-state	126	Idle	0
1b Transition	20	Linear transition	Linear transition
2a Steady-state	159	Intermediate	100
2b Transition	20	Intermediate	Linear transition
3a Steady-state	160	Intermediate	50
3b Transition	20	Intermediate	Linear transition
4a Steady-state	162	Intermediate	75
4b Transition	20	Linear transition	Linear transition
5a Steady-state	246	100%	100
5b Transition	20	100%	Linear transition
6a Steady-state	164	100%	10
6b Transition	20	100%	Linear transition
7a Steady-state	248	100%	75
7b Transition	20	100%	Linear transition
8a Steady-state	247	100%	50
8b Transition	20	Linear transition	Linear transition
9 Steady-state	128	Idle	0

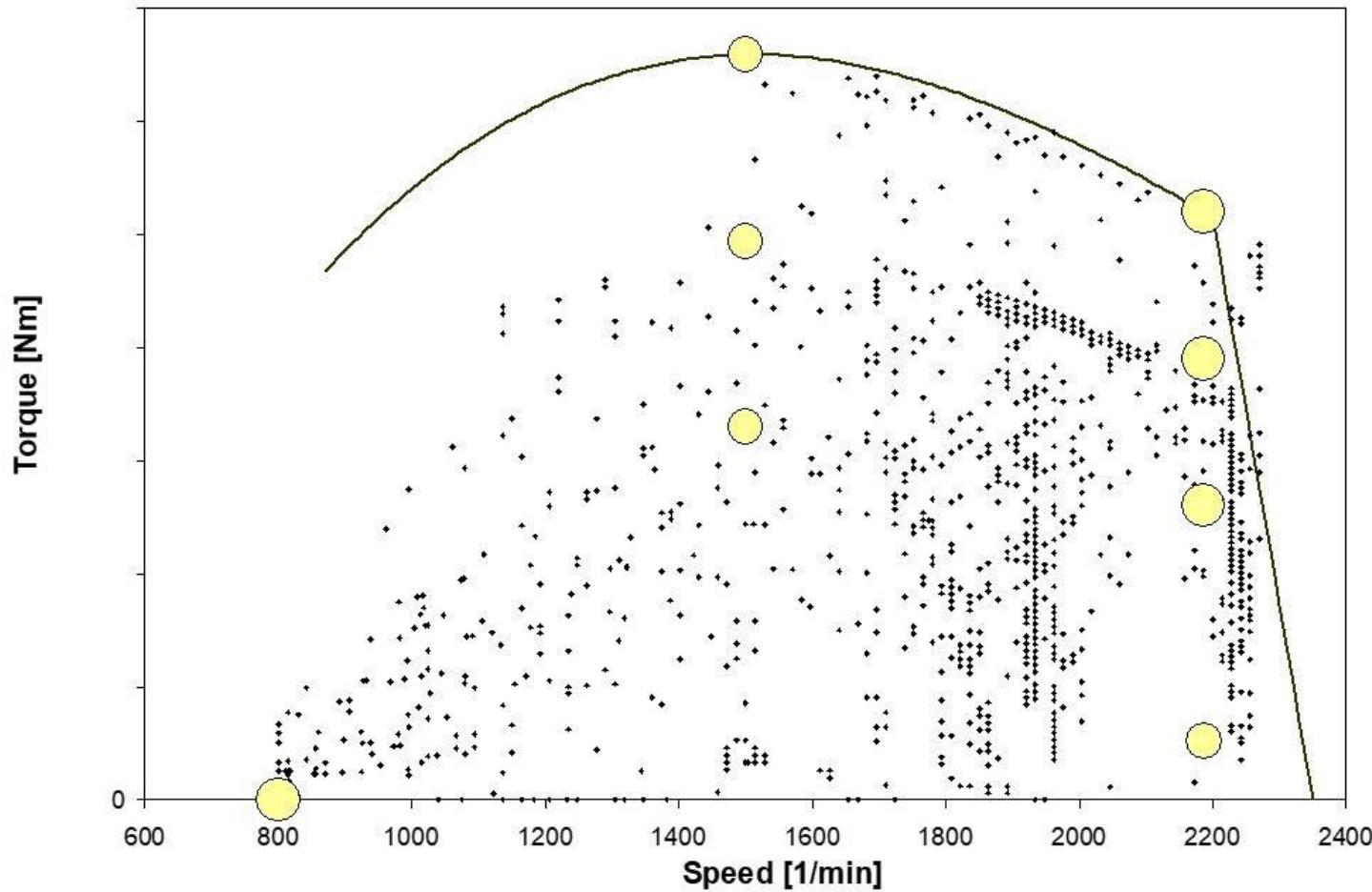
<sup>a</sup> See 7.2, 7.4 and 7.7 for determination of required test speeds.  
<sup>b</sup> % torque is relative to the maximum torque at the commanded engine speed.  
<sup>c</sup> Advance from one mode to the next within a 20-second transition phase. During the transition phase, command a linear progression from the torque setting of the current mode to the torque setting of the next mode, and simultaneously command a similar linear progression for engine speed if there is a change in speed setting.

Kontrollbereich für Motoren im Non-Road  
Steady Cycle NRSC C1 gemäß ISO 8178-4



Normierte Geschwindigkeit  
und Drehmoment im  
Nonroad Transient Cycle  
**NRTC**

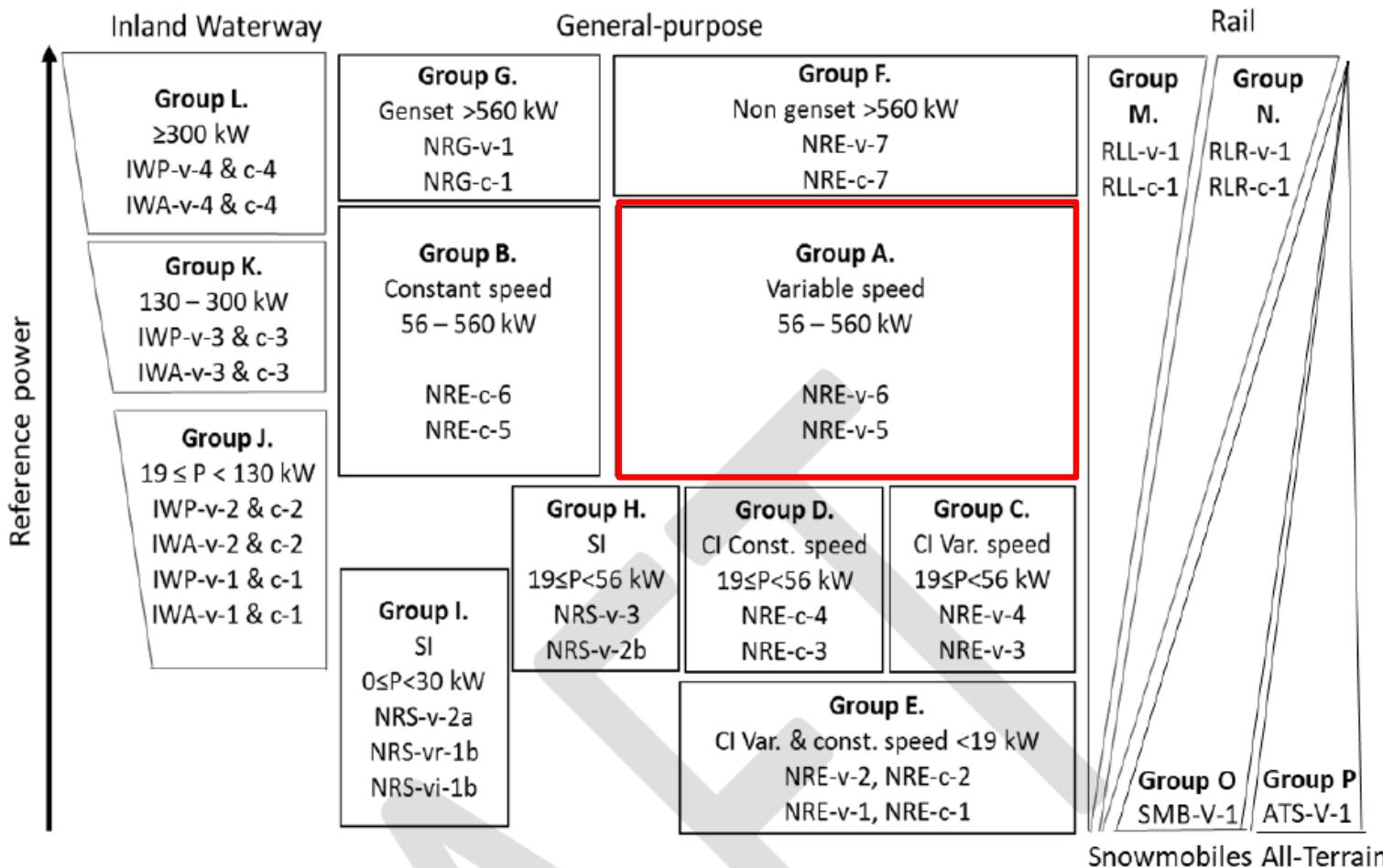
## Stage V für NRMM: Prüfzyklen im Kennfeld



Source: VDMA, 2021.

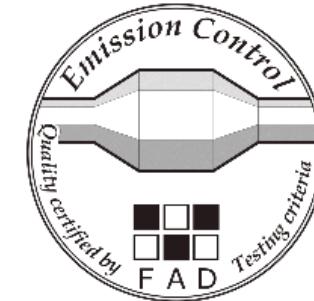
# In-Service Monitoring - Anwendung auf alle Motorenkategorien

## Illustration of ISM Groups



Source: VDMA, 2021.

# Zertifikate für NRMM - PM



## NATIONAL

- Anlage XXVII StVZO (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung)
- FAD-Label (Förderkreis Abgasnachbehandlungstechnologien für Dieselmotoren)
- Technische Regeln für Gefahrenstoffe TRGS 554 - Technische Richtlinie für den Umgang mit Gefahrenstoffen TRGS - DPF für dieselbetriebene Baumaschinen, die im Innenbereich eingesetzt werden können

## SCHWEIZ

- VERT Label (*Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau*)
- BAFU-Filterliste (Bundesamt für Umwelt)



## INTERNATIONAL

- UNECE Nr. 132 Stage 01 Klasse I or II
- Nachrüstbare Emissionsminderungseinrichtungen gemäß REC-Richtlinie

# Nachweise für die Einhaltung von Umweltstandards: Berlin

- Bei nachgerüsteten Maschinen muss die Bescheinigung über den Einbau eines Partikelfiltersystems mit dem Nachweis vorliegen, dass es sich um einen zertifizierten Filter nach UNECE Nr. 132, Stufe 01, FAD, VERT oder Anhang XXVII StVZO handelt.



Senatsverwaltung  
für Stadtentwicklung  
und Umwelt

**be** Berlin

Blauer Engel:  
Geräuscharme  
Baumaschinen

# Nachweis der Einhaltung von Umweltstandards: Baden-Württemberg

- Ab 1.1.2017 Luftqualitätsverordnung-Bau: "Umweltzonen für Baumaschinen" in Ludwigsburg, Markgröningen, Reutlingen, Stuttgart und Tübingen
- Verbote von stark emittierenden Maschinen.
- UNECE Nr. 132 / Kennzeichnungen aus FAD, VERT, TRGS 554, die Anlage XXVII der StVZO und Schweizer BAFU-Liste.



Source: Ministry of Transport Baden-Württemberg 2016. picscity Zurich.