

Requirements for a portable particle counter for construction machinery

1 Hintergrund und rechtliche Grundlagen

Seit 15 Jahren werden die Rauchemissionen von Strassenfahrzeugen mit Selbstzündungsmotoren periodisch mit Trübungsmessgeräten (Opazimeter) überprüft. Die Anforderungen sowie die Verfahren zur Erhaltung der Messbeständigkeit von Trübungsmessgeräten sind im Abschnitt 3 der Verordnung des EJPD vom 19. März 2006 über Abgasmessgeräte für Verbrennungsmotoren geregelt (VAMV, [SR 941.242](#)). Trübungsmessgeräte für amtliche Messungen unterliegen einer Zulassungsprüfung nach nationalem Recht und müssen jährlich geeicht werden.

Seit 1. Januar 2009 gelten in der Schweiz einheitliche Vorschriften für die Emissionen von Baumaschinen und Geräten auf Baustellen (Luftreinhalte-Verordnung LRV, [SR 814.318.124.1](#)).

Baumaschinen müssen, zusätzlich zu den Vorschriften nach der Richtlinie 97/68/EG, einen Partikel-Anzahl-Grenzwert von 1×10^{12} 1/kWh einhalten (Anhang 4 Ziffer 31 LRV). Nach dem heutigen Stand der Technik kann dieser Grenzwert nur mit einem wirksamen, d.h. geschlossenen Partikelfiltersystem erreicht werden.

Die LRV schreibt vor, dass die Rauchemissionen der Baumaschinen periodisch mit Trübungsmessgeräten kontrolliert werden (Anhang 4 Ziffer 32 LRV). Die Trübungsmessung genügt jedoch nicht mehr, um die Emissionen von modernen Motoren oder Motoren mit wirksamen Partikelfiltersystemen zu messen. Die Emissionen sind dann derart gering, dass man sich unterhalb der Nachweisgrenze von Opazimetern befindet und diese Geräte können einen Defekt des Partikelfilters nicht immer nachweisen, was Kontrollmessungen mit Trübungsmessgeräten wenig sinnvoll macht. Das bedeutet, dass neue empfindlichere Messinstrumente benötigt werden.

2 Anforderungen an Partikelmessmittel in anderen Vorschriften

2.1 ECE R83

Die internationalen Vorschriften für die Zulassung von Personenmotorwagen beinhalten auch Partikelanzahlkonzentrationsmessungen. Die für Prüfstandmessungen im Detail festgelegten Messsysteme enthalten einen Verdüner, einen Abscheider für flüchtige Stoffe und einen Kondensationskernzähler (PNC, auf Basis von Butanol). Diese Systeme sind aus drei Gründen nicht für einen Einsatz im Feld geeignet: Empfindlichkeit gegenüber Transporten, Grösse/Gewicht sowie Kosten.

Dennoch geben die Vorschriften wichtige Impulse für das Feldmessgerät:

- Empfindlichkeitskurve bei kleinsten Partikeln (z.B. 50 % Effizienz bei 23 nm),
- Entfernen von flüchtigen Bestandteilen (sog. Nukleationspartikel),
- Grössen- und Konzentrationsbereich,
- Ansprechverhalten.

2.2 SNR 277205

Die Schweizer Regel SNR 277205 beschreibt die Prüfung von Partikelfiltern. Darin werden auch die Messgrösse Partikelanzahlkonzentration sowie die zu verwendenden Partikelmessgeräte definiert. Diese Anforderungen sind zu wenig detailliert und können nicht direkt auf ein Feldmessgerät angewandt werden.

3 Entwurf für Anforderungen an ein Feldmessgerät

Aus den oben genannten Ausführungen ergeben sich die folgenden Anforderungen an ein feldtaugliches Partikelanzahl-Messmittel gemäss des Entwurfs zur Änderung der VAMV.

Die wichtigsten metrologischen Anforderungen sind:

Messgrösse:	Partikelanzahlkonzentration
Messbereich:	10^3 cm^{-3} bis 10^7 cm^{-3}
Effizienz:	Die Effizienz E bezeichnet den Quotienten der angezeigten Anzahlkonzentration und der Eingangskonzentration. Sie repräsentiert die grössenabhängigen Bereiche der zulässigen Messabweichung: a) Nanopartikel von 23 nm: $E < 50 \%$ b) Nanopartikel von 80 nm: $80 < E < 120 \%$ c) Nanopartikel von 120 nm: $80 < E < 120 \%$ d) Nanopartikel von 250 nm: $E < 200 \%$ e) Tetracontantröpfchen (30 nm) $E > 10 \%$
Ansprechzeit	Dauer der Sprungantwort von 10 % auf 90 % der Konzentrationsänderung bei einer rechteckförmigen Änderung der Eingangskonzentration (bei auf- und absteigender Konzentration) 4.5 s bis 5.5 s
Verzögerungszeit:	Dauer des Aerosoleintritts bei der Probenahme bis zur Anzeige der Anzahlkonzentration: $< 10 \text{ s}$
Messbeständigkeit	Gegenüber äusseren Einflussgrössen wie Wärme, Feuchtigkeit, Wasser, Vibration, elektromagnetische Strahlung
Ausdruck der Daten	Fälschungs- und manipulationssicherer Datenausdruck mit folgendem Inhalt: Datum, Zeit, Geräteidentifikation (Typ, S/N), Fahrzeugidentifikation, Messergebnisse für „offizielle Messung“
Offizielle Messung	Bei der offiziellen Messung, welche manuell ein- und wieder ausgeschaltet wird, wird der Spitzenwert der Anzahlkonzentration ermittelt.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Swiss Federal Office of Metrology METAS

Requirements for a portable particle counter for construction machinery

Jürg Schlatter

14th ETH-Conference on Combustion Generated
Nanoparticles, August 1st to 4th 2010



Outline

- Current CH-Legislation**
- Need for a new generation of instruments**
- “Nanoparticle measuring instrument” – NPM**
- Instruments?**
- Outlook**



Current CH-Legislation – type approval

Swiss Ordinance on Air Pollution Control (OAPC) Emissions requirements on construction machines

1. Emissions from construction machines must meet the relevant requirements of Directive 97/68/EC.
2. In addition, exhaust emissions from construction machines may not exceed the particle count of **1×10^{12} 1/kWh** for solid particles (on NRTC and NRSC test cycles according to PMP Protocol)

The particle count limit value cannot be verified on the construction machine in real operation

=> The value of 1×10^{12} 1/kWh is only valid for type-approval at engine test bench

=> For in-use conformity and maintenance purposes a corresponding particle number limit concentration in $[1/\text{cm}^3]$ is needed

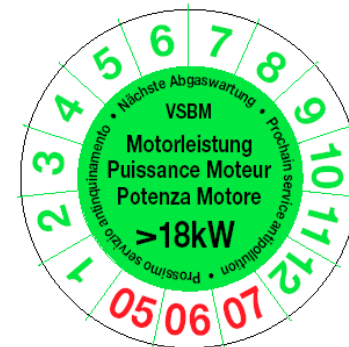


Current CH-Legislation – in use control

Swiss Ordinance on Air Pollution Control (OAPC) and FOEN Guideline “Air Pollution Control at Construction Sites”

- Construction machines with >18 kW
- Requirements for machines and their diesel particle filter DPF (OAPC Annex 4 Section 3 ECE PMP and SNR 277205)
- Identification plate for machine and DPF
- Periodic exhaust control (at least 24 month)
- Documentation of maintenance and measurements (Abgas-Wartungsdokument)
- Service sticker

ABGAS-WARTUNGSDOKUMENT
FICHE D'ENTRETIEN DU SYSTÈME ANTIPOLLUTION
DOCUMENTO SULLA MANUTENZIONE RELATIVA AI GAS DI SCARICO
Diesel (Baumaschinen)
Muss stets im Fahrzeug mitgeführt werden Doit toujours rester dans le véhicule Il presente documento deve sempre accompagnare il veicolo
CH
Gesetzliche Vorschriften auf Seite 6 und 7 Voir prescriptions légales aux pages 6 et 7 Prescrizioni legali, vedere pagine 6 e 7
<small>© Herausgeber: Verband der Schweizerischen Baumaschinewirtschaft (VSBM) © Edité par l'Association des Fabricants et Négociants suisses de machines pour entrepreneurs VSBM-Sekretariat, c/o VSIK, Postfach 656, CH-4010 Basel</small>





Current CH-Legislation – in use control

In-use exhaust measurement

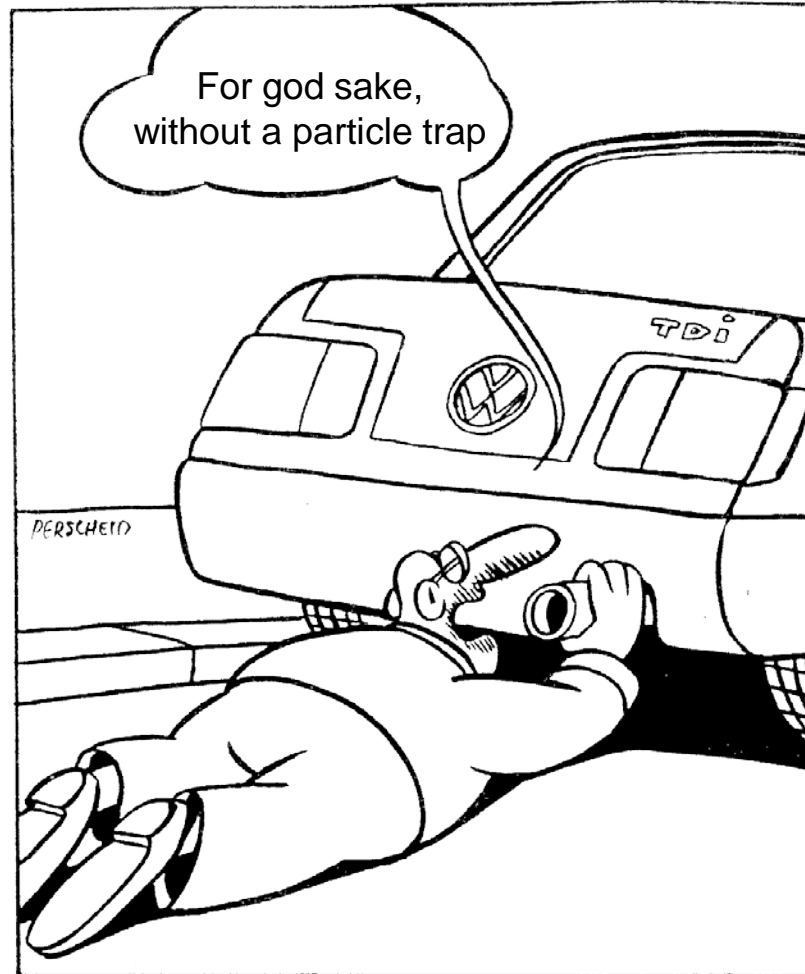
- Opacimeters according (with periodic verification) to VAMV (Verordnung über Abgasmessgeräte für Verbrennungsmotoren)
- Free acceleration test
- Limit to pass test: Extinction coefficient $k < 0,15 \text{ m}^{-1}$

Limitations for Opacimeters

- Lack of sensitivity at low concentrations (EURO III and later)
- Free acceleration test often not applicable on construction machines
- Mandatory revolution measurement often not applicable
- Instrument not suitable for use on construction sites



New Generation of Instruments



Martin quickly found an alternative to harmful cigarettes smoke



Nanoparticle measuring instrument

Key requirements for NPM

- Number Concentration Measurement
- Size Cut-off defined by efficiency curve (motivated by ECE R83)
- Nucleation particles shall be removed (motivated by ECE R83)
- Dedicated for outdoor use



Nanoparticle measuring instrument

Measuring procedure for in-use control

- 3-step quasi stationary procedure:
 - 30 s “low idle”
 - 30 s “high idle”
 - 60 to 120 s “defined load”
- Result:
Maximal particle concentration during whole procedure
- Print result for documentation
- Limit of number concentration to be defined in the OAPC
- No revolution or temperature measurement



Nanoparticle measuring instrument

Number concentration measurement

The measuring range shall be from 10^3 cm^{-3} to 10^7 cm^{-3} .

Values below measuring range shall be indicated as „below 10^3 cm^{-3} “, values above as „above 10^7 cm^{-3} “.

The result shall be referred to actual ambient conditions.



Nanoparticle measuring instrument

Error limits for number concentration measurement

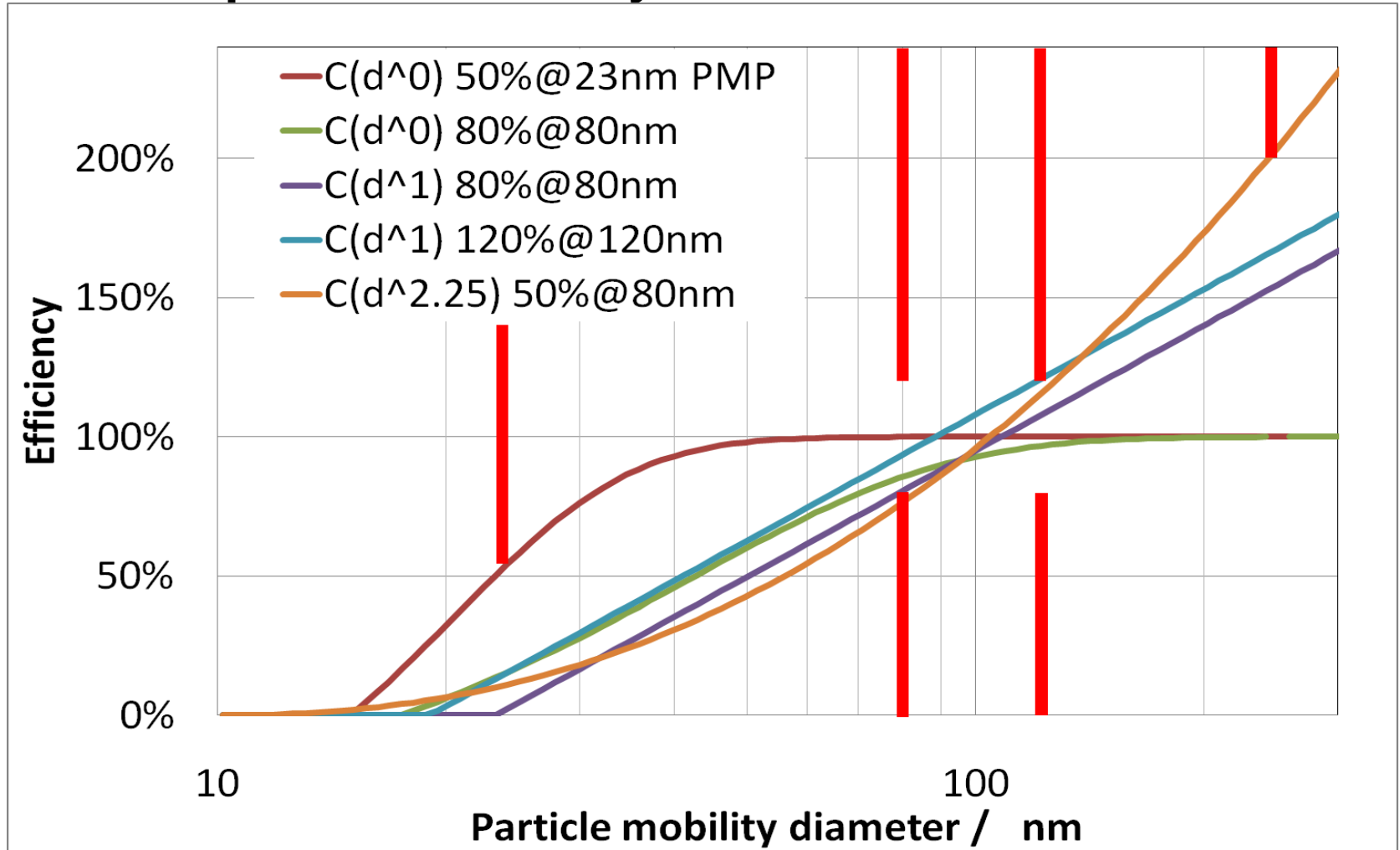
As a function of particle size and particle composition the counting efficiency E shall be within following limits:

Particle (mobility) diameter	Permitted range for E
23 nm solid particle	$E < 50 \%$
80 nm solid particle	$80 < E < 120 \%$
120 nm solid particle	$80 < E < 120 \%$
250 nm solid particle	$E < 200 \%$
30 nm tetracontane droplets	$E < 5 \%$



Nanoparticle measuring instrument

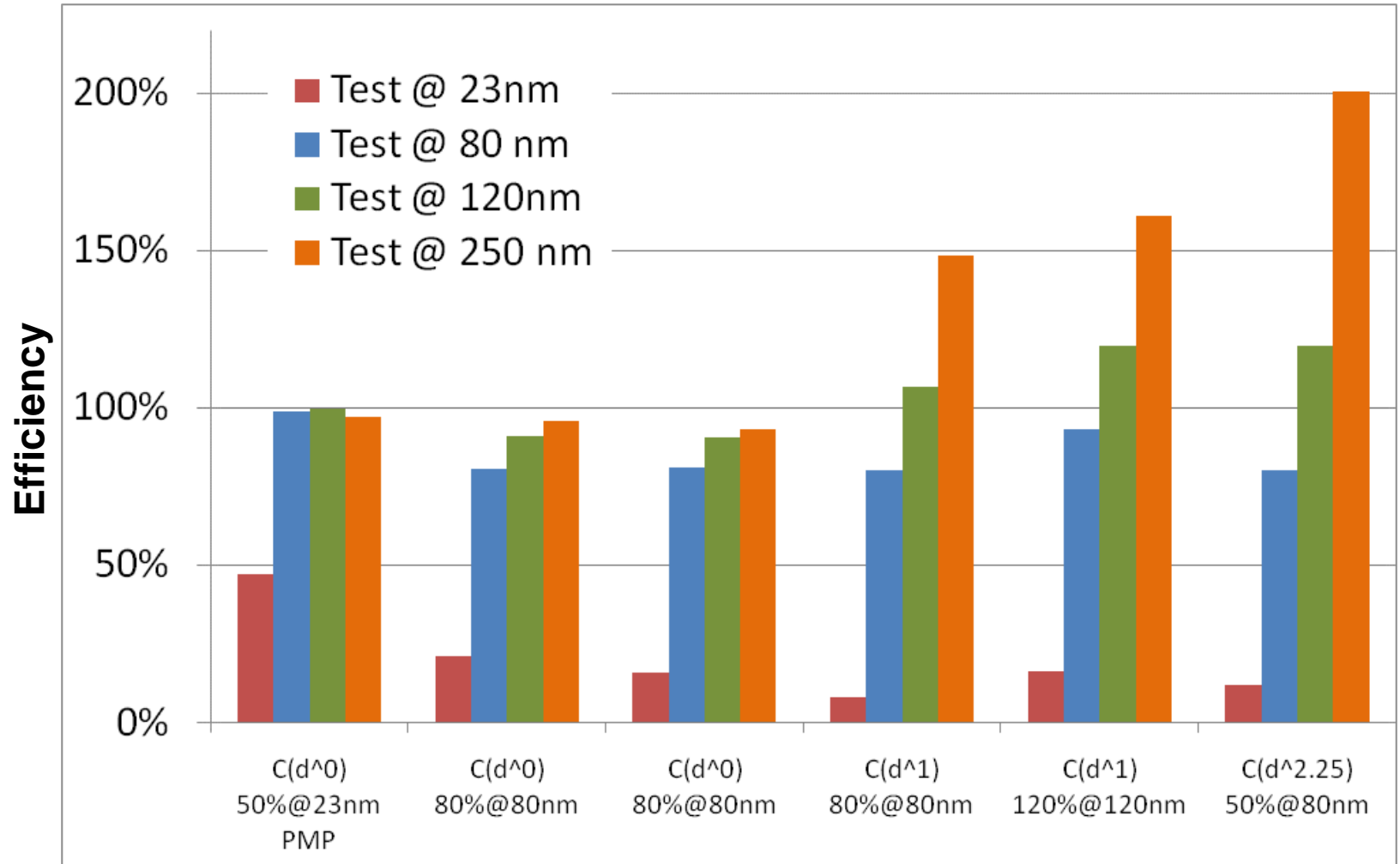
Examples of efficiency curves





Nanoparticle measuring instrument

Efficiency with test aerosols



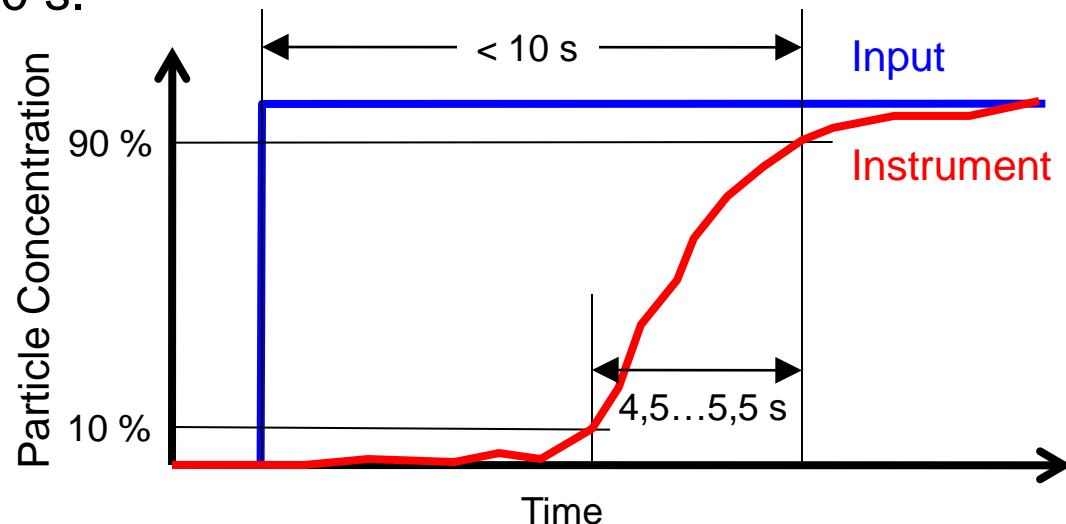


Nanoparticle measuring instrument

Requirements for time constants

Response Time: During the official measurement the instruments response from 10 % to 90 % of an instantaneous change of the particle number concentration (upward and downwards) shall last between 4,5 s and 5,5 s.

Delay Time: The duration between the entry of aerosol at the sampling line and the 90 % indication of the number concentration shall be below 10 s.





Schedule

Revision of VAMV (METAS)

“nanoparticle measuring instrument” regulation in VAMV

- 12/2009: Instrument prototypes at METAS
- 04/2010: Presentation of draft requirements
- 10/2010: Revision of requirements
- Early 2011: Adopt revised VAMV by FDJP
- 2011/2012: instrument type approval at METAS
- From 2012: Instruments available on market

Revision of OAPC (FOEN)

Replace opacity coefficient by a number concentration limit

- 2012/13: NPM complement Opacimetry
- 2014: Opacimetry is replaced by NPM



Outlook

- ❑ Particle number concentration is the measurand for future emission measurements
- ❑ Instrument technology will be ready shortly
- ❑ Legislation for “nanoparticle measuring instrument NPM” is in preparation and will come latest 2011
- ❑ Further applications for the “nanoparticle measuring instrument NPM” is evaluated
- ❑ Further research is needed to optimize the requirements for reliable measurement



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Swiss Federal Office of Metrology METAS

Thank you

juerg.schlatter@metas.ch
www.metas.ch/aerosol