



RAPPORT

Vurdering af indførelse af partikelantalsmålinger ved syn i Danmark





**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

RAPPORT

Vurdering af indførelse af partikelantalsmålinger ved syn i Danmark

Miljøministeriet
Departementet
Bæredygtigt Miljø og Produktion
Slotsholmsgade 12
1216 København K

Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Energi og Klima

Forfattere:
Kim Winther, Seniorspecialist, 7220 1310, kwi@teknologisk.dk
Thomas Nørregaard Jensen, Forretningsleder, 7220 3246, tnje@teknologisk.dk

23. december 2022
J. nr.: 2022-1612



Indholdsfortegnelse:

1. Baggrund og formål	4
2. Instrumenttyper	5
2.1. Forventede partikelkoncentrationer og -størrelser	6
2.2. Anbefalede principper	7
2.3. Egnede instrumenter på markedet	8
3. Grænseværdier og testmetode	9
4. Omfattede køretøjstyper	14
4.1. Benzin versus dieslbiler	15
5. Økonomi	18
6. Miljøeffekt	20
7. Håndhævelse	22
8. Konklusion og anbefaling	23



1. Baggrund og formål

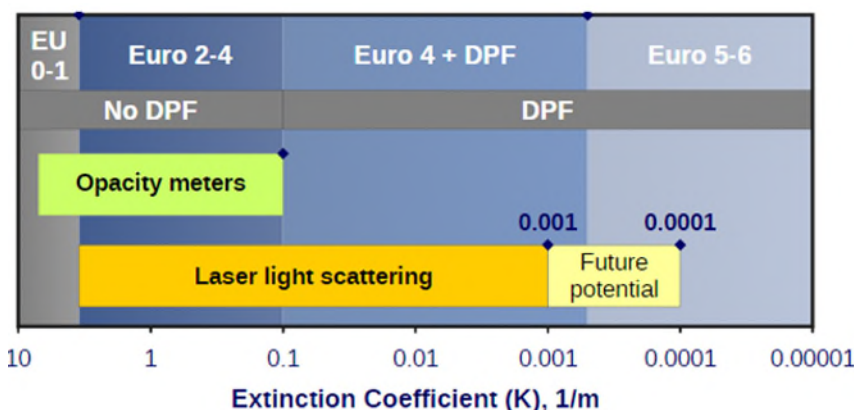
EU Direktiv 2014/45 angiver minimumskravene til periodisk syn af biler, mens den enkelte medlemsstat kan fastsætte yderligere krav. Ved et dansk syn af dieselmotorer kontrolleres udstødningen i dag ved hjælp af opacitetsmålere, som primært egner sig til køretøjer i EURO-klasse 2-4 uden partikelfilter. Med indførelsen af dieselpartikelfiltre (DPF) fra EURO 4/5 er grænseværdien rykket betydelig nedad hvorfor opacitetsmålere ikke længere er tidssvarende. Køretøjer fra 2006 og frem bør reelt kontrolleres med andre typer af apparater, hvilket uddybes nærmere nedenfor.

Citat fra Atmospheric Environment X · October 2020 (ref. 2):

It has been shown that neither the currently prescribed opacity testing (Boveroux et al., 2019) nor on board diagnostics (Yamada, 2019a) are valid tools for determining the existence and effectiveness of DPF.

Problematikken har været kendt længe og er bl.a. behandlet under Miljøprojekt nr. 1396 af 2011 (ref. 1), som primært fokuserede på tunge køretøjer. Denne rapport er en opfølgning og en opdatering af den tidligere analyse, hvor der nu fokuseres både på tunge køretøjer, person- og varebiler samt på den nyeste måletekniske udvikling. Baseret på aktuelle informationer indhentet fra nabolandene foretages en vurdering af, om en dansk indfasning af partikelbaserede måleinstrumenter vil medføre et behov for revidering af nuværende målemetoder. Samtidig redegøres for eventuelle arbejdstidsmæssige konsekvenser i synshallen ved anvendelse af partikelbaseret måleudstyr, samt eventuelt behov for etablering af nødvendig hardware og software for at holde udstyret i drift.

Nedenstående figur viser den historiske baggrund (ref. 1), hvor det fremgår, at opacitetsmålere kun er effektive ned til $0,1 \text{ m}^{-1}$, hvilket er ca. 10-100 gange højere end den forventelige opacitet fra EURO 5/6 køretøjer. Lysspredning (laser light scattering) dækker ifølge figuren området fra $0,1 \text{ m}^{-1}$ til $0,001 \text{ m}^{-1}$, mens der længere ude i fremtiden må forventes endnu finere måleinstrumenter til værdier under $0,001 \text{ m}^{-1}$.



Figur 1. Sammenligning mellem forskellige måleteknikker. Hverken opacitetsmålere eller lysspredning er velegnet til kontrol af køretøjet højere end EURO 4, hvorfor der er brug for andre måleteknikker (ref. 1).



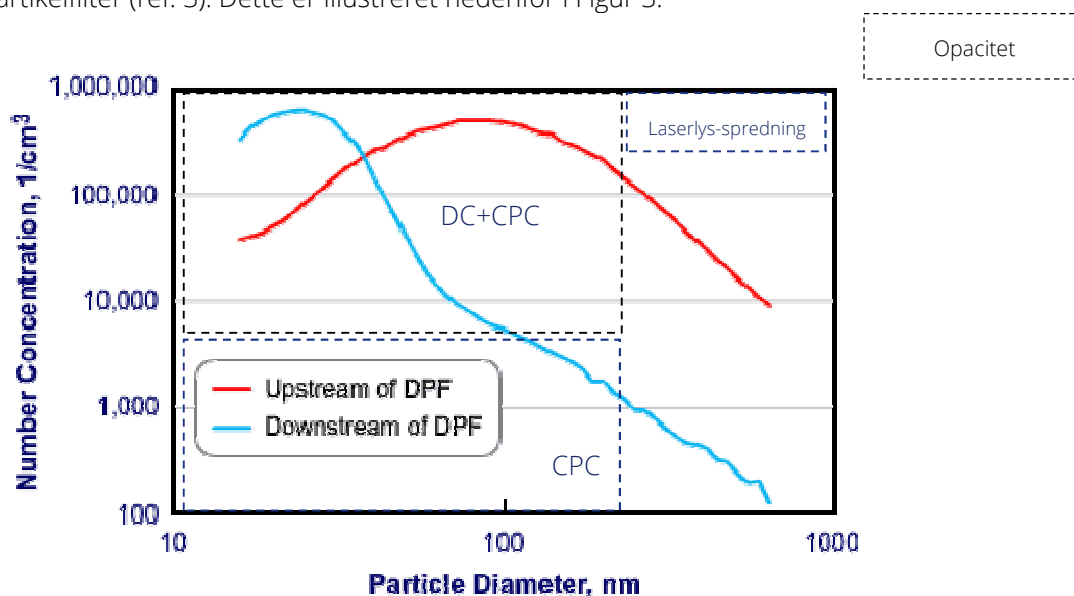
2.1. Forventede partikkelkoncentrationer og -størrelser

Spredningen på målte PN-koncentrationer kan være meget stor. Nyere biler med partikelfiltre kan meget vel ligge under ambient niveau (mindre end 5.000 \#/cm^3), mens biler uden partikelfiltre kan vise over $10.000.000 \text{ \#/cm}^3$ (se Tabel 1). Jf. IVL (ref. 7) kan afmonteret partikelfilter øge PN-emissionen med 150 gange. Nogle typiske niveauer for PN er samlet i nedenfor i Tabel 1:

Tabel 1 Typiske værdier for PN-koncentration målt på forskellige køretøjer (erfaret af Teknologisk Institut).

Køretøj	PN \#/cm^3
EURO 6 diesel i god stand	5.000
EURO 6 benzin i god stand	50.000
EURO 6 typegodkendelse WLTP	~60.000
EURO 6 RDE-PEMS test	300.000
EURO 5 benzin (GDI-motor uden filter)	400.000
EURO 5a diesel (med partikelfilter)	500.000
EURO 6 diesel med defekt filter	5.000.000
EURO 6 diesel uden filter	>10.000.000

Det er ligeledes vigtigt at være opmærksom på partikelstørrelsesfordelingen før og efter et partikelfilter. Typiske størrelsesfordelinger baseret på antalsmåling viser, at den gennemsnitlige partikeldiameter før et partikelfilter typisk er lige under 100 nm mellem, hvorimod den typisk er omkring 20 nm efter et partikelfilter (ref. 3). Dette er illustreret nedenfor i Figur 3.



Figur 3. Illustrativt overblik over måleprincipper, forklares yderligere i afsnit 2.2.



2.2. anbefalede principper

Der findes i dag to etablerede måleteknikker, som er velegnede til at måle PN-emission. Det er henholdsvis *diffusion charging* DC) og *condensated particle counting* (CPC). De to måleteknikker har et typisk måleområde på op til 5 mio. partikler/cm³ og kan typisk detektere partikler i størrelsesområdet fra 20 nm til 200 nm. Det er disse måleområder der gør, at DC- og CPC-måleteknikkerne er velegnede til PN-emission. Detektionsgrænsen for de to måleteknikker er dog oftest henholdsvis 5000 og 0 #/cm³. Dette er illustreret i Figur 3, der viser typiske partikelstørrelsesfordelinger målt før og efter et partikelfilter. Middelpartikeldiameteren før et partikelfilter er typisk mellem 80 nm og 100 nm, hvorimod den er typisk omkring 20 nm efter et partikelfilter.

DC-metoden virker ved, at partiklerne påtvinges en elektrisk ladning i et såkaldt ioniseringskammer. Den samlede koncentrationen af elektrisk ladede partikler måles, og denne kan omregnes til en partikelantalskoncentration. En fordel ved DC-metoden er, at den ikke kræver forbrugsvarer som isopropanol. Måleområdet for DC-instrumenter er typisk fra 5.000 #/cm³ til 5 eller 10 mio. #/cm³. For instrumenter, som ikke kan måle ned til 0 #/cm³ er det ikke muligt at lave et såkaldt *zero check*. Ved et zero check monteres et HEPA-filter på indgangen til instrumentet, og det er en effektiv metode til at kontrollere om instrumentet er tæt – altså fri for lækager hvor der kan indtages falsk luft. Et instrument med en nedre grænse på 5.000 #/cm³ kan i nogle tilfælde ikke måle forskel på ambient luft og et normalt fungerende partikelfilter på en Euro 6 dieselmotor, da PN-koncentrationen i disse tilfælde er sammenlignelig. Et sådant instrument vil dog stadig kunne detektere om et filter er velfungerende eller ej, da et defekt filter kan have en PN-emission som er omkring 1000 gange højere sammenlignet med et velfungerende filter.

CPC-metoden virker ved, at partiklerne ledes gennem et tågekammer med isopropanol. Dette får partiklerne til at vokse, så de kan detekteres med en optisk sensor. Sammenlignet med DC-metoden, vil CPC-metoden typisk have en højere nøjagtighed, da man kan sige at partiklerne måles enkeltvis. Det er samtidig en fordel at metoden kan måle koncentrationer helt ned til 0 #/cm³, hvilket gør det muligt at udføre læktest af systemet samt at måle den faktiske PN-emission fra en EURO6 dieselmotor. Med sin lavere detektionsgrænse vil CPC-metoden også være velegnede, hvis grænseværdien i fremtiden sænkes til fx 50.000 #/cm³ eller derunder. En ulempe ved CPC-metoden er, at instrumenterne kan være dyrere i indkøb end lignende DC-instrumenter. Derudover er det nødvendigt at skifte en isopropanolbeholder cirka hver 6. måned, hvilket ikke er svært at håndtere.

Da flygtige partikler kan lede til betydelige målefejl og varians i resultaterne er partikeltællerne designet til kun at måle faste partikler. Dette sikres ved at lade røggassen passere en VPR (Volatile Particle Remover). Denne betegnes også som en ET (Evaporation Tube), en TD (Termo Denuder) eller en CS (Catalytic Stripper).

Det forventes at kravet til den nedre detektionsgrænse i fremtiden reduceres fra 23 nm til 10 nm. Dette vil umiddelbart ikke være et problem for hverken DC- eller CPC-måleteknikken, da der i dag findes udstyr baseret på de to måleteknikker, som kan detektere partikler ned til 10 nm. Dette er fx tilfældet for Testo DiSCmini og TSI NanoScan der er baseret på hhv. DC- og CPC-måleteknikken.



2.3. Egnede instrumenter på markedet

Vi har foretaget en markedsundersøgelse, der resulterer i en liste over relevante markedsførte partikelmåleinstrumenter (PTI-PN devices), der kan træde i stedet for de nuværende anvendte opacitetsmåleinstrumenter. Listen indeholder ud over fabrikat og type for de forskellige apparater også pris for selve apparatet samt nødvendig hjælpeudrustning. Dertil har vi vurderet pågældende apparats anvendelighed i en synssituation for så vidt angår målområder, driftsstabilitet og behov for løbende kalibrering.

Der findes allerede i dag en lang række egnede instrumenter fra anerkendt fabrikanter. Listen over de mest relevante ses i Tabel 2.

Tabel 2 Liste over relevante synsapparater til måling af PN

Leverandør	Apparat	Listepris ekskl. moms (DKK)	Princip	Størrelses- Område (nm)	Min (#/cm ³)	Max (#/cm ³)
AVL Ditest	AVL Ditest Counter	54.375,00	DC	20-300	0	1,0E+07
BOSCH	Bosch BEA 090	66.750,00	CPC			
Capelec	CAP3070	57.510,00	DC		5000	5,0E+06
Continental	DX280 DC	56.250,00	DC			
Cosber	C-ECP20	60.000,00				
Hella Gutmann	HG4-PCK	56.175,00	DC			
Maha	Particle Counter	-	DC		0	1,0E+07
Mahle	PMU-400	59.925,00	CPC	23-200	0	5,0E+06
Opus	DC PNC	-	DC			
Pegasor OY	Particle Counter	57.510,00	DC		5000	5,0E+06
Ryme	RY-PC300	60.000,00	DC			
Saxon Junkalor	Nanolyt M	-	DC			
Test Equipment Nederland	TEN AEM Particle Counter	-	DC		5000	5,0E+06
TEXA	NP 01	-	DC	23-200	5000	5,0E+06
VLT	E9700	33.750,00	DC			5,0E+06
Wabco Würth	WPA-WOW	-	DC	20-200	0	5,0E+06

Fotos mv. kan fx ses på siden <https://www.particlesmatter.com/particle-counters>.



For at kunne vurderes som egnet til anvendelse i synshaller, skal instrumenterne opfylde forskellige krav, som afhænger lidt af regionen (se Tabel 3). Den nedre detektionsgrænse på $5 \times 10^3 \text{ \#/cm}^3$ sikrer at DC-princippet kan benyttes.

Tabel 3: Krav til måleinstrumenter i Holland, Belgien, Tyskland og Schweiz

	Holland	Belgien	Tyskland	Schweiz
Anvendt måler (type)	Flere typer (Godkendt af NMI)		Godkendt af PtB	Godkendt af METAS
Måleområde	$5 \times 10^3 - 5 \times 10^6$		$5 \times 10^3 - 5 \times 10^5$	$5 \times 10^4 - 5 \times 10^6$
Usikkerhed	$2,5 \times 10^5$		5×10^4	30%
Partikelstørrelser	23, 50, 80 nm		23, 30, 50, 70, 100, 200 nm	23, 41, 80, 200
VPR effektivitet	>95%		>90%	-

3. Grænseværdier og testmetode

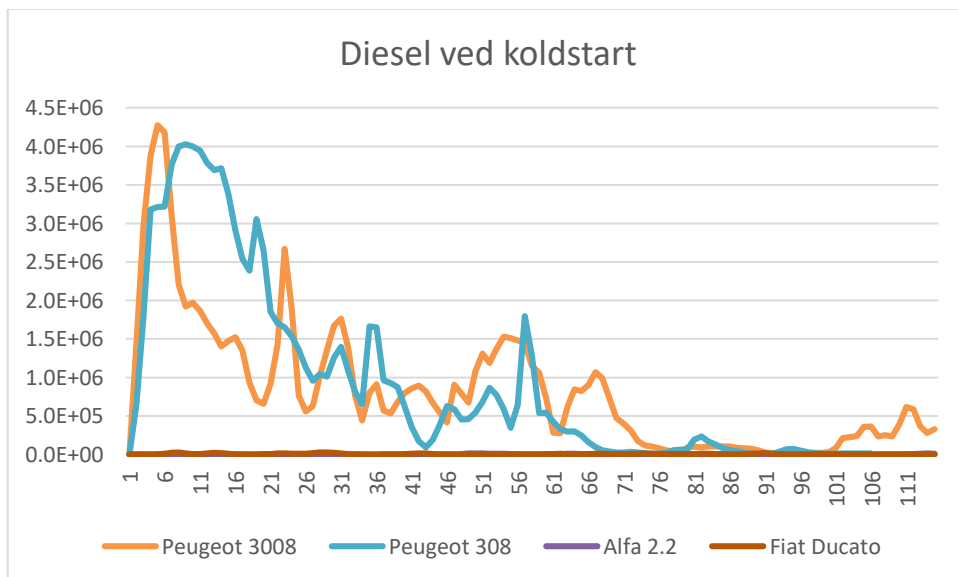
Periodisk syn med PN-måleapparater er indført forsøgsvis i flere lande og er nu på vej til at blive gjort permanent i Holland (implementering forsinket) og Belgien (2 ud af 3 regioner, lovgivningen indføres i trin). Tyskland og Schweiz indfører metoden pr. 1/1-2023.

Målemetode og grænseværdier adskiller sig imellem landene, da det er op til nationalstaterne i EU at fastsætte nøjere krav til bilsyn. EU Direktiv 2014/45 angiver således kun minimumskravene. Tyskland og Schweiz har de strengeste grænseværdier, mens Holland og Belgien har valgt mere lempelige krav.

Testen udføres altid med motoren i tomgang, dvs. uden ydre belastning. I Schweiz måles som hovedregel ved forceret tomgang 2000 o/min eller højeste mulige ubelastede omdrejningstal. I Tyskland gasses motoren kortvarigt op for at aktivere (åbne) bilens EGR-ventil. Dette øger emissionen af partikler fra motoren. Til gengæld kræves både i Tyskland og Schweiz at motoren skal være driftsvarm, hvilket ikke er nødvendigt i Holland og Belgien. Dog får man mulighed for at komme tilbage med bilen efter en prøvetur, såfremt testen ikke passerer med kold motor.

Test udført af Teknologisk Institut viser, at PN-koncentrationen de første 60 sekunder fra koldstart kan være kraftigt forhøjede – op til $4 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$. Dette på trods af at bilen er en EURO 6 med partikelfilter i perfekt stand (Figur 4) og der ikke forefindes by-pass anordninger på filteret. Andre bilmodeller har derimod praktisk taget ingen PN-emissioner i koldstart. Dette viser, at kontrollen bør basere sig på flere gentagne målinger, medmindre den første måling er lav.

Af samme grund er det i Holland og Belgien tilladt at gentage målingen, hvis første måling fejler. I Tyskland foretages som hovedregel 3 målinger.



Figur 4 Eksempel på koldstart af 4 forskellige EURO 6 dieslbiler (Teknologisk Institut)

Det vurderes dog, at langt de fleste biler vil kunne godkendes efter få sekunders måling, da PN-værdien for velfungerende EURO 6 biler ligger betydeligt under $5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$, altså langt under grænseværdien. Dette betegnes i Tyskland som et "fast-pass", hvor tidsforbruget til synet altså reduceres for de fleste bilers vedkommende. Schweiz accepterer tilsvarende en forenklet fremgangsmåde, hvis emissionen er under 10^5 \#/cm^3 . Holland anvender ikke fast-pass, men derimod et "fast-fail", som indtræder hvis koncentrationen er over $2 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$. Formålet her er ligeledes at reducere tidsforbruget til syn af biler, som utvivlsomt har et defekt partikelfilter.

Et sammendrag af grænseværdier og krav er anført i tabellen herunder. For omfattede biltyper se Tabel 4.

	Holland	Belgien	Tyskland	Schweiz
Motortemperatur	Varm eller kold	Varm eller kold	Varm	Varm
EGR ventil	"Lukket/inaktiv"	"Lukket/inaktiv"	"Åben/aktiv"	Høj/lav tomgang
Varighed af måling	Min. 15 s Totalt 90 s	Min. 15 s Totalt 90 s	Min. 3x30s Totalt 140-200 s	3 x 5 s
Grænseværdi	10^6 \#/cm^3	10^6 \#/cm^3	$2,5 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$	$2,5 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$
Fast-pass	Ikke muligt	Ikke muligt	$< 5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$	Lav tomgang hvis $< 10^5 \text{ \#/cm}^3$
Fast-fail	$> 2 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$	$> 2 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$	Ikke muligt	Ikke muligt
Tekniske referencer	RDW/TNO/NMi Dutch Ministry of Infrastructure	GOCA Flemish Govt.	AU-Leitfaden 6 BMVI BAST PTB DEKRA/TÜV	SR 941.242 VERT ASTRA UVEK

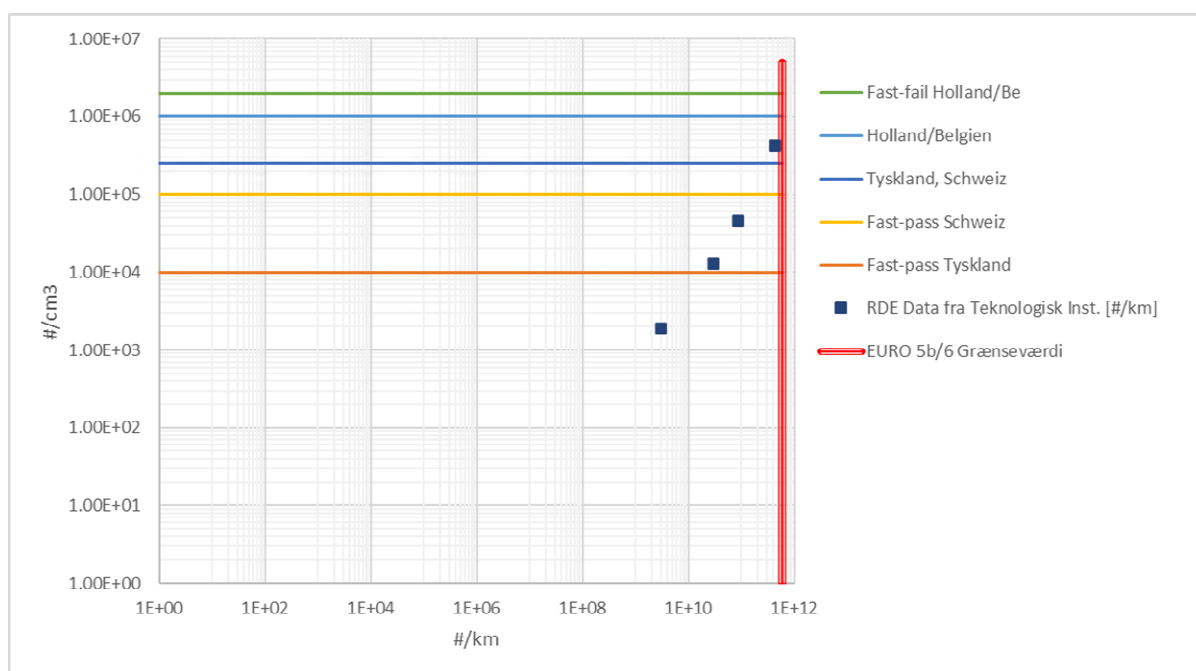
Figur 5 Grænseværdier og testmetoder i Holland, Belgien, Tyskland og Schweiz.



Når man sammenligner synsgrænseværdien med typegodkendelsesværdien, skal man anvende faktoren [cm^3/km]. Under RDE-kørsel ligger denne på ca. $7 \times 10^5 \text{ cm}^3/\text{km}$ for benzin og $2 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{km}$ for diesel.

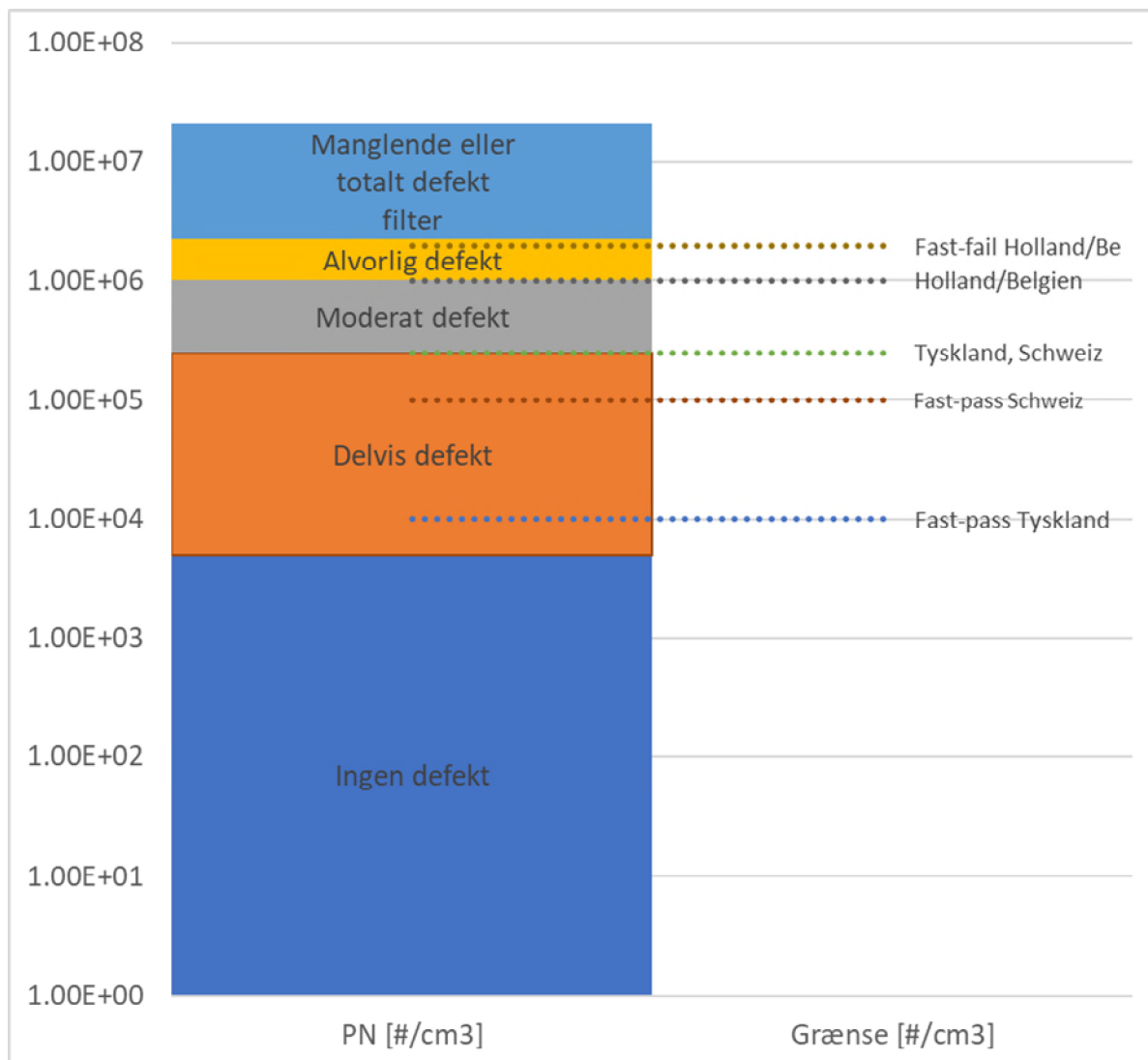
Synsgrænsen på $2,5 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$ svarer dermed rundt regnet til 50 % af grænseværdien i EURO5b, som er $6 \times 10^{11} \text{ \#/km}$. En grænse på $1,0 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$ svarer til ca. 150 % af grænseværdien. Dette er vist i Figur 6.

Tests udført af JRC peger dog på en højere faktor på ca. $10^7 \text{ cm}^3/\text{km}$ ved sammenligning mellem tomgang og WLTP-test. Dette vil betyde, at grænseværdien ved syn snarere burde ligge ved $6 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$. Dette vurderes dog som for lavt, jf. Teknologisk Instituts erfaringer, som er vist i Figur 6. Disse peger på en grænseværdi omkring $4 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$ for EURO 6 biler.

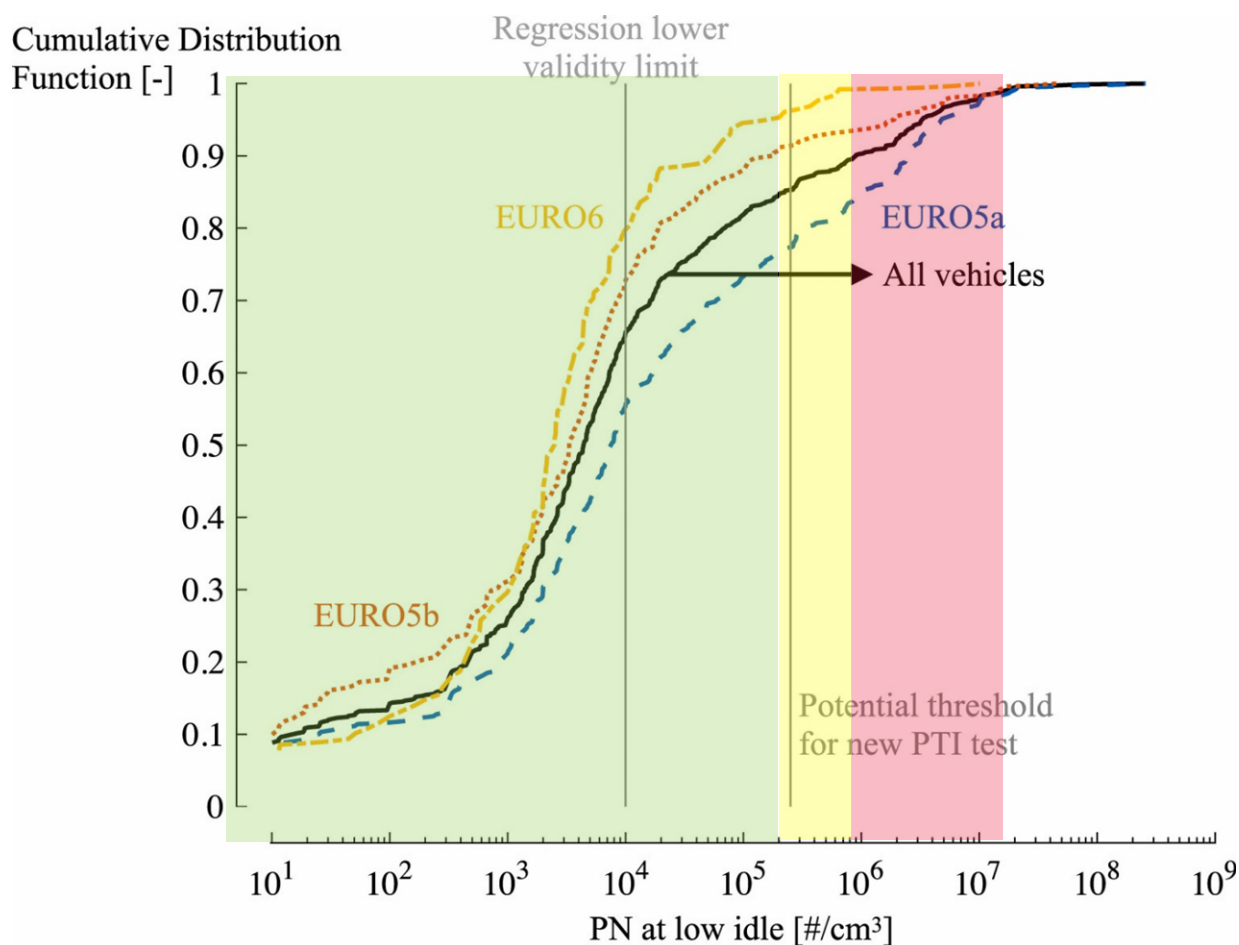


Figur 6 Etablerede grænseværdier sammenholdt med de 4 højeste PN-koncentrationer og PN-emissionsfaktorer som er registreret ved beståede RDE-tests på EURO 6 biler udført af Teknologisk Institut.

Vi har etableret kontakt til de relevante landes myndigheder med henblik på at redegøre for eventuel anvendelse af partikelmåleprincippet i synssituationen. Undersøgelsen omfatter registrering af de anvendte grænseværdier i de respektive lande med en samtidig registrering af hvilke forskellige typer af køretøjer grænseværdierne anvendes på. For hvert land registreres tillige hvilke måleinstrumenter, der anvendes samt hvilke typer af defekter, der fanges ved forskellige niveauer (Figur 7).



Figur 7 Oversigt over typiske fejl og tilhørende PN-niveau (ref. 4)



Figur 8 Andel af 757 dieslbiler som vurderes at kunne bestå et synskrav på 10⁶ #/cm³ (ref. 8).

Figur 8, som stammer fra Vrije universitetet i Belgien viser at 90% af 757 undersøgte dieslbiler ville bestå et synskrav på 10⁶ #/cm³. Samtlige EURO 6 biler ville bestå. Blandt de ældre EURO 5a-biler ville kun 85% bestå.

Med et skrapere synskrav på 2,5*10⁵ #/cm³ ville 85% af alle biler bestå. Af EURO 6-bilerne ville 96% bestå og blandt EURO 5a-bilerne ville kun 78% bestå.

Ved et synskrav på 2*10⁷ #/cm³ ville alle de undersøgte dieslbiler bestå.



4. Omfattede køretøjstyper

De gældende synsordninger med PN-måling omfatter i øjeblikket kun lette dieselkøretøjer. I Schweiz testes alle biler med partikelfilter, i Tyskland kun EURO 6, mens Holland og Belgien tester både EURO 5b og EURO 6 biler.

Den lavere grænseværdi, som anvendes i Tyskland, har altså også baggrund i, at de ældre dieselmotorer udelades.

Ved definitionen af biler med partikelfilter, skal man være opmærksom på, at et eftermonteret "åbent" filter, som har været meget anvendt i Tyskland, og som også finder anvendelse på EURO 3 og EURO 4 biler i Danmark, ikke kvalificerer bilen til en PN-test, da kravet til rensningsgrad for åbne filtre er mere lempeligt.

Tunge køretøjer med principgodkendt partikelfilter bør dog kunne klare testen, da disse partikelfiltre er den lukkede type.

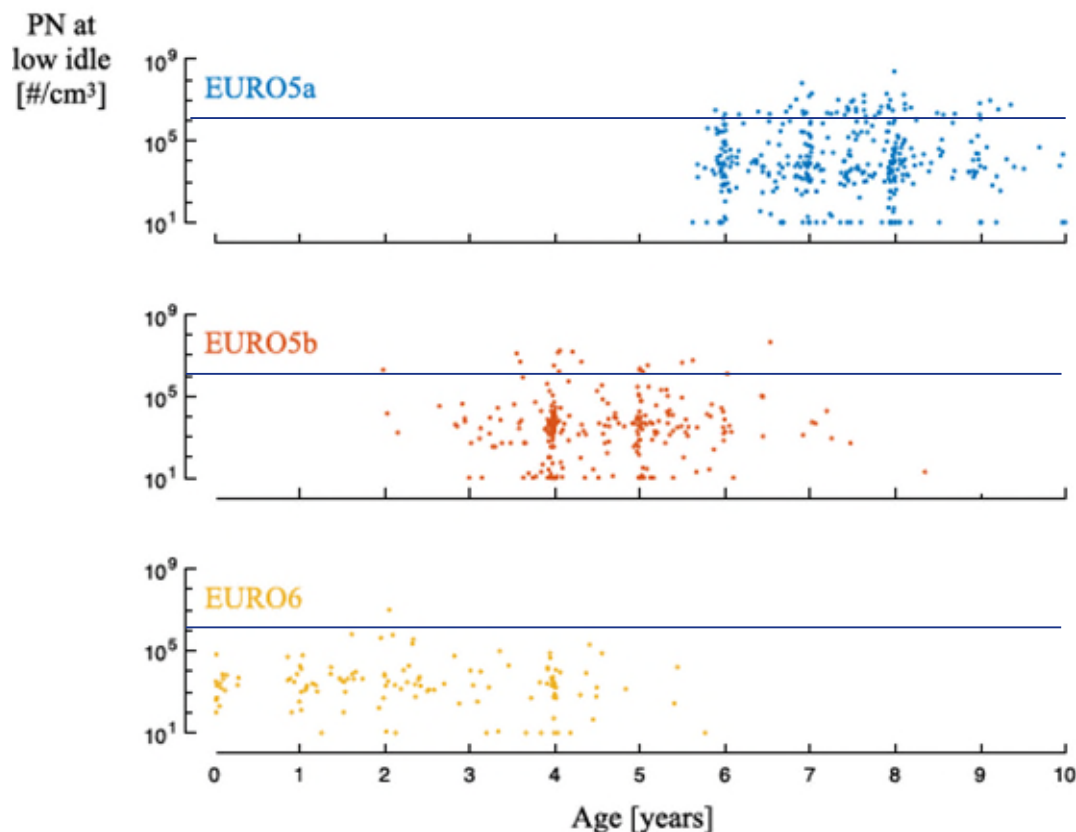
EURO 6 biler har med sikkerhed et lukket partikelfilter og bør synes med den nye metode. Det samme gælder biler i EURO 5b. Hvad angår EURO 5a kan effektiviteten af partikelfiltrene variere, da godkendelseskravet på dette tidspunkt ikke omfattede en konkret PN-grænseværdi.

Tabel 4 Lette dieselkøretøjer omfattet af partikelantalsmåling ved syn

	Holland	Belgien	Tyskland	Schweiz	Sverige
Køretøjstyper	Euro 5b+6	Euro 5b+6	Euro 6	Alle med DPF	EURO 4-6 (kun forundersøgelser)

Blandt dieselmotorer i EURO-klasse 0-4 gælder at ca. halvdelen (ca. 130.000 køretøjer) i Danmark har partikelfilter. Alle person- og varebiler i EURO 5-6 har ligeledes partikelfilter. For tunge køretøjer har de fleste et partikelfilter.

EURO 5a dieselmotorer kan, trods partikelfilteret, have lidt højere PN-emissioner end EURO5b, da antalskravet først blev indført med EURO 5b. Forventelige niveauer af PN-koncentrationer under synsliggende forhold for dieselmotorer kan ses i Figur 9.



Figur 9 Forskelle mellem EURO 5a, 5b og EURO 6 dieselmotorer (ref. 8). Alderen på bilen regnes fra 2021.

4.1. Benzin versus dieselmotorer

Blandt benzinmotorer er det kun de allernyeste i EURO-klasse 6d (2019 frem), som anvender et partikelfilter (GPF). Ældre benzinmotorer med direkte indsprøjtning (GDI-motor) uden GPF kan have markant højere PN-udledning, fordi antalskravet for benzinmotorer først indførtes med EURO 6.

Benzinmotorer er indtil videre undtaget fra kravet om PN-måling ved syn i de lande, hvor metoden er indført. Dette skyldes, at røggassen fra benzinmotorer indeholder mere vanddamp og det derfor er usikkert, om de tilgængelige PN-målere kan håndtere dette, både hvad angår instrumentets holdbarhed og måleusikkerhed. Vanddamp kan forstyrre PN-målingen og forårsage kondens i apparatet.

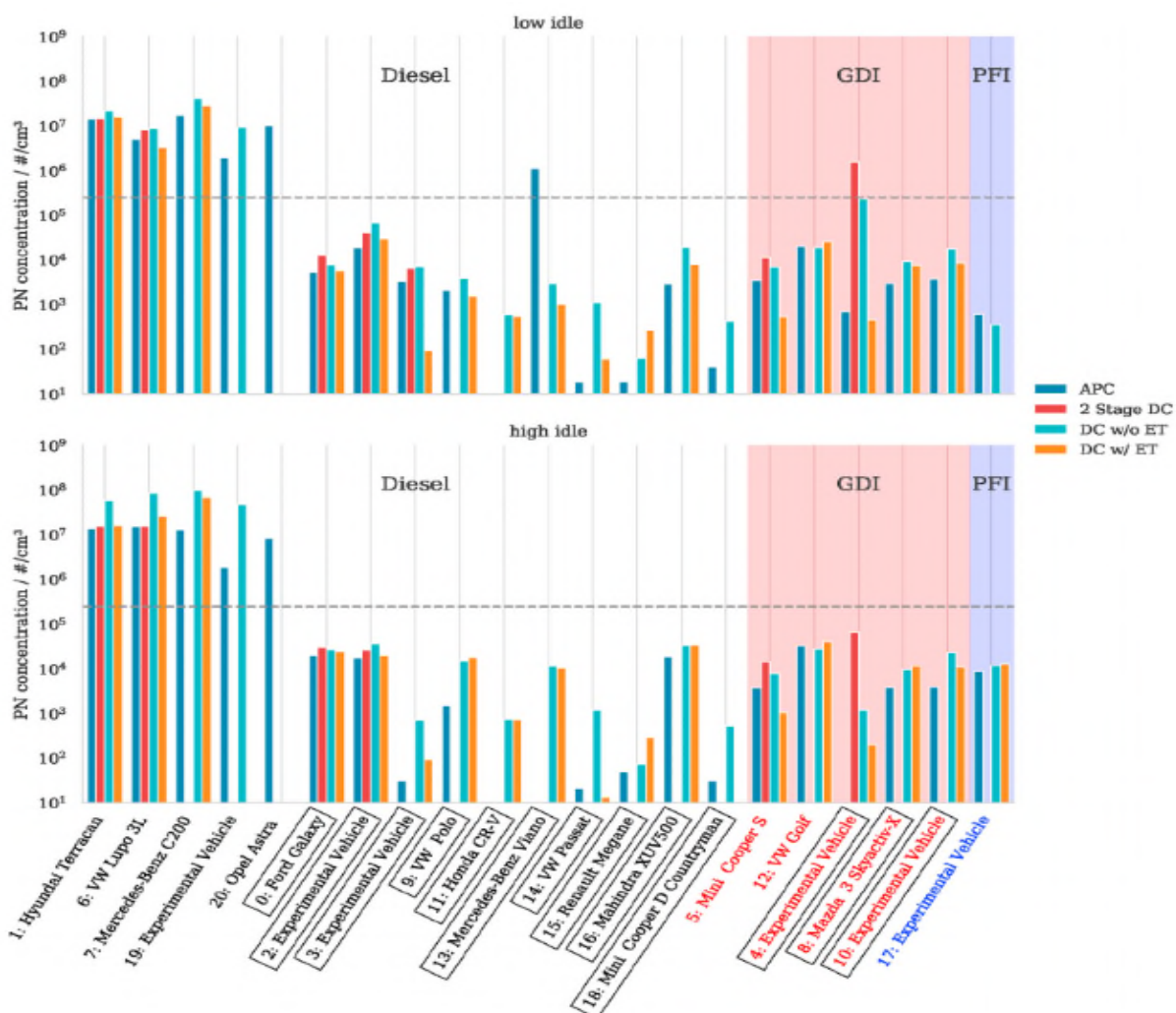
Ved typegodkendelse og PEMS-målinger håndteres dette ved at anvende en højere fortyndingsrate, således, at den relative fugtighed i røggassen reduceres og den målte røggas derfor ikke kondenserer. Det er derfor muligt at indføre PN-måling på benzinmotorer, men i øjeblikket må det frarådes, da instrumenterne endnu ikke er godkendt til dette.

Samtidigt er PN-emissionerne generelt væsentligt lavere på benzinmotorer end på dieselmotorer. Ser vi bort fra et eventuelt partikelfilter udleder en klassisk dieselmotor ca. 25 gange så mange partikler som en klassisk benzinmotor. Efter indførelse af dieselpartikelfiltre er emissionen fra dieselmotorer dog reduceret så meget, at de er kommet ned på niveau med benzinmotorer. Samtidigt har introduktionen af



direkte indsprøjtning på benzinbiler ført til en øgning af udledningen af PN fra nyere benzinmotorer. Disse forhold har ført til, at man i dag anvender samme PN-grænseværdi for benzin- og dieselmotorer.

For at imødekomme EURO 6 kravene er benzinbiler med direkte indsprøjtning derfor udstyret med et partikelfilter, som kaldes Gasoline Particle Filter – GPF.

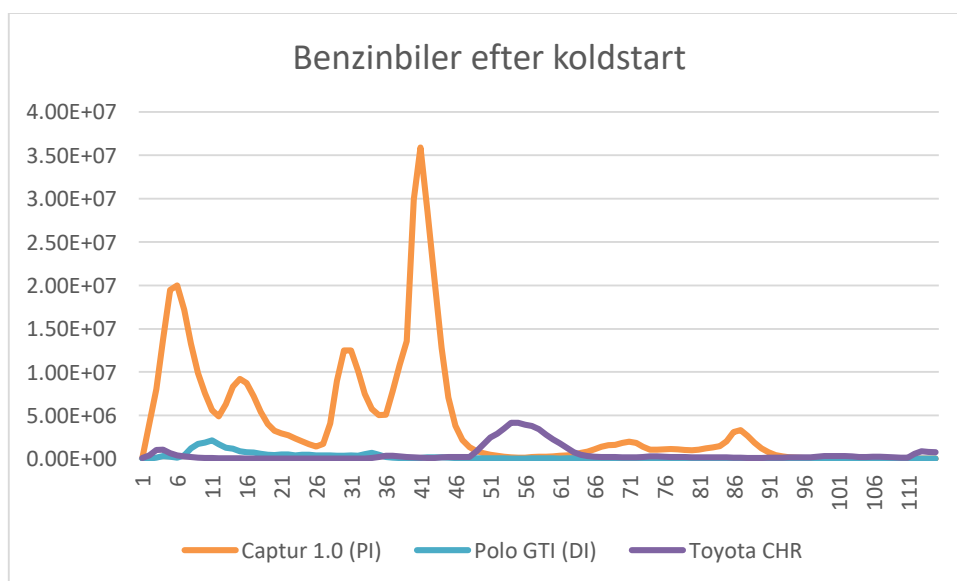


Figur 10 Forskellige biltyper PN-emission under synslignende forhold med forskellige måleapparater (ref. 2). Værdi under 250.000 #/cm³ (stiplet linje) indikerer et fungerende partikelfilter. GDI og PFI er benzinbiler med henholdsvis direkte og indirekte benzinindsprøjtning. Bilmodeller markeret med firkantet ramme er udstyret med partikelfilter.



Målinger udført af Teknologisk Institut viser, at nyere benzinbiler uden filter/GPF kan have ret høje PN-emissioner ved koldstart. Dette ses i Figur 11, hvor en Captur 1,0 uden GPF er sammenlignet med en Polo GTI med GPF. Med GPF er emissionerne reduceret betydeligt. Begge biler er EURO 6d godkendte, men kravene er forskellige fordi Captur kører med Port Indsprøjtning (PI) og Polo kører med Direkte Indsprøjtning (DI).

Ved en evt. senere indførelse af PN-måling til benzinbiler er det derfor vigtigt, at man ikke anvender samme synskrav på biler uden GPF, dvs. i praksis biler med Port Indsprøjtning, da disse har været undtaget fra PN-kravet ved typegodkendelsen.



Figur 11 PN-emissioner for to EURO 6 benzinbiler henholdsvis med og uden GPF (Teknologisk Institut)



5. Økonomi

PN-målere på markedet kan anvendes som stand-alone enheder eller integreres i eksisterende softwarepakker, hvis man anvender samme leverandør. Nogle PN-målere kan tillige, via Bluetooth, integreres i 3. parts softwaresystemer. Af tidsmæssige hensyn bør apparatet integreres i det eksisterende system, så synsprocessen overvejende kan foregå automatisk. Vælger man en integrerbar løsning, fx hos sin sædvanlige udstyrsleverandør, vil der ikke være nævneværdige installations- eller oplæringsomkostninger forbundet hermed.

MAHA, BOSCH og TEXA er de mest anvendte leverandører i Danmark, mens der på det internationale marked findes en del flere.

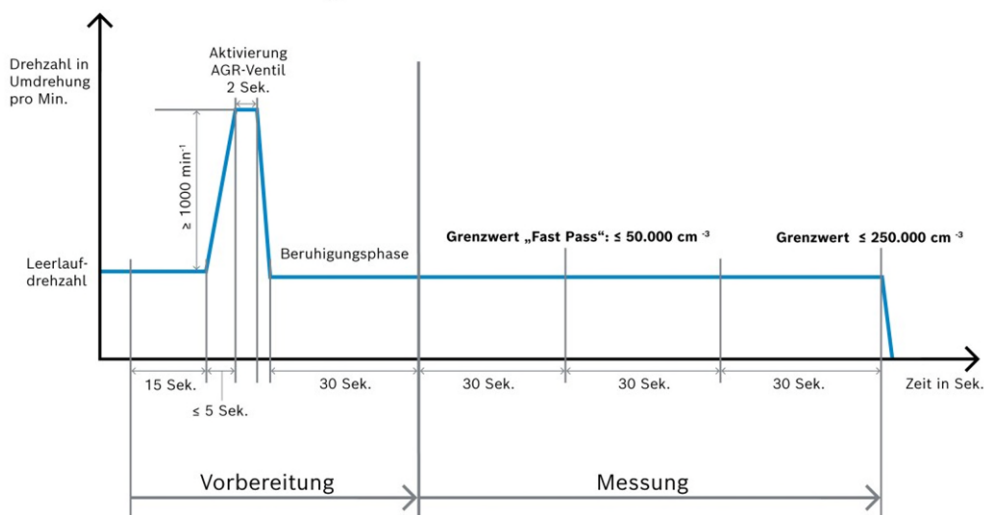
Apparaterne kan i de fleste tilfælde bestilles nu, og forventes leveret inden udgangen af 2022. Leverandørerne påpeger dog, at der kan forekomme flaskehalse grundet de for tiden udbredte problemer med levering af elektroniske komponenter (mikrochips). Prisen for et PN-apparat er mellem 5.400 EURO for billigste variant (WOW! WPA) og op til 8.900 EURO for Bosch BEA 090. Levetiden sættes konservativt til 2 år ved intens daglig brug.

PTI-PN målere skal kalibreres en gang årligt af en eksternt akkrediteret laboratorium. Hertil kræves en kalibrator til PN-målere, som koster ca. 20.000 EURO (Sensors Europe), hvilket skal finansieres af kalibreringslaboratoriet. Det vil betyde en årlig kalibreringsudgift for synshallen, som er noget højere end den årlige kalibrering af opacimat, som p.t. koster 507,- kr. hos Teknologisk Institut. Et bud på årlig kalibrering af PN-måler vil derfor ligge på 2.500 kr.

Tidsforbruget til PN-måling er ikke større end ved opacitetsmåling. Hvis bilen har et effektivt partikel-filter, vil PN-koncentrationen straks placere sig under $5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$, hvorved bilen kan godkendes med det samme. Dette tager ca. 1½ minut. Er værdien ikke under $5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$, foretages yderligere 1 minuts målinger, hvor værdien ikke må overskride $2,5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$ eller anden gældende grænseværdi. Hele processen ses i Figur 12.



Ablauf Partikelanzahl-Messung



Figur 12 Tidsforbrug til PN-maling adskiller sig ikke fra tidsforbruget til opacitetsmåling (ca. 2½ minut).

Et samlet overslag over merudgiften til PN-måling ved syn er vist i Tabel 5.

Tabel 5 Overslag over merudgifter til bilsyn med PN-måling

	Omkostning pr. år	Omkostning pr. syn (1200/år)
Indkøb af apparat	67.000 kr. / 2 år	28 kr.
Installation af apparat	Begrænset udgift	-
Oplæring af personale	Begrænset udgift	-
Kalibrering og service	2.500 kr. pr. år	2 kr.
Tidsforbrug	Begrænset udgift, da målingen erstatter røggasmåling	-
I alt	Ca. 36.000 kr. pr år	Ca. 30 kr. pr. syn

I Holland vurderes meromkostningen at være 25-215 DKK pr. syn.



6. Miljøeffekt

Defekte partikelfiltre øger partikeludledningen fra den enkelte bil med op til en faktor 150. Antallet af defekte biler er derfor vigtigt at kunne estimere.

Ved Miljøsyn af 3.656 busser gennemført i perioden 2002-2015 har Teknologisk Institut konstateret at 25% af de testede busser havde for høj opacitet og at 5,5% havde så høj opacitet, at partikelfilteret måtte anses for uvirksomt, på trods af at alle busser havde bestået almindeligt periodesyn. Tallet er højt, fordi der primært er tale om ældre busser med eftermonteret partikelfilter. Andre undersøgelser har vist at tallet formentligt ligger mellem 2-6 %.

En nyligt udkommet svensk rapport (ref. 7) estimeres forekomsten af partikelfiltre, der enten er manipulerede eller defekte. Forekomsten estimeres at være på 2-10% for nyere biler og helt op til 20% for ældre biler. Defekte partikelfiltre vurderes at øge den totale partikeludledning med 37 - 156%.

Tabel 6. Svensk undersøgelse (ref. 7) estimerer at 2-10% af EURO 6 dieselmotorer har defekt eller manipuleret DPF, mens det gælder 5-20% af EURO 3-5-dieselmotorerne.

Euroklasse	Andel af lette dieselmotorer med manipuleret eller defekt partikelfilter i %	
	"Værste fald"-scenarie	"Bedste fald"-scenarie
Euro 3-5	20	5
Euro 6	10	2

Øvrige landes erfaringer vises i tabellen herunder.

Tabel 7 Oversigt over miljøkonsekvenser

Land	Holland	Belgien	Tyskland	Schweiz	Sverige
Resultater	6% af køretøjerne havde for høj emission. PN #/cm ³ målt i tomgang er proportionalt med PN #/km i NEDC.	15% af køretøjerne havde over 2,5x10 ⁵ #/cm ³	Hver 5. lastbil er defekt.	6-8% vurderes at have fejl på DPF.	Målt: 1,7x10 ⁵ – 6,9x10 ⁶ #/cm ³ Defekte partikelfiltre vurderes at øge den totale partikeludledning med 37 - 156%.

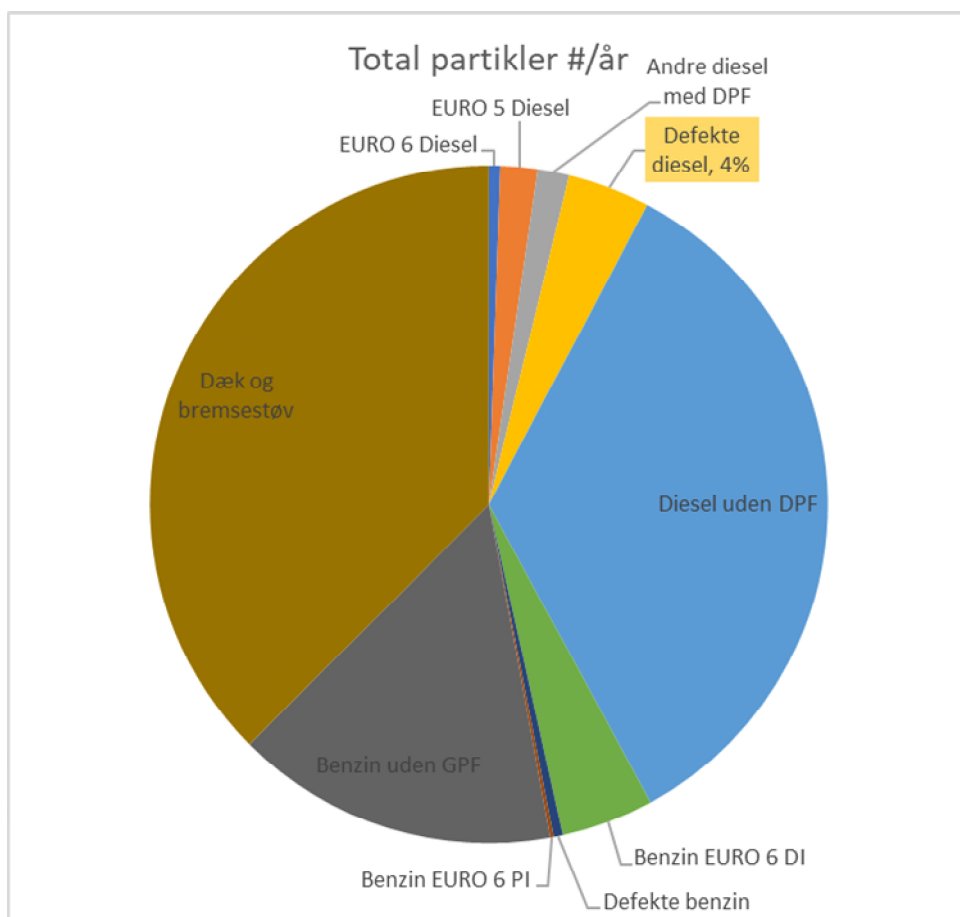
I nærværende undersøgelse har det været et ønske, at vurderingen af miljøeffekten også tager hensyn til partikelemissionen fra dæk og bremses idet disse emissioner (non-exhaust emissioner) kan være



signifikante i forhold til udstødningspartikelindhold. Det er svært at finde pålidelige data for non-exhaust PN. Dog har vi fundet følgende:

- Bremser alene: 4×10^9 #/km (ref. 9)
- Dæk alene: $14,5 \times 10^{11}$ #/km (ref. 10)
- Kørsel i alt: 5×10^{10} km/år (ref. 11)
- Udstødningspartikler i alt: $1,2 \times 10^{23}$ #/år (ref. 11)
- Defekter i EURO 6 diesel: 2% (skønnet)
- Defekter i EURO 5 diesel: 4% (skønnet)
- Defekter i øvrige diesel: 6% (skønnet)

Med afsæt i disse forudsætninger har vi udført vores samlede vurdering af miljøkonsekvenserne som er vist i Figur 13.



Figur 13 Miljøkonsekvens af defekte partikelfiltre

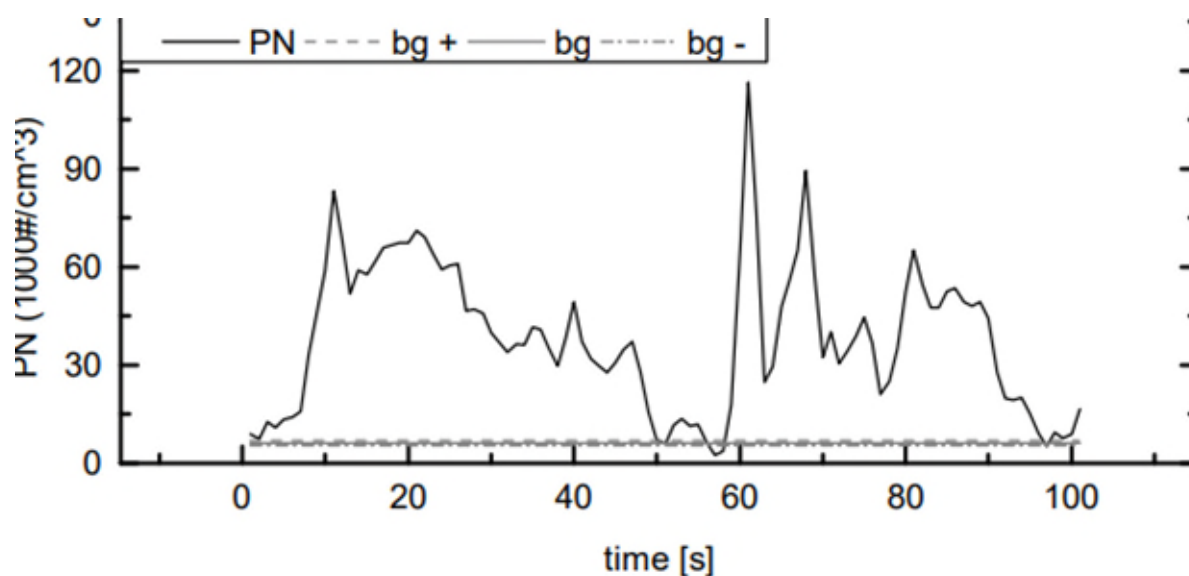
Opgørelsen viser at defekte dieseldrøjetøjer udgør **4% af den samlede PN-udledning** fra trafikken.



7. Håndhævelse

Universitetet i Heidelberg og firmaet Airyx (ref. 7) har ved tidligere lejligheder vist, at man ved hjælp af Plume Chasing (at montere såkaldt sniffer på en følgebil) kan udpege køretøjer med særligt høj NO_x-emission. Dansk politi og Færdselsstyrelsen udfører også plume chasing med NO_x-måleudstyr.

Noget tilsvarende er muligt med PN-emission, hvilket bl.a. er vist af EU's Joint Research Center, JRC (Figur 14).



Figur 14 Plume chasing PN-målinger udført af JRC (ref. 6)

Som det fremgår, er PN-niveauerne lette at skelne fra baggrunden hvis man anvender et apparat med måleområde op til ca. 120.000 #/cm³. Sådanne apparater findes på markedet (bl.a. TSI P-Trak). I Sverige har man anvendt kontrolapparatet Opus/3DATX parSYNC® iPEMS.

Teknologisk Institut har målt PN-værdier op til 500.000 #/cm³ ved kørsel bag ved forskellige køretøjer (marts 2019) med en TSI P-trak, hvilket klart viser, at den forankørende bil mangler partikelfilter. Gennemsnittet på en tur gennem Århus den pågældende dag var ca. 12.000 #/cm³.

Teknologisk Institut har endvidere i oktober 2019 udført målinger af partikler fra lastbiler i to danske havne. Den målte partikeludledning blev målt på afstand og var meget forskellig for de enkelte lastbiler. Nogle lastbiler gav stort set intet udslag, mens andre gav udslag på op til 300.000 #/cm³. Det kan evt. skyldes defekt eller intet partikelfilter, men køretøjerne blev ikke undersøgt nærmere.



8. Konklusion og anbefaling

Anvendelse af partikelantalsmåling ved syn, betegnet **PTI-PN** (Periodic Technical Inspection – Particle Number), er allerede indført i Belgien og vil snarest blive indført i Schweiz, Tyskland og Holland.

PTI-PN er en nødvendig og logisk opgradering af måleudstyret i synshallerne for at kunne afgøre, om moderne dieselmotorer har et velfungerende partikelfilter eller ej. Dette er nødvendigt for at sikre, at bilerne i Danmark lever op til gældende miljøstandarder.

Apparaterne til måling af PTI-PN er på markedet og kan leveres i 2022 til priser fra 40.000 – 70.000 kr. Apparaterne kan umiddelbart integreres i det eksisterende udstyr i synshallen. Apparaterne er godkendt af anerkendte europæiske institutter. Der er ingen større hindringer i form af betjening og vedligeholdelse, kalibrering el.lign. Tidsforbruget til PTI-PN er ikke større end det nuværende tidsforbrug til røggastest af dieselmotorer.

Køretøjer kan testes i tomgang med kold eller varm motor. Som grænseværdi efter en kort opvarmning (ca. 60 sekunder, hvis ikke motoren er varm i forvejen) anbefaler vi:

EURO 6 køretøjer:	$2,5 \times 10^5$ #/cm³.
Øvrige køretøjer med lukket partikelfilter:	$1,0 \times 10^6$ #/cm³.
Køretøjer med åbent partikelfilter:	ingen grænse.

For at afkorte tidsforbruget i synshallen kan der med fordel anvendes fast-fail og fast-pass kriterier:

Fast-pass kriterie med kold motor:	$1,0 \times 10^5$ #/cm³.
Fast-fail kriterie med varm motor:	$2,0 \times 10^6$ #/cm³.

Det vurderes, at tunge dieselmotorer kan testes på lige fod med lette dieselmotorer. Det frarådes dog at teste benzinbiler, da apparatleverandørerne, grundet det forhøjede fugtindhold i røggassen, fraråder dette.

Vi konkluderer desuden, at utilsigtet høje partikelantal kan detekteres på afstand af køretøjet, ved såkaldt plume-chasing, og at dette derfor er en mulig screeningsmetode.



Litteraturliste (ref.)

1. Lars K. Gram og Karsten Fuglsang. Målemetoder til kontrol af eftermonterede partikelfiltre på tunge køretøjer. Miljøprojekt nr. 1396 af 2011
2. Markus Bainschab, Mario A. Schriefl, Alexander Bergmann, Particle number measurements within periodic technical inspections: A first quantitative assessment of the influence of size distributions and the fleet emission reduction, Atmospheric Environment: X, Volume 8, 2020, 100095, ISSN 2590-1621, <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2020.100095>.
3. Petrovic, Velimir. (2008). Particulate matters from diesel engine exhaust emission. Thermal Science 12(2): 183-198. DOI: 10.2298/TSCI0802183P
4. Particles Matter – getting a grip on Diesel Particulate Filters with an effective particle number test, Gerrit Kadjik, Emission Training Services, August 2021.
5. Melas, A.; Selleri, T.; Suarez-Bertoa, R.; Giechaskiel, B. Evaluation of Measurement Procedures for Solid Particle Number (SPN) Measurements during the Periodic Technical Inspection (PTI) of Vehicles. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 7602. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137602>
6. Ježek, Irena & Drinovec, Luka & Ferrero, Luca & Carriero, Massimo & Močnik, Griša. (2015). Determination of car on-road black carbon and particle number emission factors and comparison between mobile and stationary measurements. Atmospheric Measurement Techniques. 8. 43-55. 10.5194/amt-8-43-2015.
7. Åtgärder mot manipulering av viss fordonsutrustning, Transportstyrelsen, Juni 2022
8. François Boveroux, Séverine Cassiers, Philippe De Meyer, Pascal Buekenhoudt, Benjamin Bergmans, François Idczak, Hervé Jeanmart, Sebastian Verhelst, Francesco Contino, Impact of Mileage on Particle Number Emission Factors for EURO5 and EURO6 Diesel Passenger Cars, Atmospheric Environment, Volume 244, 2021, 117975, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117975>.
9. Brake wear particle emissions of a passenger car measured on a chassis dynamometer Marcel Mathissen¹, Ferdinand Farwick zum Hagen¹, Rainer Vogt¹, Theodoros Grigoratos², Tero Lahde² ¹Ford Research & Advanced Engineering, Europe ²European Commission, Joint Research Centre
10. Emissions Analytics 10. maj 2022 "Gaining Traction Losing Tread" <https://www.emissionsanalytics.com/news/gaining-traction-losing-tread>
11. Morten Winther, DCE 2022, overslag over trafikemissioner (ikke offentliggjorte tal)



TEKNOLOGISK
INSTITUT