

Geluidemissie van langzaam rijdende vrachtwagens

Een update na 10 jaar

Voor talloze bedrijven is het rijden van vrachtverkeer binnen de inrichting een belangrijke geluidbron. In akoestische onderzoeken blijkt grote variatie op te treden van de gehanteerde geluidemissie van langzaam rijdend verkeer op het bedrijfsterrein. In het verleden (1999 en 2008) is door bureau Peutz de geluidemissie van vrachtverkeer in de praktijk onderzocht middels vele geluidmetingen. Op basis van deze onderzoeken zijn kentallen afgeleid die landelijk breed worden toegepast. Nu er weer tien jaar is verstreken, is het tijd voor een update.

Door: Wim van der Maarl en Eugène de Beer

Over de auteurs:

Wim van der Maarl en Eugène de Beer zijn beiden werkzaam bij Peutz bv te Zoetermeer, afdeling industrie.

INLEIDING

Sinds voornoemde onderzoeken in 1999 en 2008 is het wagenpark grotendeels vervangen door nieuwe vrachtwagens. De motortechniek is verder ontwikkeld doordat de Europese emissie-eisen ter bevordering van de luchtkwaliteit aanzienlijk zijn aangescherpt middels de Euro 6 eisen¹. Daarnaast zijn er alternatieve aandrijftechnieken in opkomst die ook voor de geluidemissie van (groot) belang kunnen zijn, zoals hybride vrachtwagens, elektrisch aangedreven en LNG voertuigen. Bij het ontwikkelen van nieuwe vrachtwagens worden er geluidmetingen uitgevoerd ten behoeve van de toelating van deze voertuigen op de openbare weg. Deze geluidmetingen hebben echter betrekking op hogere rijsnelheden (≥ 50 km/u) en onder geconditioneerde (laboratorium)omstandigheden. Maar wat betekenen de ontwikkelingen voor de geluidemissie van vrachtwagens bij lage rijsnelheden in de praktijk?

Uitgaande van de onderzoeksmethodiek die is toegepast in 1999 en 2008, is de geluidemissie van vrachtwagens opnieuw door Peutz met uitgebreide metingen vastgesteld. In dit artikel worden de nieuwe resultaten gegeven en wordt de geluidemissie van de verschillende aandrijftechnieken met elkaar vergeleken.

ONTWIKKELINGEN IN DE MARKT

De transportsector is volop in beweging. Nieuwe logistieke concepten, maar ook veranderingen in de voertuigen zelf en met name in hun aandrijfsystemen zijn geïntroduceerd. De ontwikkelingen worden gedreven door verbeteringen qua duurzaamheid en luchtkwaliteit, maar hebben ook hun invloed op de geluidemissie. Op dit moment bestaat het wagenpark voornamelijk uit vrachtwagens die worden aangedreven door een turbodiesel motor. De

laatste 10 jaar zijn de toelatingseisen voor voertuigen aanzienlijk aangescherpt, van Euro4 motoren naar Euro5 en Euro6 waarbij de uitstoot-eisen voor NO_x met circa 80% en voor PM₁₀ met 50% zijn gereduceerd¹. Deze emissie-eisen hebben geleid tot technologische ontwikkelingen in de beheersing van het verbrandingsproces in de motor en de nabehandeling van uitlaatgassen. Verdere aanscherping van luchtkwaliteitseisen lijken problematisch voor toepassing van dieselmotoren. Te verwachten is dat een toekomstige Euro7 emissie-standaard ook de CO₂ uitstoot zal limiteren. Hiervoor zijn alternatieve aandrijftechnieken (op basis van lagere CO₂-uitstoot (of hogere energie-efficiëntie. Alternatieve systemen zoals verbrandingsmotoren met aardgas (CNG of LNG), dieselhybride en elektrisch aandrijving (met batterij of waterstof) zijn en worden verder ontwikkeld.

ONDERZOEKSMETHODIEK

Het onderzoek omvat twee delen:

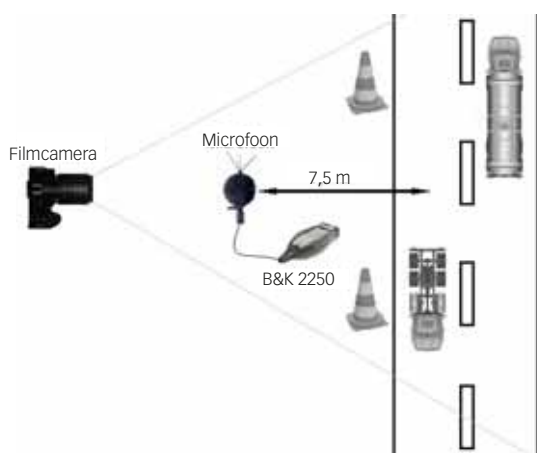
- 1) Actualisatie van de geluidemissie-kentallen van het wagenpark anno 2018 (dieselvrachtwagens);
- 2) Inventarisatie van geluidemissies van alternatieve aandrijftechnieken.

Om de geluidemissie van het huidige wagenpark in de praktijk vast te stellen is een groot aantal geluidmetingen verricht bij distributiecentra, fabrieken en overige bedrijfsterreinen. De gemiddelde geluidemissie is vervolgens met een statistische analyse bepaald. Deze bepalingmethode sluit beter aan bij de daadwerkelijke geluidemissie in de praktijk dan een geregisseerde geluidmeting conform ISO 362:1998². Daarnaast zijn de versnelingen en snelheden die ISO 362 voorschrijft niet representatief voor het rijden op bedrijfsterreinen. Om de geluidvermogens van vrachtwagens onder representatieve bedrijfsomstandigheden te bepalen, is een werkwijze gehanteerd die aansluit bij de 'Handleiding meten en rekenen industrielawaai'³. De Handleiding beschrijft de zogenaamde geconcentreerde bronmethode die geschikt is voor bronnen indien de meetafstand ten

minste 1,5 keer groter is dan de grootste afmeting van de bron. Aldus is een meetprotocol gehanteerd dat rekening houdt met zowel de ISO-methode als de geconcentreerde bronmethode II.2. Aangenomen wordt dat de geluidproductie van de oplegger of aanhangwagen bij geringe snelheid relatief laag is en daardoor irrelevant is in vergelijking met de geluidemissie van de trekker. De grootste afmeting van de bron (trekker) is circa 10 m, hetgeen zou leiden tot een gewenste meetafstand van 15 m. Uit het onderzoek in 1999⁴ blijkt echter dat het geluidvermogen vastgesteld op basis van 15 m afstand of 7,5 m onderling nauwelijks verschillen. Daarom is in het onderzoek van 2018 uitgegaan van één microfoon op een afstand van 7,5 m.

Meetposities zijn zo gekozen dat geen relevante geluidreflecties door gebouwen optreedt.

Van iedere gehele voertuigpassage is een audio en video-opname gemaakt om deze achteraf te kunnen analyseren, en daaruit ook de gemiddelde snelheid van de passerende vrachtwagen te kunnen afleiden (zie figuur 1).



FIGUUR 1: SCHEMATISCHE WEERGAVE ONDERZOEKSMETHODIEK

De afstand (R) tussen de geluidmeter en het hart van de rijlijn wordt gebruikt voor het berekenen van de geluidvermogens (L_{WR}). Tijdens de metingen is geregistreerd of de vrachtwagen precies over het hart van de gemarkeerde rijlijn reed of dat er een (beperkte) afwijking in de meetafstand optrad. Deze afstandbepaling is vervolgens gebruikt voor een eventuele correctie bij een afwijkende afstand. Het geluidvermogen is bepaald op basis van de hoogst optredende $L_{eq,1s}$, waarbij het verschil tussen $L_{eq,1s}$ en L_{max} erbij is opgeteld. Aldus is het geluidvermogen als volgt berekend:

$$L_{WR} = L_{eq,1s} + (L_{max} - L_{eq,1s}) + 20 \cdot \log R + 11 - D_{bodem}$$

$L_{eq,1s}$ betreft het hoogst gemeten equivalente geluidniveau gedurende 1 s per passage in dB(A).

D_{bodem} is als hard beschouwd. Bij afwijkende bodemomstandigheden zijn de spectrale factoren voor D_{bodem} met een akoestisch rekenmodel berekend.

Voor het geluidvermogen per octaafband is uitgegaan van het spectrum op basis van 1 s vermeerderd met het verschil tussen L_{max} en $L_{eq,1s}$ in dB(A)

De volgende parameters zijn tijdens de metingen per passage geregistreerd, mede op basis van kentekengegevens:

- fabrikant;
- type vrachtwagen en soort aanhangwagen (bakwagen, oplegger, zeil);
- Euroklasse;
- aandrijfvermogen;
- massa leeg voertuig (trekker);
- beladingsgraad (geladen of niet geladen);
- rijsnelheid;

- soort wegdek;
- rijomstandigheden;
- aanwezigheid van een in bedrijf zijnde koelunit;
- manoeuvreren;
- wel of niet stationair draaiende motor.

RESULTATEN WAGENPARK 2018

Aan circa 500 dieselvrachtwagens zijn in 2018 geluidmetingen verricht met rijsnelheden variërend van 10 tot en met 35 km/h onder representatieve praktijkomstandigheden. De tabellen geven een samenvatting van de resultaten van de metingen en berekeningen, inclusief standaardafwijking (s) en 95% betrouwbaarheidsinterval (ϵ). De metingen in 2018 zijn verricht aan vrijwel uitsluitend vrachtwagens uitgerust met Euro5 en Euro6 motor.

In tabel 1 zijn vastgestelde immisseriesrelevante bronsterktes (L_{WR} in dB(A)) van alle metingen vermeld, dus van zowel optrekkende vrachtwagens als vrachtwagens rijdend met een constante snelheid. In tabel 2 zijn de immisseriesrelevante bronsterktes gegeven voor dezelfde dieselvrachtwagens, echter uitsluitend met rustig rijgedrag. De geluidemissies vermeld in tabel 1 en 2 hebben beide betrekking op wagenpark 2018. In tabel 3 zijn de relatieve spectra gegeven behorende bij de resultaten uit tabel 1.

TABEL 1: A-GEWOGEN GELUIDVERMOGENS VAN DIESELVRACHTWAGENS (TOTAAL)

Rijsnelheid in km/u	Aantal metingen	$L_{WR,eq}^*$ in dB(A)	s in dB(A)	ϵ in dB(A)	L_{WR}^{**} in dB(A)	s in dB(A)	ϵ in dB(A)
stationair	14	95,1	2,2	1,8	95,6	2,3	1,9
10	11	99,6	2,9	2,6	100,3	2,7	2,4
15	24	98,3	3,0	1,8	98,9	3,3	2,0
20	65	99,0	3,5	1,3	99,8	3,8	1,4
25	68	100,6	2,6	0,9	101,4	2,5	0,9
30	42	102,2	3,1	1,5	103,0	3,3	1,5
35	12	101,6	2,4	2,0	102,4	2,6	2,3

* Op basis van $L_{eq,1s}$

** Op basis van $L_{eq,1s} + (L_{max} - L_{eq,1s})$

TABEL 2: A-GEWOGEN GELUIDVERMOGENS VAN DIESELVRACHTWAGENS (RUSTIG RIJGEDRAG)

Rijsnelheid in km/u	Aantal metingen	$L_{WR,eq}^*$ in dB(A)	s in dB(A)	ϵ in dB(A)	L_{WR}^{**} in dB(A)	s in dB(A)	ϵ in dB(A)
10	8	98,9	3,0	3,2	99,6	2,7	2,9
15	20	98,4	2,7	1,8	99,1	2,9	2,0
20	51	98,8	3,6	1,5	99,7	3,9	1,6
25	54	100,2	2,5	1,0	101,1	2,5	1,0
30	35	101,7	2,9	1,5	102,6	3,1	1,6
35	12	101,6	2,4	2,0	102,4	2,6	2,3

* Op basis van $L_{eq,1s}$

** Op basis van $L_{eq,1s} + (L_{max} - L_{eq,1s})$

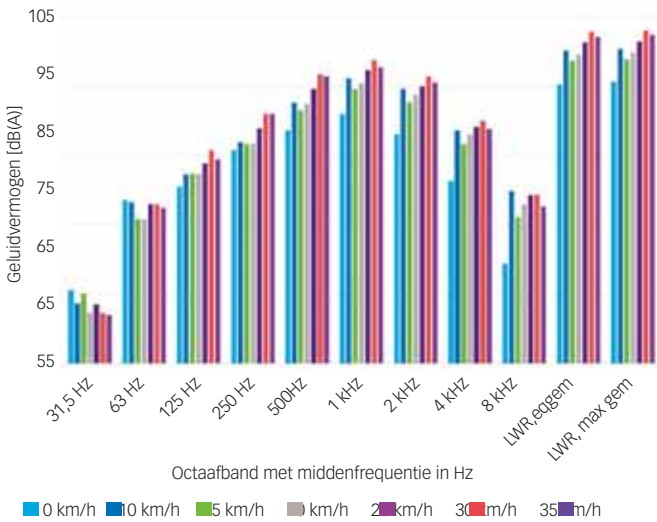
TABEL 3: RELATIEVE SPECTRA [DB] OP BASIS VAN HET GEMIDDELDE A-GEWOGEN GELUIDVERMOGEN EN DE A-GEWOGEN GELUIDVERMOGENS PER OCTAAFBAND (ZWARE DIESELVRACHTWAGENS)

Rijsnelheid in km/u	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
stationair	-29,7	-16,7	-14,7	-9,5	-6,6	-4,3	-7,2	-13,9	-25,9
10	-36,5	-21,9	-17,9	-13,2	-7,5	-4,0	-5,5	-11,5	-20,3
15	-33,6	-22,9	-16,3	-12,1	-7,2	-4,1	-6,0	-12,1	-22,6
20	-37,2	-23,8	-17,2	-12,8	-7,1	-4,1	-5,8	-11,5	-21,6
25	-37,7	-23,3	-17,4	-12,3	-6,6	-3,9	-6,3	-12,1	-22,0
30	-40,6	-24,9	-17,1	-11,8	-6,1	-4,1	-6,4	-12,8	-23,5
35	-40,2	-24,7	-17,7	-11,1	-5,7	-4,4	-6,6	-13,3	-24,5



FIGUUR 2: BEDRIJFSTERREIN MET MEETOPSTELLING

In figuur 3 zijn de spectrale (A-gewogen) geluidvermogens van de verschillende rijsnelheden weergegeven.



FIGUUR 3: GEMIDDELDE EQUIVALENTE GELUIDSPECTRA VAN VRACHTWAGENS (TOTAAL, WAGENPARK 2018), A-GEWOGEN

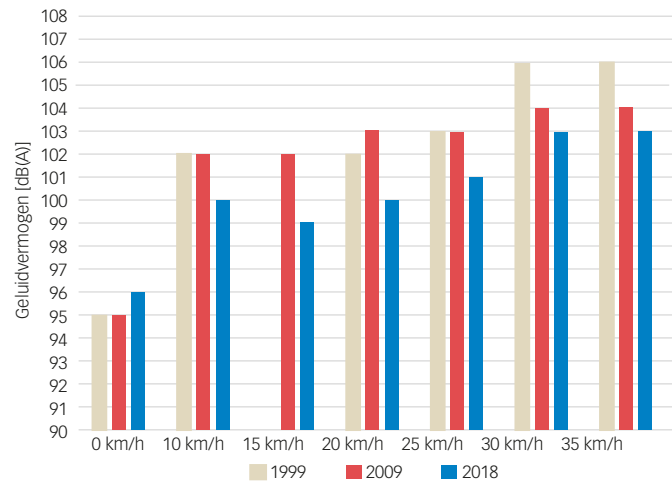
BESPREKING RESULTATEN EN VERGELIJKING DIESEL-VRACHTWAGENS MET 1999, 2009 EN 2018

In tabel 4 is het geluidvermogen en de standaardafwijking als functie van de rijsnelheid gegeven uit de onderzoeken in 1999⁵, 2009 en 2018. In figuur 4 is het geluidvermogen uit de drie onderzoeken als functie van de rijsnelheid grafisch weergegeven.

TABEL 4: VERGELIJKING GELUIDVERMOGENS DIESELVRACHTWAGENS ONDERZOEKEN 1999, 2009 EN 2018

Rijsnelheid in km/u	1999		2009		2018	
	in dB(A)	s in dB(A)	in dB(A)	s in dB(A)	in dB(A)	s in dB(A)
0 (stationair)	95	4	95	4	96	2
10	102	4	102	2	100	3
15	-	-	102	3	99	3
20	102	5	103	2	100	3
25	103	3	103	3	101	3
30	106	3	104	3	103	3
35	106	3	104	2	103	2

Uit tabel 4 en figuur 4 blijkt dat de geluidvermogens in 2018 gemiddeld 2 dB lager zijn dan de geluidvermogens vastgesteld in de onderzoeken in 1999 en 2009. Dit is opmerkelijk omdat er in 2009 geen wezenlijke afname is vastgesteld van de geluidvermo-



FIGUUR 4: VERGELIJKING GELUIDVERMOGENS UIT DE ONDERZOEKEN IN 1999, 2009 EN 2018 ALS FUNCTIE VAN DE RIJSNELHEID

gens ten opzichte van 1999. Bij de beschouwde rijsnelheden is de geluidemissie van de verbrandingsmotor dominant en het geluid van banden (tot circa 30 km/h) verwaarloosbaar.

Reductie van de geluidemissie van de vrachtwagens bij deze rijsnelheden wordt dus veroorzaakt door een lagere geluidemissie van de verbrandingsmotor.

Uit analyse van de overige geregistreerde gegevens blijkt dat er geen relevante wijzigingen zijn opgetreden in rijgedrag of andere situationele factoren. Naar verwachting wordt de reductie van het geluidvermogen daarom met name veroorzaakt door ontwikkelingen in de motortechniek. Maatgevende wijzigingen tussen 2009 en 2018 zijn ontwikkelingen in het verbrandingsproces om de emissies van schadelijke stoffen te minimaliseren zoals meerdere inspuitingen per arbeidsslag. Dit heeft invloed op onder andere de druktoename in de cilinders en levert een meer gecontroleerd verbrandingsproces op. Gezien de aard van deze technieken ligt het in de rede dat dit ook tot een gereduceerde geluidemissie leidt.

RESULTATEN ALTERNATIEVE AANDRIJFTECHNIKEN

Tevens is onderzocht wat de geluidemissie in de praktijk is van vrachtwagens voorzien van alternatieve aandrijftechnieken.

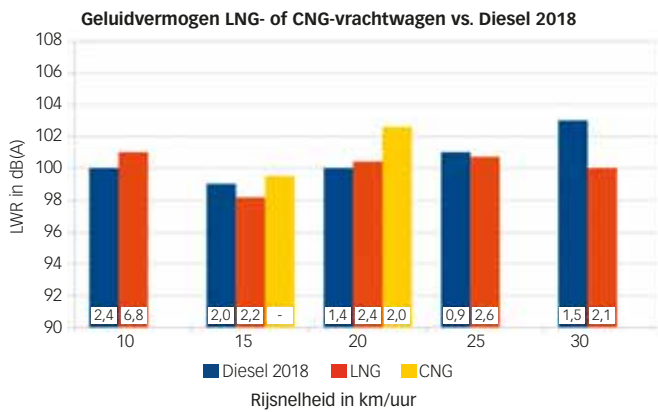
Gezien het aantal vrachtwagens dat thans in gebruik is, is het aantal metingen beduidend lager dan aan dieselvechtrachtwagens. Van vrachtwagens met de volgende aandrijftechnieken is de geluidemissie onderzocht:

- CNG (Compressed Natural Gas);
- LNG (Liquified Natural Gas);
- Volledig elektrisch aangedreven (met batterij).

Aan diesel-hybride of waterstof aangedreven vrachtwagens hebben (nog) geen praktijk-geluidmetingen plaatsgevonden.

In figuur 5 zijn de in de praktijk gemeten geluidemissies vergeleken met de geluidemissies van dieselvechtrachtwagens anno 2018. De gegeven waarde in het label per rijsnelheid en voertuig heeft betrekking op het 95% betrouwbaarheidsinterval per categorie.

Uit figuur 5 blijkt dat de geluidemissie van LNG-vrachtwagens bij de bepaalde rijsnelheden vergelijkbaar is met dieselvechtrachtwagens (wagenpark 2018), en bij enkele rijsnelheden enigszins lager. Uit de metingen blijkt echter dat CNG-vrachtwagens een hogere geluidemissie hebben dan dieselvechtrachtwagens bij de beschouwde rijsnelheden. In de grafiek is tevens het betrouwbaarheidsinterval gegeven van deze metingen. Afgezien van LNG-vrachtwagens bij 10 km/uur vallen deze binnen een gebruikelijke bandbreedte. Het aantal metingen aan CNG-vrachtwagens was beperkt, in totaal 4 metingen. Een en ander heeft uiteraard invloed op de waarde die toegekend dient te worden aan de vergelijking in figuur 4.

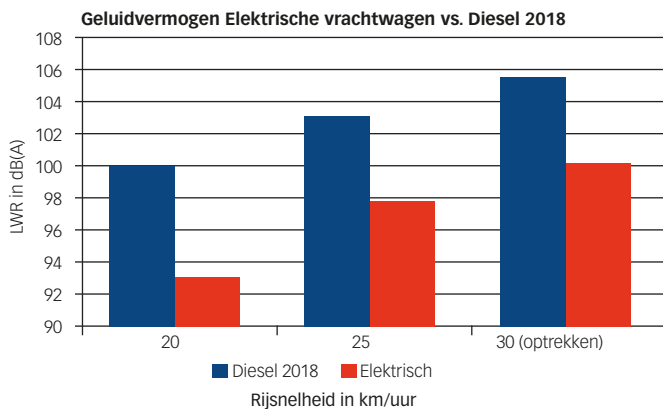


FIGUUR 5: VERGELIJKING GELUIDVERMOGEN LNG- EN CNG-VRACHTWAGENS VERSUS DIESELVRACHTWAGENS MET RIJSNELHEDEN TUSSEN 10 EN 30 KM/UR

Evenwel betreffen dit metingen die in de praktijk zijn verricht bij relatief lage rijsnelheden en geven aldus een nauwkeuriger beeld van de in de praktijk op bedrijfsterreinen optredende emissie dan fabrikantgegevens.

VERGELIJKING DIESEL VERSUS ELEKTRISCH AANGEDREVEN VRACHTWAGENS

In figuur 6 is de geluidemissie van enkele elektrisch aangedreven vrachtwagens vergeleken met de geluidemissie van dieselvrachtwagens (wagenpark 2018). Dit betrof metingen aan een elektrisch aangedreven 19 tons bakwagen. Per rijsnelheid is één meting verricht onder geregisseerde omstandigheden.



FIGUUR 6: VERGELIJKING GELUIDVERMOGEN ELEKTRISCHE VRACHTWAGEN VERSUS DIESELVRACHTWAGEN VOOR 20, 25 EN 30 KM/UR

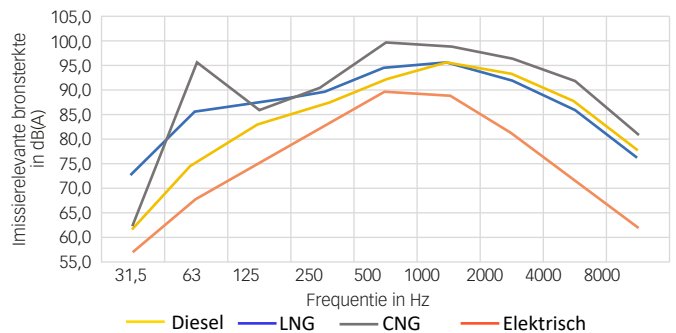
Uit figuur 6 blijkt dat de geluidemissie van een elektrische vrachtwagen circa 5 à 7 dB lager is dan een dieselvrachtwagen (anno 2018). Een vergelijkbare geluidemissie is door bureau Peutz eveneens vastgesteld in een onderzoek naar de geluidemissie van elektrische lijnbussen. In figuur 7 is een elektrisch aangedreven vrachtwagen weergegeven.



FIGUUR 7: ELEKTRISCHE VRACHTWAGEN

VERGELIJKING SPECTRA

In figuur 8 zijn de gemiddelde spectra van de verschillende aandrijftechnieken met elkaar vergeleken bij 20 km/uur.



FIGUUR 8: VERGELIJKING (A-GEWOGEN) GELUIDEMISSIE SPECTRUM BIJ 20 KM/H VOOR DIVERSE AANDRIJFTECHNIKEN

Uit figuur 8 blijkt dat elektrische vrachtwagens zowel laag- als hoogfrequent een lagere geluidemissie hebben dan de overige aandrijftechnieken. Opvallend is de relatief hoge geluidemissie van de CNG-vrachtwagen over het gehele frequentiegebied.

CONCLUSIES

Het geluidvermogen van vrachtwagens anno 2018 bij relatief lage rijsnelheden die gebruikelijk zijn op bedrijfsterreinen is gemiddeld circa 2 dB lager dan 10 en 20 jaar geleden. In dit artikel zijn onderzoeksresultaten gegeven die als nieuwe kentallen met relatieve spectra bij akoestische onderzoeken gehanteerd zouden kunnen worden.

Aanvullend is onderzocht welke invloed alternatieve aandrijftechnieken hebben op de geluidemissie van vrachtwagens bij lagere rijsnelheden. De geluidemissie van LNG-vrachtwagens blijkt min of meer gelijk aan de geluidemissie van dieselvrachtwagens anno 2018. CNG-vrachtwagens blijken juist een enigszins hogere geluidemissie te hebben dan dieselvrachtwagens anno 2018. Opgaven van fabrikanten dat LNG- of CNG-vrachtwagens tot 3 dB stiller zijn dan dieselvrachtwagens blijken vooralsnog niet uit dit onderzoek voor lagere rijsnelheden. Daarnaast blijkt ook dat LNG- en CNG-vrachtwagens een verhoogde geluidemissie hebben in het frequentiegebied tot circa 1 kHz.

Uit een beperkt aantal metingen aan elektrische vrachtwagens blijkt dat deze een beduidend lagere geluidemissie hebben dan vrachtwagens met een verbrandingsmotor. Inzet van emissieloze vrachtwagens als geluidreducerende maatregel is daarmee mogelijk geworden. Vooralsnog wordt vervanging van het wagenpark door volledig elektrisch aangedreven vrachtwagens onder andere afgeremd door de beperkte energie-inhoud van huidige accu-pakketten. Wel zijn er al toepassingen voor stadsdistributie waar emissieloze voertuigen (vanwege milieuzones maar ook geluid) de voorkeur hebben. Verwacht wordt dat deze vrachtwagens in de toekomst vaker worden ingezet, zeker als de accucapaciteit in de nabije toekomst verder toeneemt en de prijs per kilometer daalt.

LITERATUUR

- Verordening (EG) nr. 715/2007 van het Europees Parlement en de Raad van 20 juni 2007 betreffende de typegoedkeuring van motorvoertuigen met betrekking tot emissies van lichte personen- en bedrijfsvoertuigen (Euro 5 en Euro 6), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32007R0715>
- ISO 362-1:2015 'Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles -- Engineering method -- Part 1: M and N categories'
- 'Handleiding meten en rekenen industrielawaai 1999' (digitale uitgave 2004)
- 'Onderzoek naar de geluidemissie van vrachtwagens rijdend over bedrijfsterreinen; status quo 2009, Peutz-rapport RL 896-7-RA d.d. 24 juni 2009.
- 'Onderzoek naar geluidvermogenenniveaus van vrachtwagens bij lage snelheden', Peutz-rapport RA 730-1, 14 juni 1999 i.o.v. TLN, EVO en KNV (verkrijgbaar bij Peutz).