

Milieufactetten van binnenstedelijk wegverkeer: de motor uit en rustig doorrijden

Hans J.A. van Leeuwen
DGMR Adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software
Postbus 82223, 2508 EE, Den Haag
Telefoon (070) 350 39 99, www.dgmr.nl, LN@dgmr.nl

Samenvatting

Meer verkeer betekent meer hinder door geluid, trillingen, blootstelling aan luchtverontreiniging en gevaar voor de veiligheid door het vervoer van gevaarlijke stoffen. Hogere waarden voor de diverse milieufactetten in de woonomgeving resulteren in meer hinder en meer gezondheidsschade. Mensen ervaren stress, functioneren minder goed en worden ziek. Aan dit toenemend probleem moet een halt worden toegeroepen. De meest doeltreffende wijze is bronnen stiller en schoner te maken en veiligheid te waarborgen. Daar waar mogelijk moet de volumegroei worden beperkt. Verkeer, en met name stedelijk verkeer, staat op gespannen voet met verdichter bouwen en het wonen en werken in een kwalitatief hoogstaand woon-, leef-, en werkmilieu.

Inzicht in de emissiefacetten is van belang om te analyseren hoe de hinder beperkt kan worden. Dit kan soms ook door geringe en tevens logische maatregelen. De geluidsemisatie wordt geanalyseerd door de geluidsbronnen van een voertuig, band-wegdekgeluid versus motorgeluid, te beschouwen. Naast de eventuele hinder door geluidsproductie bij kruispunten en verkeerslichten is met name hierbij ook de luchtverontreiniging van belang. Wat betreft geluid is er een variatie in de geluidsemisatie van verschillende soorten asfalt, maar ook van hetzelfde asfalt op verschillende rijstroken van belang. Het Nieuwe Rijden en de hybride en elektrische personenauto's en andere voertuigen zijn in een stedelijke situatie zonder meer positief voor geluid en luchtkwaliteit.

Trefwoorden

Geluid, Luchtverontreiniging, Hinder, Gezondheidsschade, Verdichter bouwen.

1. Inleiding

Het wonen in een stedelijke omgeving is inherent aan hinder door geluid, trillingen, blootstelling aan luchtverontreiniging en gevaar voor veiligheid door het vervoer van gevaarlijke stoffen. Meer verkeer zal deze hinder alleen nog maar doen toenemen. De milieufactetten in de woonomgeving resulteren in meer hinder en meer gezondheidsschade. Mensen ervaren stress, functioneren minder goed en worden ziek. Er overlijden mensen door geluidhinder.

Aan dit toenemend probleem moet een halt worden toegeroepen. De meest doeltreffende wijze is bronnen stiller en schoner te maken en veiligheid te waarborgen. Daar waar mogelijk moet de volumegroei worden beperkt. Verkeer, en met name stedelijk verkeer, staat op gespannen voet met verdichter bouwen en het wonen en werken in een kwalitatief hoogstaand woon-, leef-, en werkmilieu.

2. Geluid en hinder in kaart brengen

De milieuaspecten van verkeer zijn omvangrijk. Zeer bekend is dat vervuilde lucht, en met name fijn stof, tot ernstige longaandoeningen zal kunnen leiden en er wordt zelfs ook gesproken over een vergrote kans op zelfmoord. Naast de luchtkwaliteit is geluid een grote bron van hinder. Geluid en zeker hoge geluidsniveaus kunnen leiden tot stress en hart- en vaatziekten. Hoge geluidsniveaus tengevolge van verkeer leiden in Nederland tot enkele honderden extra doden per jaar. In Nederland leidt blootstelling aan geluid in 2007 tot 2.300 DALY's (Disability adjusted life years – verlies aan gezonde levensjaren) per 1 miljoen inwoners. Geluid vormt hiermee, na chronische blootstelling aan fijn stof (11.200 DALY's per miljoen inwoners per jaar), de grootste milieugerelateerde gezondheidsbedreiging. Overigens komen 2.300 DALY's bij 16 miljoen Nederlanders overeen met circa 37.000 levensvatbare jaren, ofwel 37.000 Nederlanders die een jaar korter leven.



Figuur 1: voorbeelden van binnenstedelijke situatie met minder optimale milieueffecten

Buitenstedelijk zijn het natuurlijk de snelwegen die tot op kilometers afstand hinder veroorzaken. Binnenstedelijk zijn er zeer veel geluidsbronnen, die bijdragen aan een 'deken' van geluid over de stad. De geluidsproductie van een individuele auto zal beperkt zijn, maar van een groter aantal wordt eenieder minder vrolijk.

De Europese richtlijn omgevingslawaai is een project om geluid in kaart te brengen, hierover te communiceren en ook om actieplannen op te stellen ter vermindering van de hinder. Het in kaart brengen van de geluidsniveaus vindt plaats op basis van computersimulatiemodellen. Daarmee wordt op grond van verkeersgegevens per voertuigcategorie, rijnsnelheden, wegdekken en andere geografische informatie het equivalente geluidsniveau voor de dag, avond en nacht berekend. Het equivalente geluidsniveau is een voor de akoestische energie gemiddelde waarde.

Het zal duidelijk zijn, dat geluid 's nachts meer hinderlijk zal zijn dan overdag. Zeker tegen de ochtendperiode zal geluid kunnen leiden tot ontwaakreacties tijdens de slaap.

De hinderbeleving door geluid is groter bij een lichte slaap. Het is een natuurlijke reactie bij een dierlijk wezen (en dus ook bij de mens), dat er bij een geluidstoename een 'fight or flight' reactie gaat plaatsvinden. Er dreigt gevaar en er moet instinctief besloten worden wat de reactie zal zijn.



Figuur 2: voorbeeld van een (deel van een) geluidsbelastingskaart, waarin het geluid ten gevolge van het wegverkeer in kaart is gebracht

Wat betreft de modellen, die benodigd zijn voor de berekening van de geluidsniveaus, dient opgemerkt te worden, dat daarin nauwelijks tot geen correcties worden toegepast bij afremmend en optrekkend verkeer. Nabij kruisingen worden vrijwel dezelfde geluidsniveaus berekend als langs een weg waar continue doorgereden wordt. Bij de validatie van dergelijke geluidsberekeningen blijkt, dat deze computermodellen redelijk goed de correcte waarde prognosticeren. Het geluidsniveau bij een kruispunt wordt 1 tot 2 dB(A) onderschat, wat akoestisch gezien een beperkte afwijking is.

Een belangrijk aspect is, dat de door de gemiddelde mens beleefde geluidhinder groter is bij afremmend en optrekkend verkeer. In vergelijking met continue rijdend verkeer met vrijwel gelijke geluidsniveaus wordt de geluidhinder bij kruispunten als veel hinderlijker ervaren. Dit wordt veroorzaakt door de *mechanical elements* door *movements and actions*. Die werken meer verstorend dan bij *tranquil*, continue voorbijrijdend verkeer. Ook hier is sprake van een natuurlijke reactie van een dierlijk wezen (en dus ook de mens). Er dreigt gevaar en er moet instinctief besloten worden wat de reactie zal zijn.

3. Geluidsbronnen van wegvoertuigen

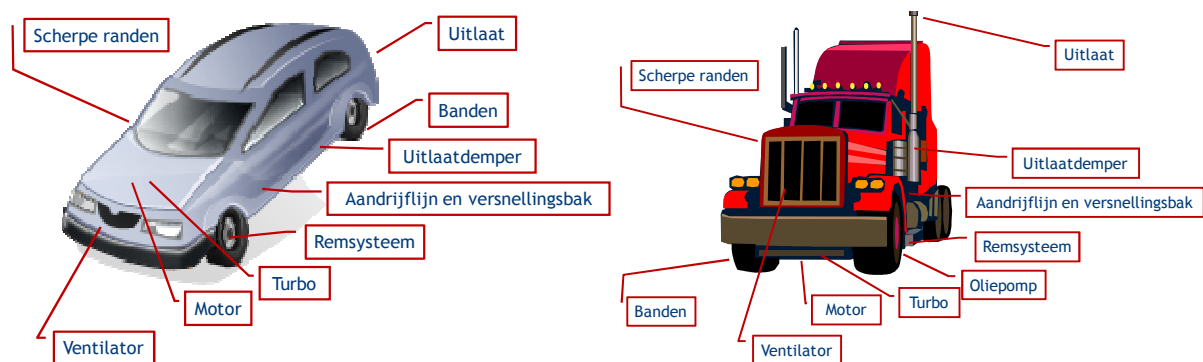
Over het algemeen wordt aangenomen, dat een auto geluid produceert door de aanwezigheid van een motor. Een stilstaand voertuig maakt ook geluid, maar het maakt altijd meer geluid tijdens het rijden. Dit wordt ook zo ervaren als je in een auto zit. Oudere auto's, zoals een Volkswagen Kever of een Citroën 2CV (Deux Chevaux) worden herkend aan het motorgeluid. De mate waarin een voertuig geluid maakt, hangt af van een aantal factoren. Een fiets brengt tijdens het rijden weinig geluid voort, maar een exemplaar met grovere banden (mountainbike) hoor je wel degelijk. Een raceauto maakt voornamelijk veel geluid door de motor.

Voor normaal verkeer worden voertuigen beschouwd, die relevant zijn voor normaal verkeersgeluid. Het gaat dan om personen- en vrachtauto's, bussen, motoren, bromfietsen en trams/lightrailvoertuigen.

In de praktijk worden veelal alleen personen- en vrachtauto's en bussen beschouwd, naast een separate analyse van trams, of lightrailvoertuigen.

Auto's, zowel vrachtauto's (bussen) als personenauto's, hebben gemeenschappelijke geluidsbronnen, doch de plaats van de bronnen en ook de sterkte ervan verschillen. Die bronnen zijn motor, uitlaat, banden op het wegdek, ventilator, versnellingsbak en soms de radiospeakers in de auto. Deze laatste bron blijft voor de bepaling van het verkeerslawaai buiten beschouwing.

De locatie van de bronnen voor personen- en vrachtauto's is weergegeven in onderstaande figuur. Voor het uiteindelijk emissieniveau zijn ze niet allemaal even belangrijk, maar ze dragen wel bij aan het totale emissieniveau.



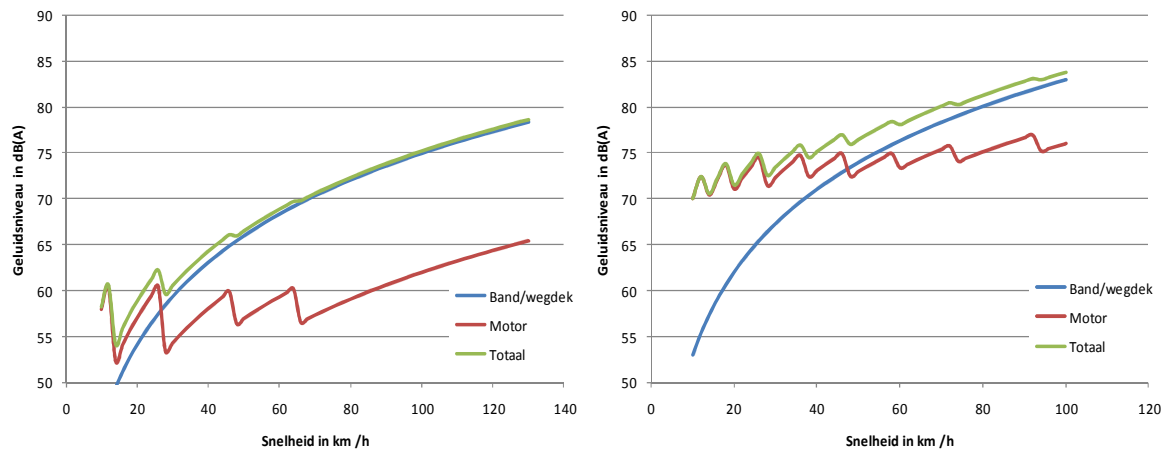
Figuur 3: De geluidsbronnen van een motorvoertuig

De belangrijkste geluidsbijdragen voor motorvoertuigen worden geleverd door motor, uitlaat en banden. Al deze bronnen zijn afhankelijk van de rijnsnelheid en/of het motortoerental. Voor motoren, bromfietsen en scooters zijn er overeenkomstige geluidsbronnen, zoals motor, uitlaat en ook het geluid van de banden op het wegdek. Tenslotte de trams/lightrailvoertuigen met als dominerende geluidsbron: de stalen wielen op de rails evenals het gepiep van de wielen in bogen en het stootgeluid op wissels.

Bij het maken van berekeningen is er een wettelijke Nederlands rekenmethode vastgesteld. Hiernaast is er een Europese rekenmethode CNOSSOS-EU (opgebouwd uit Harmonoise en Imagine), die voor een deel nog in ontwikkeling is. Bij deze nieuwe Europese rekenmethode wordt wel rekening gehouden met de twee belangrijkste geluidsbronnen. De bronnen die dominant zijn voor de bepaling van het geluidsniveau zijn de motor en de rollende banden over het wegdek (rolgeluid). Figuur 4 laat de verdeling zien over motor- en rolgeluid voor de twee voertuigcategorieën op een referentiewegdek. Andere typen wegdek laten een iets andere verdeling tussen motor- en rolgeluid zien. Geconstateerd wordt, dat voor personenauto's het rolgeluid dominant is boven circa 50 km/uur en bij vrachtauto's de motor invloed heeft op de totale geluidsemisatie.

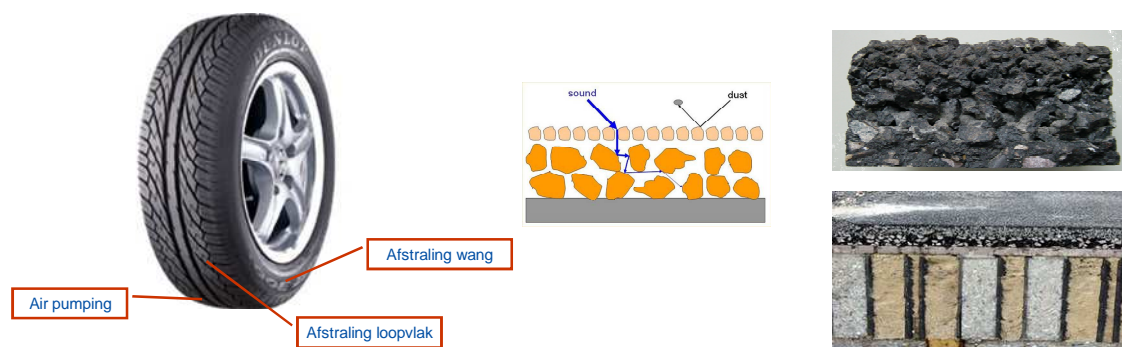
Bij een redelijke snelheid, en dus met name buitenstedelijk, is het band-wegdek geluid de meest dominante geluidsbron. Kort beschouwd is hierbij de geluidsproductie ten gevolge van trillingen van de wang van de band en van het loopvlak en het zogenaamde 'air-pumping effect' het meest van belang.

Trillingen van bandonderdelen zijn het gevolg van het rijden over wegdek met een bepaalde textuur en het bandenprofiel. Het air-pumping geluid wordt gegenereerd, wanneer lucht wordt aangezogen of weggepompt voor en achter de band.



Figuur 4: de geluidsbronnen van een motorvoertuig zijn de motor en de aandrijving, inclusief ventilatie, aandrijflijn en uitlaat, het band-wegdekgeluid en het aerodynamisch geluid in relatie tot de rijnsnelheid. Links voor personenauto's en rechts voor vrachtauto's

Maatregelen ter vermindering van het band-wegdekgeluid zijn mogelijk. Stille wegdekken kunnen worden toegepast waardoor, door een beperktere oppervlaktetextuur, het faciliteren van luchtstromingen in het asfalt en de aanwezigheid van akoestische absorptie in het wegdek, de opwekking van trillingen en geluid lager is. Ook stille banden kunnen worden toegepast. Met een optimaal profiel en een inwendige demping kunnen daarmee eenvoudigweg geluidsreducties van 3 tot 5 dB(A) worden gerealiseerd.



Figuur 5: onderdelen van het band-wegdekgeluid (links) en voorbeelden van stille wegdekken (rechts)

Stille banden kunnen als afnamekeuring worden beoordeeld. Bij stille wegdekken ligt dat anders. Een zojuist aangelegd stil wegdek, dan wel een stil wegdek dat een paar maanden oud is, is over het algemeen het meest effectief. De geluidsreductie is maximaal. Een minder effectieve geluidsreductie kan optreden door veroudering met rafeling en vervuiling. Een en ander moet worden bekeken en zo nodig onderhouden worden.

Door het uitvoeren van zogenaamde Close Proximity (CPX) metingen, met microfoons zeer dicht bij een standaardband, kan het akoestisch effect van een stil wegdek worden beoordeeld.

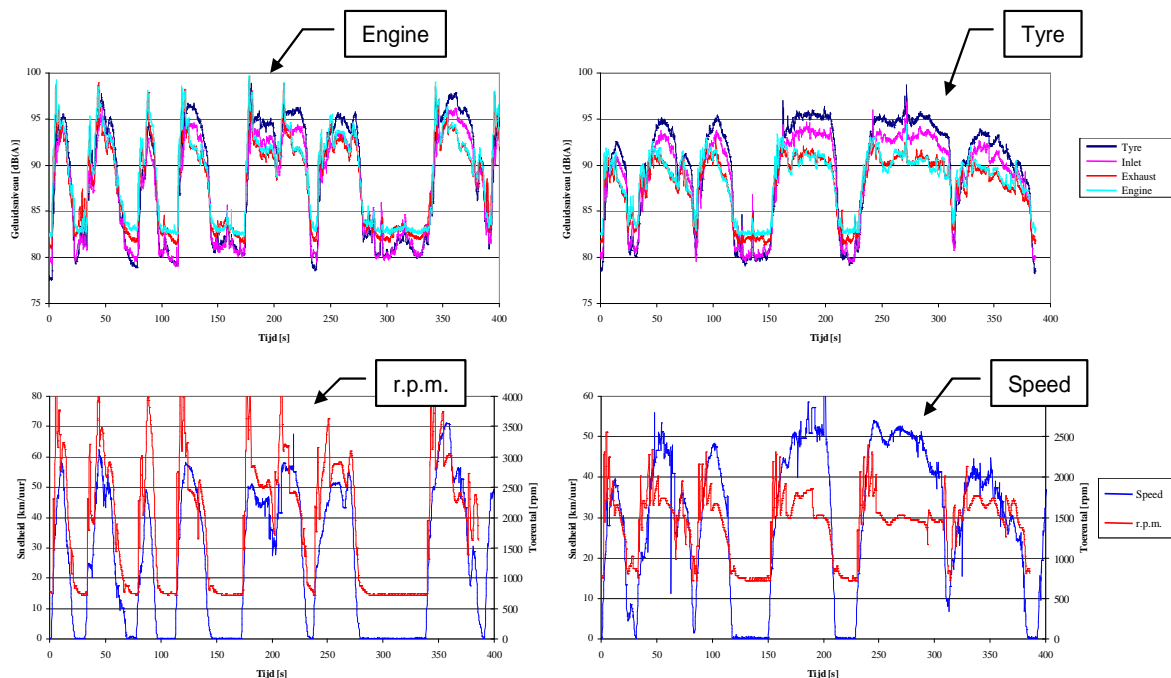
4. Geluid en 'Het Nieuwe Rijden'

Het overheidsprogramma 'Het Nieuwe Rijden' heeft tot doel automobilisten aan te zetten tot een energie-efficiënter aankoop- en rijgedrag. Om dat te bereiken, heeft het Rijk ingezet op een aanscherping van het klimaatbeleid in de vorm van een forse reductiedoelstelling van de uitstoot van broeikasgassen. Tussen 1990 en 2020 moet de uitstoot van CO₂ - in Europees verband - met 30% verminderen. Behalve een positief effect op het brandstofverbruik heeft Het Nieuwe Rijden ook positieve effecten op geluidhinder. "Wanneer u rijdt volgens deze rijstijl, rijdt u efficiënter, zuiniger en stiller".

Het stiller rijden is onderzocht door een testtraject te definiëren en dit vervolgens met een aantal verschillende auto's af te leggen. Gedurende de rit worden de geluidsniveaus gemeten op diverse punten in en aan de auto. Deze geluidssignalen hebben betrekking op de band, de luchtinlaat aan de voorzijde van de motor, de uitlaat en het motorcompartiment. Naast de geluidsmetingen zijn tevens het motortoerental en de rijsnelheid continue gemeten.

In figuur 6 is een van de meetresultaten bij twee testronden weergegeven. Uit de grafieken komt naar voren, dat bij het niet-Nieuwe Rijden het motorgeluid vaak het meest dominant is. Dat is ook duidelijk te zien aan het motortoerental. Bij de grafieken voor Het Nieuwe Rijden zien we, dat het band-wegdekgeluid ook bij relatief lage rijsnelheden steeds weer dominant is.

Het is duidelijk dat accelererend verkeer meer motorgeluid produceert. Band-wegdekgeluid is dan minder van belang. Agressiever rijgedrag geeft een 6 tot 7 dB(A) hoger geluidsniveau in relatie tot Het Nieuwe Rijden.



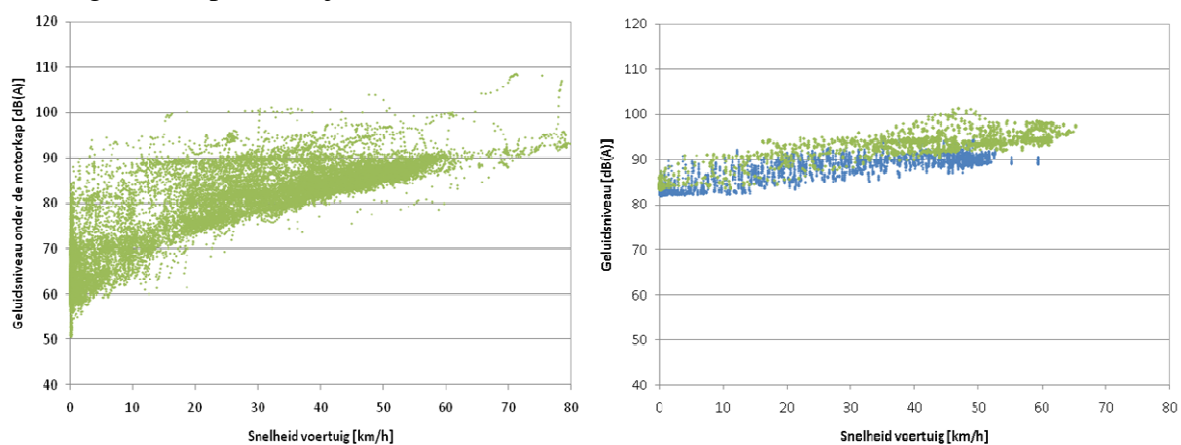
Figuur 6: effecten bij de geluidsemisatie voor onderdelen van een personenauto rijdend op een bepaald testtraject links voor normaal/agressief rijgedrag en rechts voor Het Nieuwe Rijden

5. Geluid en hybride voertuigen

Hybride voertuigen zijn er in een aantal typische configuraties. De hybride motor is een samenstelling van een verbrandings- en een elektromotor. In principe is er sprake van drie typen aandrijvingen, de zogenoemde seriële aandrijving, de parallelle aandrijving en de gecombineerde aandrijving. Het meest gunstig wat betreft geluid is een seriële aandrijving. Hierbij worden de banden aangedreven door een elektromotor. De verbrandingsmotor dient als generator om elektriciteit op te wekken voor de elektromotor. Daarnaast kan een batterij ondersteuning geven, dan wel zelf worden opgeladen. Bij een gecombineerde seriële/parallelle hybride motor worden beide systemen tegelijkertijd benut. De benzinemotor kan zowel direct de wielen als een generator aandrijven die de accu's laadt. Afhankelijk van de rijcondities worden alleen de benzinemotor, alleen de accu's of beide aandrijfmogelijkheden gebruikt. Dit type motor wordt onder andere in de Toyota Prius en de Ford Escape toegepast.

Bij het geluidsonderzoek is er een proef uitgevoerd door met een hybride auto en twee conventionele auto's een route door de stad en op een snelweg af te leggen. Daarbij is een microfoon geplaatst in het motorcompartiment. In figuur 7 is het geluidsniveau als functie van de rijnsnelheid uitgezet, zowel voor de hybride auto als voor twee conventionele auto's.

Vastgesteld kan worden, dat een hybride voertuig (dat bij lage snelheden geheel op de elektromotor rijdt) een sterke vermindering of eliminatie van motorgeluid zal geven. Bij lage rijnsnelheden zal dit resulteren in 6 tot 8 dB(A) lagere geluidsniveaus. Het band-wegdek geluid zal dan geheel bepalend zijn.



Figuur 7: effecten bij de geluidsemmissie voor hybride voertuigen links voor een hybride voertuig en rechts voor twee conventionele voertuigen met benzinemotor

Door de elektrische aandrijving is, bij lage rijnsnelheden, de geluidsemmissie van een hybride of elektrisch voertuig zeer laag. De verschillen met een conventioneel voertuig zijn groot. Ze zijn het meest extreem bij stilstand en worden kleiner bij hogere rijnsnelheden. Voor stedelijke omgevingen is bij kruispunten tot 8 dB(A) reductie geconstateerd en voor het totaal van een normale stedelijke situatie is een reductie van 1 tot 3 dB(A) reëel.

Hierbij komt nog, dat het motorgeluid hinderlijker kan zijn, omdat een verbrandingsmotor meer harmonische componenten bevat. Tonaal geluid geeft meer hinder dan ruisvormig geluid. Geconcludeerd kan worden, dat de elektrische voertuigen, wat betreft de milieuaspecten geluid en lucht, de toekomst zijn voor een stedelijke omgeving.

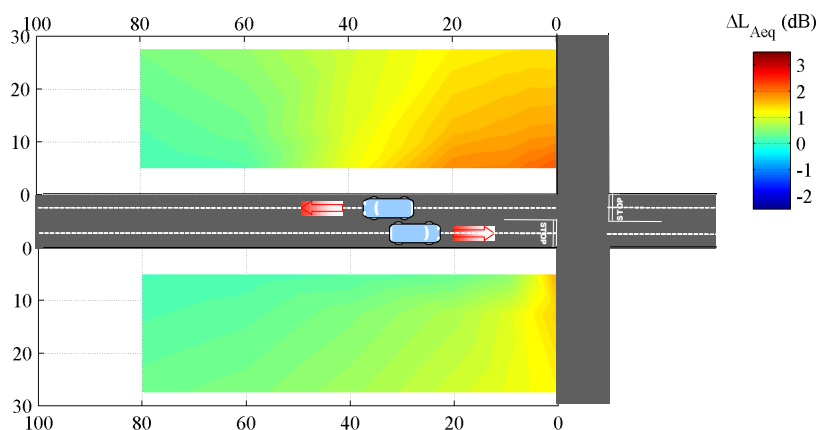
Dit uiteraard wel met de kanttekening inzake de meest efficiënte energieopwekking en de problemen met de energieopslag (accu's).

6. Rekenmethoden voor geluid

In Nederland is er een wettelijke rekenmethode voor wegverkeersgeluid van kracht. Hiermee wordt het equivalente geluidsniveau voor de drie perioden van een dag berekend aan de hand van - onder andere - de verkeersintensiteiten en rijsnelheden per voertuigcategorie. In deze methode zijn een aantal correcties opgenomen voor meer geluid bij het versnellen van voertuigen bij kruispunten, rotondes, verkeerslichten en dergelijke. Gezien de weliswaar beperkte toename van de waarde van het geluidsniveau, en ook de grotere toename van het hinderniveau, moet de juistheid van deze correcties enigszins in twijfel worden getrokken.

Zoals gemeld is er een nieuwe Europese rekenmethode in wording, waarbij er separate berekeningsalgoritmen voor band-wegdekgeluid en voor motor-, aandrijflijn- en uitlaatgeluid zijn gedefinieerd. Een en ander betekent, dat er bijvoorbeeld bij kruispunten berekeningen kunnen worden uitgevoerd met verschillende parameters, zoals bijvoorbeeld de grootte van de acceleratie.

De nieuwe EU-rekenmethode biedt derhalve de mogelijkheid om voertuigen individueel te beschouwen, waarbij het motor-/aandrijfgeluid en het band-wegdekgeluid separaat berekend kunnen worden en dus ook nader worden geanalyseerd. In onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van de verschillen in gemiddelde geluidsniveaus bij een kruispunt, met optrekgeluid in vergelijking met een verkeersweg met een doorgaande, continue rijdende verkeersstroom.



Figuur 8: voorbeeld van een simulatie bij een eenvoudige kruising, waar alle voertuigen moeten stoppen (snelheid 50 km/u, acceleratie 2 m/s²)

Met behulp van deze Europese rekenmethode is het mogelijk om de extra hinder van het motor-/aandrijfgeluid in beeld te gaan brengen. Ook kan het interrumperende geluid bij een kruispunt, bijvoorbeeld door een verkeersregelinstantie, nader worden beschouwd.

7. Stedelijke aandachtspunten voor geluidshinder

De regelgeving is gericht op verkeersstromen die vrij continue zijn. In de rekenmethoden voor de binnenstedelijke situatie is het motor-/aandrijfgeluid relatief constant gesteld, hetgeen niet goed overeenkomt met de werkelijkheid. Nadere analyse hiervan in het kader van de hinderbeleving is gewenst. Uit metingen en analyses van Het Nieuwe Rijden en met hybride en elektrisch voertuigen blijkt, dat de toekomst voor geluids- en luchtkwaliteit in de stedelijke omgeving de elektrische voertuigen zijn. Voor de geluidssituatie zal het band-wegdekgeluid dan geheel bepalend zijn.

Juist in steden zal in de nabije toekomst het verdichter bouwen op een heel hoog kwaliteitsniveau voor het leef-, woon- en werkniveau een vlucht gaan nemen. Dit is dé kans voor duurzaamheid. Maatregelen ter vermindering van geluidshinder en verbetering van luchtkwaliteit kunnen genomen worden, waarbij zeker ook verkeerstunnels de natuur en de mens moeten kunnen beschermen.

Naast de vrij continue, constante verkeersstromen van auto's wordt er veel hinder ondervonden van andere voertuigen, zoals motorfietsen, scooters en brommers. Berucht zijn de sportauto's met 'gemodificeerde' uitlaten en de zware motorfietsen. Bewustwording van de geproduceerde overlast en ook handhaving zijn de enige mogelijkheden om dit te bestrijden.



Figuur 9: voorbeelden van andere geluidsbronnen in een stedelijke omgeving, die niet onder een wettelijk regime vallen

Voor de normale verkeersstromen zijn er ook nog vele andere bronnen, die extra hinder kunnen veroorzaken. Hierbij kan gedacht worden aan dilatatie in het wegdek, putdeksels, tramsporen en wegdekken in een slechte onderhoudstoestand. Dergelijke geluidsverhogende onderdelen vallen niet onder een wettelijk regime, maar geven juist door de herkenbaarheid en de directe aanwijsbaarheid grote hinder. Er zijn natuurlijk mogelijkheden om deze vaak onnodig grote geluidsproductie te verminderen. Dit zijn ook ontwerpaspecten waarmee rekening gehouden kan worden.

Overigens is er voor de normale continue verkeersstroom ter vermindering van milieuhinder nog een scala aan eenvoudige maatregelen beschikbaar. Die mogelijkheden worden veelal onderkend en ook onderschat.

8. Conclusies

In vergelijking met continue rijdend verkeer is de hinderbeleving door geluid hoger bij afremmend en optrekkend verkeer, dus bij kruisingen. Dit als gevolg van min of meer instinctieve reacties die ook voor de mens van toepassing zijn.

Hiernaast heeft het motorgeluid meer harmonische componenten. Dit tonale geluid veroorzaakt voor de gemiddelde mens meer hinder.

Wegrijdend en accelererend verkeer geeft meer motorgeluid. Band-wegdekgeluid is dan van ondergeschikt belang. Gebleken is, dat normaal of iets agressiever rijgedrag een 6 tot 7 dB(A) hoger geluidsniveau geeft in relatie tot rijgedrag in het kader van Het Nieuwe Rijden. Een sterke vermindering of eliminatie van motorgeluid, zoals bij hybride voertuigen en ook elektrische voertuigen, zal binnenstedelijk 6 tot 8 dB(A) lagere geluidsniveaus geven. Het band-wegdekgeluid zal dan geheel bepalend zijn.

Voor de binnenstedelijke omgeving wordt verdichter bouwen op een heel hoog kwaliteitsniveau voor leef-, woon- en werkniveau dé kans voor duurzaamheid. De elektrische voertuigen zijn hierbij dé toekomst wat betreft de milieuaspecten geluid en lucht in een stedelijke omgeving. Een belangrijke kanttekening hierbij is natuurlijk wel de energieopslag en opwekking van energie.

Er is nog een groot aantal andere maatregelen dan alleen stille wegdekken om de geluidsmisatie van continue verkeersstromen te beperken en dus milieuhinder veroorzaakt door verkeer te verminderen. De mogelijkheden hierbij worden niet onderkend en ook onderschat.

9. Referenties

- [1] "Air pollution could increase risk of suicide" - Newscientist.com
- [2] A.B. Knol, B.A.M. Staatsen, "Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands", RIVM report 500029001/2005
- [3] W. Schoonderbeek, C. Padmos, J.J.A. van Leeuwen "Wegverkeersgeluid" SDU 2006
- [4] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise - Richtlijn 2002/49/eg van het Europees Parlement en de raad inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai, 25 juni 2002.
- [5] Manon Raimbault, Daniele Dubois, Urban soundscapes: Experiences and knowledge, Cities, Vol. 22, No. 5, p. 339–350, 2005
- [6] B. De Coensel, Introducing the Temporal Aspect in Environmental Soundscape Research, Universiteit Gent, 2006/2007
- [7] Website www.imagine-project.org.
- [8] "Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise- part 2: 'The Close Proximity method'", ISO/CD-11819-2.
- [9] Samenvatting van de studie tramlawaai; bundeling van de eindrapporten" T. ten Wolde, en J.J.A. van Leeuwen. "van oktober 1992. Rapport DGO 9201. In opdracht van GVBA, HTM, RET, V&W, VROM .
- [10] S.J. Shilton, J.J.A. Van Leeuwen, R. Nota, J. Hinton, 'Accuracy Implications of Using the WG-AEN Good Practice Guide Toolkits' Forum Acusticum 2005, Budapest (2005)
- [11] A.Y. Kok, J.J.A. van Leeuwen, Geluid en het Nieuwe Rijden - Geluidsmetingen aan verschillende type voertuigen, DGMR Rapport L.2003.1285.B
- [12] A.Y. Kok en J.J.A. van Leeuwen, DGMR Rapport V.2008.0726.00.R001 'Onderzoek geluidsemissie hybride voertuigen' Opdrachtgever: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2008.