

Meten is weten of is weten ook meten?

De toetsing aan normen voor verkeerslawaai volgens de Nederlandse geluidswetgeving is gebaseerd op modelberekeningen. Maar de werkelijkheid laat zich niet altijd zomaar in een model vangen. Hoe goed zijn de rekenmodellen die gebruikt worden voor akoestische onderzoeken? In Harderwijk zijn langdurige, onbemande metingen uitgevoerd om hier meer duidelijkheid in te brengen.

Door Paul Driessen en Hans van Leeuwen

Over de auteur:

P. Driessen is werkzaam als adviseur geluid bij de Provincie Gelderland; J.J.A. van Leeuwen is werkzaam bij DGMR adviseurs voor Verkeer en Milieu te Den Haag LN@dgmr.nl

AANLEIDING METINGEN

In de praktijk worden in Nederland nauwelijks metingen uitgevoerd in om verkeerslawaai te kwantificeren. Een achterliggende gedachte hierbij is, dat alleen 'bemande' metingen een goed beeld geven van de gemeten geluidsbronnen en de overige omstandigheden. Stoorgeluid kan dan uitgesloten worden, zoals bijvoorbeeld het geluid van motorfietsen of auto's met een 'defecte' uitlaat. Ook kan men kiezen onder welke omstandigheden er gemeten wordt, zodat er geen metingen plaats vinden bij te veel wind, bepaalde windrichtingen, neerslag en hoge of lage temperaturen. Echter, bemande metingen zijn erg kostbaar, zeker als deze op meerdere meetposities plaatsvinden. Provincie Gelderland zocht samen met DGMR en het RIVM naar mogelijkheden om op een betrouwbare wijze onbemand continue metingen langs een weg uit te voeren om deze te vergelijken met modelberekeningen. Hierbij werd uitgegaan van een complexe situatie met kruisingen, geluidsschermen en hoogbouw.

Bij reconstructie van een weg moeten de gevolgen voor geluid in een akoestisch onderzoek in beeld gebracht worden. Hierbij wordt een berekening gedaan voor één jaar voor de reconstructie en tien jaar na gereedkomen van de wegwerkzaamheden. De berekeningen bestaan uit simulatiemodellen, waarbij naast brongegevens (ligging weg, verkeersintensiteit etc.) ook de omgeving nagebootst wordt. De resultaten daarvan worden getoetst aan de normen die voorgeschreven zijn in de Wet geluidhinder en er wordt bekeken of er maatregelen noodzakelijk zijn. Deze maatregelen kunnen bijvoorbeeld bestaan uit het toepassen van een geluidsreducerend asfalttype of het plaatsen van geluidsschermen. Voor de wegbeheerder, maar ook voor burgers hangt er dus heel veel van deze berekeningen af.

Vanuit de overheid wil je graag dat je burgers op een juiste manier bescherming biedt tegen geluidsoverlast, zoals ook verkeerslawaai. Een teveel aan geluid kan hinder veroorzaken, waarbij gezondheidsklachten kunnen optreden. Om deze bescherming te waarborgen, heeft provincie Gelderland een meetcampagne opgezet. De keuze van de meetlocatie is daarbij

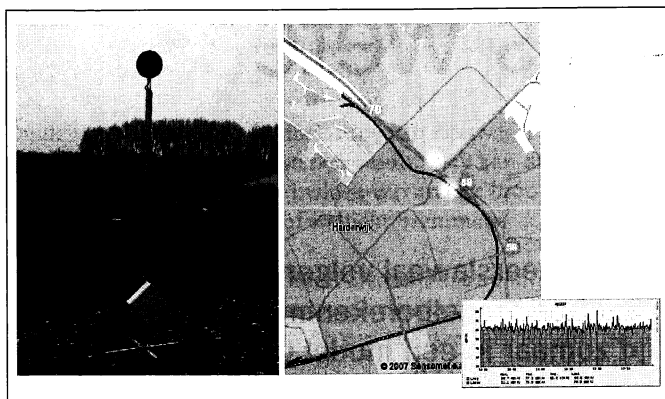
gevallen op Harderwijk. Hier wordt de provinciale weg N302 over een lengte van circa zes kilometer gereconstrueerd, waarbij in de nieuwe situatie het plaatselijke verkeer van het doorgaande verkeer wordt gescheiden. De geluidsmetingen zijn in de winter van 2008/2009 uitgevoerd. Dit is vóór de wegwerkzaamheden van start gingen waardoor er sprake van een soort nulmeting. Voorafgaand is conform de Wet geluidhinder akoestisch onderzoek gedaan naar de gevolgen van de reconstructie van de N302. Dit onderzoek is uitgangspunt voor het vergelijken met de geluidsmetingen.

ONBEMAND CONTINU METEN

Onbemande, permanente monitoringssystemen hebben als voordeel, dat op elk moment wordt gemeten. Elk uur, dus ook in de spits en 's nachts wordt de actuele situatie vastgelegd. Belangrijk hierbij is, dat ook alle weersomstandigheden (hoge/lagere temperaturen, mee-/tegenwind, een onbewolkte nacht met temperatuursinversie) worden mee gemeten. Ook een wegafsluiting, een file en/of een tijdelijk hoger verkeersaanbod worden waargenomen. Statistisch gezien wordt met name door de langere meettijd dus een waarde bepaald die meer overeenkomt met de geluidsniveaus die bewoners daadwerkelijk ondervinden.

Een mogelijk nadeel is dat stoorgeluid kan worden meegemeten. Dit is echter sterk afhankelijk van de exacte positie van een microfoon. Op het dak van een flatgebouw, en zeker bij een kantoorgebouw, op korte afstand van de bron zullen niet snel 'de brommer en de stereo van de buurkinderen' worden gemeten. Doordat er meerdere microfoons langs dezelfde geluidsbron opgesteld staan, kunnen tevens afwijkingen op een individuele microfoon worden beoordeeld. Het is ook mogelijk om op afstand 'geluidsfiletjes' te maken en delen van het signaal te beluisteren. Door het discontinue karakter van vliegtuiggeluid of spoorweggeluid zal/kan voor deze geluidsoorten alleen het geluid van een gehele passage, dit wil zeggen het geluid boven een bepaalde drempelwaarde, worden gemeten.

Bij het uitvoeren van dergelijke continue metingen is er een aantal aandachtspunten bij de geluidsniveaus en de geluidseisen. De opgestelde geluidseisen voor verkeer kunnen gebaseerd zijn op de oude Wet geluidhinder en derhalve vastgesteld in Letmaal. De Letmaal is gedefinieerd als het maximum van het equivalente geluidsniveau gedurende de dagperiode tussen 07.00 en 19.00 uur of het equivalente geluidsniveau gedurende de nachtperiode tussen 23.00 en 07.00 uur vermeerderd met 10 dB(A).



FIGUUR 1 : LINKS PERMANENTE MEETOPSTELLING OP HET DAK VAN EEN GEBOUW; RECHTS EEN VOORBEELD EN EEN PRESENTATIE OP INTERNET VAN GELUIDSNIVEAUS ALS FUNCTIE VAN HET LAATSTE UUR

Verder van is van belang dat de berekende waarden zijn gecorrigeerd met een wettelijke correctie van 2 of 5 dB(A) conform de aftrek artikel 103 "oude" Wgh. Hierdoor worden alle maximaal te meten geluidsniveaus 2 of 5 dB(A) hoger.

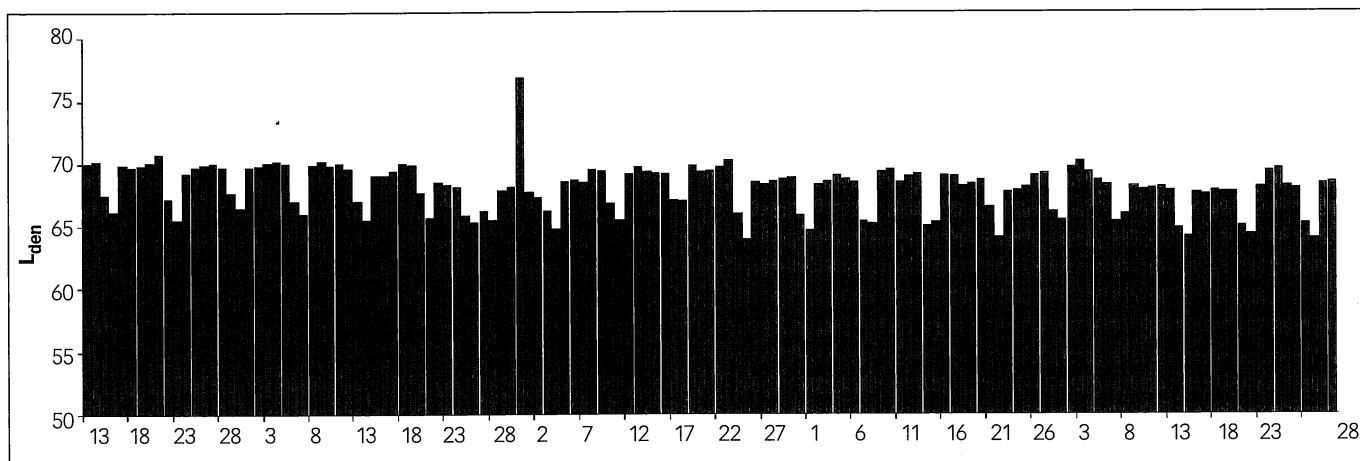
Een ander belangrijk aandachtspunt is dat voor akoestische onderzoek en voor toetsing steeds het invallende geluidsniveau voor de gevel wordt beoordeeld. Om geen last te hebben van reflectie tegen een achtergelegen gevel kan, waar mogelijk, gekozen worden voor het plaatsen van de microfoon op het dak van een gebouw. Op deze manier wordt alleen het directe invallende

geluid gemeten en is een correctie voor reflectie niet meer noodzakelijk.

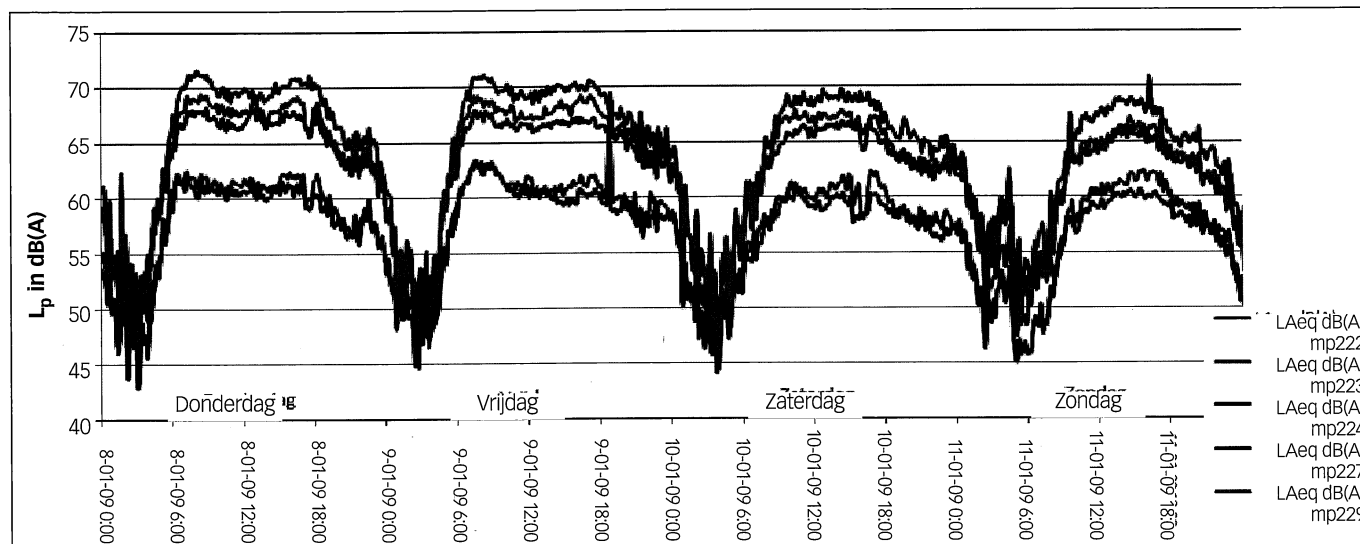
UITVOERING METINGEN

In de periode van november 2008 tot april 2009 zijn op zes plaatsen langs de provinciale weg N302 in Harderwijk continue metingen verricht. Het betreft dus metingen die 24 uur per dag geregistreerd worden, zeven dagen per week. Elke tien seconden wordt de meetwaarde geregistreerd. De metingen zelf zijn uitgevoerd door Geluidsnet te Leiden, een bedrijf dat gespecialiseerd is in geluidsmetingen. Dit bedrijf verzorgde de plaatsing van hun meetapparatuur op de locaties. Geluidsnet was ook verantwoordelijk voor de juiste werking en het onderhoud van de instrumenten en voor het uitlezen en opslaan van de meetdata. De meetgegevens werden bovendien real-time op een website zichtbaar gemaakt. Door deze realtime mogelijkheden kan er op internet direct een beeld worden getoond van de actuele geluidsniveaus, de uurgemiddelde niveaus en eventueel andere gemiddelde waarden, zoals de Letmaal- en Lden-waarde.

Tevens zijn op twee punten verkeersintensiteiten vastgesteld door middel van metingen met tellussen in het wegdek. De meetpunten voor geluid bevonden zich tussen deze telpunten, zodat de resultaten van de telling goed in de berekeningen meegenomen konden worden. Verder zijn de weersomstandigheden mee gemeten door een klein meteorostation bij één van de meetpunten te plaatsen. Hierdoor kon bijvoorbeeld een relatie gelegd worden tussen de temperatuur, windrichting en windsterkte en het



FIGUUR 2 : VOORBEELD VAN EEN METING OVER RUIM VIER MAANDEN. HIER WORDT HET Lden PER ETMAAL WEERGEGEVEN, STARTEND OP 12 NOVEMBER EN EINDIGEND OP 31 MAART.



FIGUUR 3: VOORBEELD VAN VIJF MEETPUNTEN OVER VIER DAGEN

222	65.8	61.9	60.2	68.3
223	61.3	58.0	56.4	63.9
224	60.9	57.3	55.7	63.3
227	69.0	64.5	63.8	71.3
228	63.6	61.7	58.9	66.5
229	66.3	61.8	61.2	68.6
230	59.1	58.1	58.4	64.8

TABEL 1: GEMIDDELTE MEERWAARDEN GEDURENDE DE MEETPERIODE, NA CORRECTIE VOOR DE NIEUWAARSNACHT.

resultaat van de geluidsmetingen.

MEETRESULTATEN

Een voorbeeld van de meetresultaten gedurende een bepaalde periode is in figuur 2 gegeven. In deze grafiek worden de resultaten weergegeven voor één meetpunt langs de provinciale weg over een periode van vier maanden. De meetwaarden betreffen de equivalente geluidsniveaus uitgedrukt in Lden per etmaal.

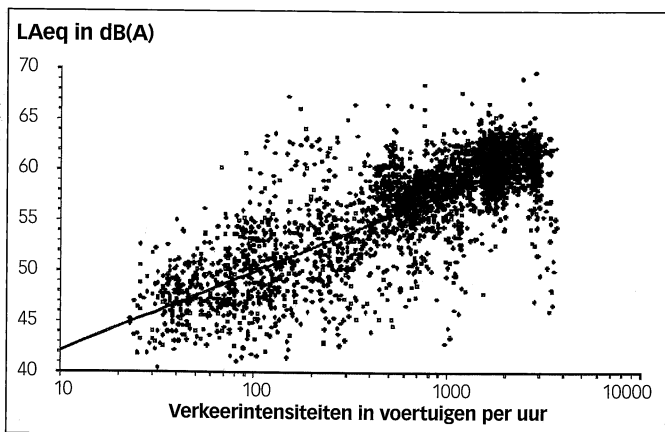
In figuur 2 is duidelijk een weekpatroon ter herkennen. De Lden-waarde per etmaal varieert, waarbij op zaterdag en de zondag duidelijk een lagere waarde te zien is. Verder is opmerkelijk dat ook in de waardes per werkdag behoorlijke verschillen te zien zijn. Hierbij moet men uiteraard bedenken dat een waarde van 3 dB hoger een verdubbeling van het geluid betekent. Overeenkomstige patronen worden ook op de andere meetpunten herkend. De oorzaak hiervan is onder meer de variërende verkeersintensiteit van met name vrachtverkeer. De enorme uitschieter die zichtbaar is betreft het geluid van vuurwerk tijdens de jaarwisseling.

Een voorbeeld van over het etmaal overeenkomstige patronen bij nabijgelegen meetpunten is te zien in figuur 3. Hierin wordt van vier dagen voor vijf meetpunten het geluidsniveau weergegeven (het equivalente geluidsniveau over een tijdsperiode van tien minuten).

De patronen worden voornamelijk gevormd door de variatie in de intensiteiten over de verschillende etmaalperioden. Daarbij is duidelijk de nachtperiode en de ochtend- en avondspits te herkennen. Ook het ontbreken van deze spitsuren op zaterdag en vooral op zondag is duidelijk waarneembaar. Wel is enige verhoging te zien in de nacht van zaterdag op zondag, dat veroorzaakt wordt door verkeer dat gerelateerd is aan het uitgaansleven.

STOORGELUID

Onbemand meten brengt met zich mee dat stoorgeluid meege-



FIGUUR 4: MEETRESULTATEN VAN EEN MEETPUNT MET HET GEMETEN EQUIVALENTE GELUIDSNIVEAU EN HET GEMETEN AANTAL VOERTUIGEN PER UUR

meten wordt. Om het geluid van het verkeer te bepalen, moet dit stoorgeluid uit de meting verwijderd worden. De grootste storbrong was het vuurwerk gedurende de nieuwjaarsnacht. Dit gaf waarden van boven de 75 dB. Indien men deze nacht niet uit de metingen had verwijderd, was het gemiddelde van de metingen over meer dan vier maanden toch slechts 0,3 dB hoger uitgevallen. Dit geeft aan, dat juist door het meten over een langere periode de gevolgen van een verstoring zeer beperkt zijn.

Overigens is deze fikse verstoring niet in de resultaten meegenomen. Overigens geldt natuurlijk, dat langer durend maar minder sterk stoorgeluid, ook een verstrend effect kan hebben. Hierbij valt te denken aan het stoorgeluid afkomstig van het treinverkeer van de spoorlijn Amersfoort-Zwolle en het verkeer op de nabijgelegen snelweg A28. De meetlocaties zijn echter zodanig gekozen dat het geluidsniveau van deze bronnen ruim 10 dB lager ligt dan het verkeer op de provinciale weg. Correctie was hierdoor niet noodzakelijk. Mogelijk stoorgeluid van verkeer in de lokale woonstraat kan op sommige microfoons optreden. Er wordt hiervan ingeschat dat dit slechts sporadisch zal zijn en dan nog bepaald zal worden door de bekende 'brommer met gemodificeerde uitlaat'.

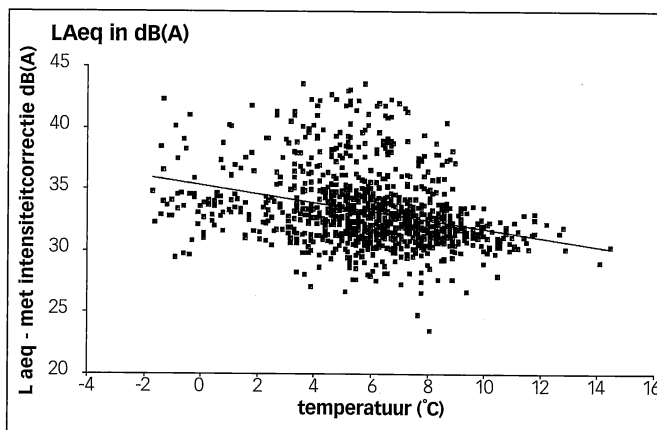
RELATIE DAG - AVOND - NACHT

De continue metingen geven een beeld van de verdeling van geluid over het etmaal. In onderstaande tabel 1 is deze verhouding weergegeven. De waarde Lden wordt berekend met een toeslag van 5 en 10 dB voor de avond- en nachtwaarde. Deze 'strafactor' wordt toegepast omdat geluid 's avonds en 's nacht als hinderlijker ervaren wordt dan overdag.

De waarden in tabel 1 laten zien dat de geluidsbelastingen in de avond en in de nacht respectievelijk 3,2 en 4,5 dB lager zijn dan de dagwaarde. De toeslagen van 5 en 10 dB werken aanzienlijk door in de berekening van Lden. Dat blijkt ook uit het feit dat Lden circa 3 dB hoger is dan de dagwaarde. De Lden is circa 2,5 dB lager dan de etmaal waarde (nachtwaarde plus 10). De spreiding tussen de relatieve waarden van de diverse meetpunten en meetperioden van het etmaal is zeer waarschijnlijk het gevolg van kleine lokale verschillen waardoor andere delen van de weg meer bepalend zijn voor het equivalente geluidsniveau.

INVLOED VERKEERSINTENSITEIT

Het gemeten geluidsniveau is natuurlijk evenredig met de hoeveelheid auto's op de provinciale weg. Gedurende de meetperiode is tevens de verkeersintensiteit op de N302 gemeten. In figuur 4 is een voorbeeld gegeven van de relatie tussen de meetresultaten (equivalente geluidsniveaus per uur) op meetpunt 224 en de geregistreerde verkeersintensiteit. Hierbij is geen uitsplitsing gemaakt naar voertuigtype.



FIGUUR 5: CORRELATIE VAN HET GELUIDSNIVEAU, GECORRIGEERD VOOR DE VERKEERSINTENSITEIT, MET DE TEMPERatuur

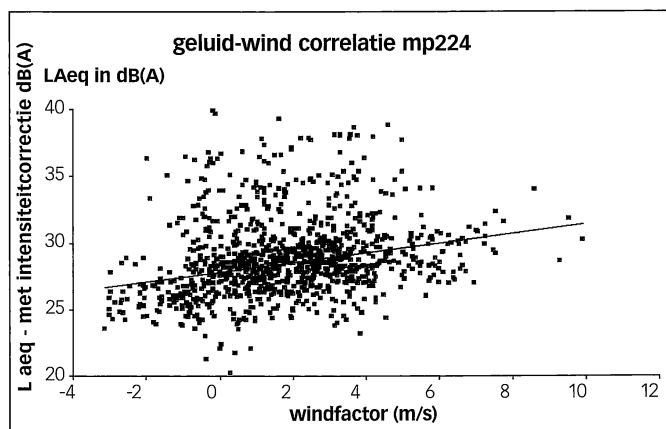
De helling van de trendlijn is iets flauwer dan theoretisch verwacht. Dit heeft een aantal oorzaken. Ten eerste kan er in de zeer rustige uurtjes een klein effect zijn van stoorgeluid. Belangrijker is, dat er zeer waarschijnlijk juist in de rustige uurtjes met een veel hogere snelheid wordt gereden en wellicht ook dan juist met een 'defecte' uitlaat. Ook vrachtverkeer zal zeker in de vroege uren dominant aanwezig zijn. In de drukste uren is vervolgens ook weer sprake van congestie, zodat de rijnsnelheid en dus de geluidsemisatie flink lager kan zijn.

INVLOED METEOROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN

De overdracht van geluid wordt beïnvloed door de weersfactoren wind, vochtigheid en temperatuur. Natte wegdekken produceren meer geluid, doordat de emissie van het band/wegdek geluid toeneemt. De immissie van het geluid kan versterkt worden door een 'invallende' windrichting en windkracht, door een verhoging van de geluidsnelheidsgradiënt boven de hoogte van het maaiveld. De kromming van geluidsgolven is dan groter, wat ook op korte afstanden een, weliswaar beperkt, effect heeft. Achter een geluidsscherm zal deze kromming een negatief effect hebben op het geluidsreducerend effect van een scherm.

De temperatuur is een kleinere factor in de overdracht van geluid. Veel belangrijker is het temperatuureffect op het bronmechanisme voor de opwekking van band-/wegdek geluid. Vooral bij personenauto's boven circa 30-40 km/u en bij vrachtauto's boven circa 50-70 km/u speelt dit een rol. Er is veel discussie over de grootte van het effect, maar gangbaar is een factor van circa 0,1 dB(A)/°C. Een lagere temperatuur geeft een hogere emissie. De metingen in Harderwijk zijn uitgevoerd in het winterseizoen. In deze periode was de temperatuur circa 10 graden lager dan gemiddeld over een heel jaar. Gebruikmakend van bovengenoemde factor zou de gemiddelde meetwaarde circa 1 dB hoger uitvallen. Om dergelijke meteorologische effecten te kunnen uitgemiddelen zou men gedurende een heel jaar ometen meten.

Het is ook mogelijk om uit de meetresultaten de relatie met de meteorologische omgevingsfactoren te bepalen. Hiervoor is het noodzakelijk om de invloed van de verkeersintensiteit op de gemeten geluidsniveaus te elimineren, alvorens de waardes tegen de betreffende parameter (bijvoorbeeld temperatuur) uit te zetten. Dit is uitgevoerd door van iedere uurwaarde van het geluidsniveau een logaritmische correctie als gevolg van de gemeten verkeersintensiteit toe te passen. Dit is onafhankelijk van de hoeveelheid vrachtverkeer. Dit resulteert in een fictief geluidsniveau gebaseerd op één voertuig per uur. Aan de hand van deze gegevens zijn analyses met de luchttemperatuur, windsnelheid en -richting gemaakt. Als voorbeeld hiervan is in



FIGUUR 6: CORRELATIE VAN HET GELUIDSNIVEAU, GECORRIGEERD VOOR DE VERKEERSINTENSITEIT, MET DE WINDFACTOR

alle metingen en oorspronkelijke computersimulatiemodel	4.1
metingen zonder oud/nieuw en oorspronkelijk computersimulatiemodel	3.8
metingen zonder oud/nieuw en nieuwe verkeersgegevens	3.0
idem en geografisch verbeterd computersimulatiemodel en oude verkeersgegevens	2.5
idem en geografisch verbeterd computersimulatiemodel en nieuwe verkeersgegevens	1.7
metingen gecorrigeerd met temperatuur en verbeterd computersimulatiemodel	0.3

TABEL 2: OVERZICHT ANALYSE MEETWAARDEN EN REKENRESULTATEN UIT DE SIMULATIEMODELLEN

figuur 5 een dergelijk beeld van temperatuur van één van de meetlocaties te zien.

Er is een duidelijk verband tussen de temperaturen in de intervalperiodes met de meetgegevens van het geluid. De waarden van de relatie van de verschillende meetpunten zijn variërend tussen een waarde van -0,01 dB(A)/°C tot -0,26 dB(A)/°C. De gemiddelde relatie voor de temperatuur voor alle meetpunten is berekend op -0,14 dB/°C.

Deze temperatuurscorrectie is wat hoger dan een vaak gebruikte waarde van -0,05 dB/°C of -0,1 dB/°C. Echter in de literatuur worden ook hogere waarden gegeven. De waarde van -0,14 dB/°C bij de N302, is relatief aan de hoge kant in vergelijking met een beperkt aantal meetwaarden uit de literatuur [1]. De periode van april 2009 tot april 2010 zal tevens gebruikt worden om nader onderzoek te doen naar deze temperatuursrelaties van verkeersgeluid op een asfaltwegdek.

Voor de monitoring zijn de windkracht en windrichting voor elk van de meetpunten in de 'windfactor' berekend per meetinterval van een uur. Hierin is afhankelijk van de windhoek en de ligging van het meetpunt ten opzichte van de weg de relevante hoek van de windrichting bepaald.

De verzwakkende of versterkende werking van de wind, vanaf of naar het meetpunt, is beoordeeld door de resulterende bijdrage van de windcomponent loodrecht op de weg te berekenen. Een positieve waarde is de resulterende windsnelheid naar het meetpunt toe en een negatieve waarde is de resulterende waarde van het meetpunt af. In figuur 6 is een voorbeeld gegeven.

Een windeffect is duidelijk zichtbaar, de equivalente geluidsniveaus nemen toe als de wind naar het meetpunt toe waait met 0,13 dB(A)/m.s-1. Voor de andere meetpunten geldt dat in mindere mate, de gemiddelde waarde is 0,07 dB(A)/m.s-1. Het meer of minder effect hebben van de wind kan te maken hebben met de hoogteligging van het meetpunt ten opzichte van het wegdek en de ligging van het meetpunt tussen gebouwen (eventueel met de aanwezige dakopbouw) en voor een gevel. Bij meetpunten in de luwte of op een lagere positie zal het windeffect lager zijn.

Aan de hand van deze analyse van een effect op windinvloed kan worden vastgesteld, dat ook op deze korte afstanden tussen waarnemer en verkeersweg er een waarneembaar effect is door de wind. Meewind geeft een hoger geluidsniveau, tegenwind een lager niveau. De effecten op de geluidbelasting kunnen oplopen tot 2 dB. Een en ander zou goed te valideren zijn met de Harmonoise/Imagine rekenmethode [2]

OPZET MODELBEREKENINGEN

Bij een vergelijking tussen metingen en berekeningen is naar voren gekomen, dat het essentieel is om alle invoergegevens van de berekening grondig te controleren. Bij eerder onderzoek is reeds gebleken, dat deze invoerdata essentieel is [3]. Hiervoor werd het computersimulatiemodel, dat gebruikt is voor akoestisch onderzoek in het kader van de reconstructie van de N302 en is gemaakt met Geonose, nader bekeken. Het bleek dat het noodzakelijk was om het model op details aan te passen om op de posities van de meetapparatuur goede waarden te kunnen berekenen. Hierbij ging het vooral om gebouw- en maaiveldhoogte en de definitie van de bodemvlakken. Tevens zijn berekeningen aangepast op de gemeten verkeersintensiteiten gedurende de meetperiode.

Eén microfoon bevond zich voor een gevel. Hiervoor is een correctie voor reflectie gebruikt om een goede vergelijking mogelijk te maken. Daartoe werd een waarde van 3 dB afgetrokken van de gemeten waarde. Dit ter correctie van de optredende akoestische reflecties tegen de achtergelegen gevel. De beoordeling van geluidsniveaus bij woningen en gebouwen vindt altijd plaats als zogenaamde invallende geluidsniveaus. Dat wil zeggen het geluid dat bij een geheel geopend raam naar binnen zal treden. Voor de microfoons die zich op het dak bevonden, was uiteraard geen reflectiecorrectie nodig. Hiervoor is nog wel beoordeeld of deze microfoons op het dak representatief zijn voor de geluidsbelasting van de bovenste verdieping van het betreffende gebouw. Het verschil tussen de berekende dak- en gevelwaarden varieert van 0 tot 1,2 dB. Door de mogelijke reflecties vanuit de omgeving en eventuele afscherming van het toetspunt door gevelhoeken of verschil in hoogteligging ten opzichte van de weg, kunnen de berekende waarden van de geluidsniveaus dus iets afwijkend zijn tussen de geluidsbelasting aan de gevel of de gemeten geluidsniveaus bij de op het dak geplaatste microfoons.

Bij de berekeningen zijn de telgegevens uit de meetperiode gebruikt, hetgeen bestond uit het gemiddelde van de twee tellpunten. Het bleek dat deze voertuigintensiteiten slechts een kleine afwijking vertoonden met de gegevens die voor het akoestisch onderzoek (peiljaar 2008) waren gebruikt. Wel viel op, dat in deze periode het aandeel zwaar vrachtverkeer hoger was dan het jaargemiddelde. Het verschil in intensiteiten tussen het akoestisch onderzoek voor de reconstructie en de berekeningen, die zijn uitgevoerd om te kunnen vergelijken met de metingen, bedroeg circa 0,8 dB.

RESULTAAT VERGELIJKING METINGEN MET BEREKENINGEN

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de verschillen tussen de metingen en berekeningen. De verschillen zijn berekend op basis van het gemiddelde van de zes microfoonposities. Hierbij wordt ook in kaart gebracht wat het effect is van de verschillende stappen die hierbij komen kijken, te weten de correctie voor de nieuwjaarsnacht, berekening met gemeten intensiteiten, verbetering van het model en de lage temperatuur tijdens de metingen. Voor deze laatste correctie is uitgegaan van de berekende waarde van $-0,14 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$. Van deze waarde is reeds opgemerkt, dat deze weliswaar is gemeten aan de N302 maar dat deze relatief iets aan de hoge kant is in vergelijking met een beperkt aantal meetwaarden uit de literatuur. De meetperiode viel in de winter, waardoor de gemiddelde temperatuur circa tien graden lager was dan de jaargemiddelde temperatuur in Nederland.

Indien alle correcties worden toegepast om een goed vergelijk met de metingen te kunnen maken, blijkt, dat het verschil gemiddeld over zes microfoonposities slechts 0,3 dB bedraagt. De metingen geven dus een marginaal hogere waarde dan de bere-

keningen. Per meetpunt loopt dit verschil iets uiteen van 1,8 tot $-0,5 \text{ dB}$. Deze range moet gezien worden als een variatie ten gevolge van stochastische variabelen. Daardoor treden er diverse kleine onnauwkeurigheden op, in bijvoorbeeld invoerdata van de modelberekeningen en ook door random effecten tijdens de metingen. Het blijkt dat juist door de uitgebreide steekproef met zes microfoonposities en de lange meetperiode er een zeer goede overeenkomst is tussen metingen en berekeningen.

VERVOLGMETINGEN

In het voorjaar van 2009 zijn de reconstructiewerkzaamheden aan de N302 in Harderwijk van start gegaan. Deze duren voort tot medio 2010. Hierbij wordt geluidreducerend asfalt toegepast en worden op diverse plaatsen nieuwe geluidsschermen geplaatst. In het najaar van 2010 gaan op dezelfde locaties als in 2008/2009 opnieuw geluidsmetingen uitgevoerd worden. Doel van deze metingen is om vast te stellen of de getroffen maatregelen ook het effect hebben die in de berekeningen naar voren zijn gekomen.

CONCLUSIE

Onbemand meten van geluid ter controle van een berekening is zeer goed mogelijk. Door gebruik te maken van een lange meetperiode en meerdere meetpunten verkrijgt men een statistisch beter en betrouwbaar resultaat. Een enkele meting gedurende een paar uur op een willekeurige dag is uiteindelijk een 'random sample' en kan statistisch gezien geen goed resultaat geven. Stoorgeluid en wisselende meteorologische omstandigheden worden in een lange meetperiode uitgemiddeld. Uitzonderingen waren hierbij:

- stoorgeluid: vuurwerk nieuwjaarsnacht;
- lage temperatuur: hogere geluidwaardes gemeten vanwege het feit dat de meetperiode in de winter viel.

Na correctie van bovengenoemde uitzonderingen is de gemiddelde gemeten waarde 0,3 dB hoger dan de berekende waarde.

Bij het vergelijken met modelberekeningen is het essentieel dat de invoerparameters van de berekening exact overeenkomen met de omstandigheden tijdens de meting. Het is gebleken dat afwijkingen hierin grote effecten kan hebben op het berekeningsresultaat en dus op de vergelijking met de metingen.

REFERENTIES

- [1] Sandberg, U; Ejsmont, J.A. Tire/road noise Reference Book. Informex 2002
- [2] Website www.imagine-project.org.
- [3] S. J. Shilton, J.J.A. van Leeuwen, R. Nota, Error Propagation Analysis of XPS 31-133 and CRTN to Help Develop a Noise Mapping Data Standard, symposium on Managing Uncertainty in Noise Measurement and Prediction, Le Mans, (2005).