

Gezondheidseffecten van verkeersgeluid in ruimtelijke planning

Hoe gezondheidseffecten van verkeersgeluid worden onderzocht en
toepasbaar gemaakt in ruimtelijke planning

Hieronymus C. Borst

Nederlands Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) ¹

Sabine A. Janssen

Nederlands Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO)

Yvonne de Kluizenaar

Nederlands Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO)

Erik M. Salomons

Nederlands Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO)

Henk M.E. Miedema

Nederlands Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO)

Samenvatting

Omgevingsgeluid, vooral door wegverkeer, is een bron van hinder, slaapverstoring en andere gezondheidseffecten. Naast maatregelen aan de bron, kan de blootstelling aan dit geluid worden verminderd door hier rekening mee te houden in de lokale ruimtelijke planning. Om overheden in staat te stellen om in ruimtelijke planning effectief de negatieve effecten van geluid terug te kunnen dringen, wordt onderzoek gedaan naar het verband tussen het geluid en de effecten ervan. Deze kennis kan vervolgens toepasbaar worden gemaakt door deze te implementeren in een planning support systeem (PSS): Urban Strategy. In dit instrument kan geluid samen met andere relevante aspecten, zoals verkeer, luchtkwaliteit en veiligheid worden afgewogen. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de laatste inzichten over de verschillende

¹ Nederlands Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), Princetonlaan 6, 3584 CB, Utrecht, E: jeroen.borst@tno.nl

gezondheidseffecten van omgevingsgeluid. Hoe deze kennis toepasbaar kan worden gemaakt voor planners en beleidsmakers op lokale schaal met het software instrument Urban Strategy wordt eveneens beschreven.

Summary

Environmental noise, mainly due to road traffic, causes annoyance, sleep disturbance as well as other health effects. Besides measures at source, exposure to noise can be reduced by taking it into consideration in spatial planning. Research is being done on the negative effects of noise, with the aim of supporting governments in reducing the negative effects through effective spatial planning. This knowledge can be made applicable by implementing it into a planning support system (PSS) such as Urban Strategy. In the instrument Urban Strategy, noise can be assessed together with other relevant aspects such as traffic load, air quality and external safety hazards. In this paper, an overview is provided on the latest insights on different health effects of noise, and it is described how this knowledge is made applicable to local planners and policy makers.

1. Inleiding

Wegverkeer is een belangrijke bron van omgevingsgeluid. De WHO heeft geschat dat ongeveer 40% van de inwoners van de EU blootgesteld zijn aan verkeersgeluidniveaus boven de 55 dB (LAeq, dag) (Berglund, Lindvall, and Schwela, 1999). In grote stedelijke gebieden kunnen deze niveaus nog hoger zijn (European Topic Centre on Land Use and Spatial Information, 2010). Ongeveer 20% van de EU populatie is blootgesteld aan geluidniveaus boven de 65 dB (LAeq, dag) (EEA, 2009). Een groot deel van deze geluidbelasting komt voor rekening van wegverkeer. Dergelijke niveaus worden in de meeste landen als onacceptabel beschouwd, omdat geluid, ook bij lagere niveaus, hinder, slaapverstoring en andere gezondheidseffecten kan veroorzaken.

Daarom is sinds 2002 de EU richtlijn Omgevingslawaai (European Noise Directive: END) van kracht. Deze richtlijn schrijft voor dat elke vijf jaar geluid door weg-, rail- en luchtvaartverkeer en industrie in kaart gebracht moet worden voor de gebieden rond alle belangrijke infrastructuur (rijkswegen, spoorwegen en luchthavens) en voor aangewezen gemeenten in een agglomeratie met meer dan 100 000 inwoners. Daarnaast moeten actieplannen worden geformuleerd om het geluid en de negatieve effecten ervan terug te dringen. Het formuleren van doelstellingen in termen van limiet- of streefwaarden wordt aan de lidstaten overgelaten.

Om (lokale) overheden in staat te stellen om in ruimtelijke planning effectief de negatieve effecten van geluid te kunnen verminderen, wordt onderzoek gedaan naar het verband tussen het geluid en de effecten ervan. Deze kennis kan vervolgens toegankelijk en toepasbaar worden gemaakt door deze te implementeren in software. Dit artikel beschrijft een dergelijke toepassing in het planning support systeem (PSS) Urban Strategy. Met behulp van Urban Strategy kan geluid samen met andere relevante aspecten, zoals verkeer, luchtkwaliteit en veiligheid worden afgewogen. Eerst wordt een overzicht gegeven van onderzoeken en inzichten over de verschillende gezondheidseffecten van omgevingsgeluid. Daarna wordt getoond hoe deze kennis toepasbaar wordt gemaakt voor planners en beleidsmakers op lokale schaal met Urban Strategy.

2. Effecten van omgevingsgeluid

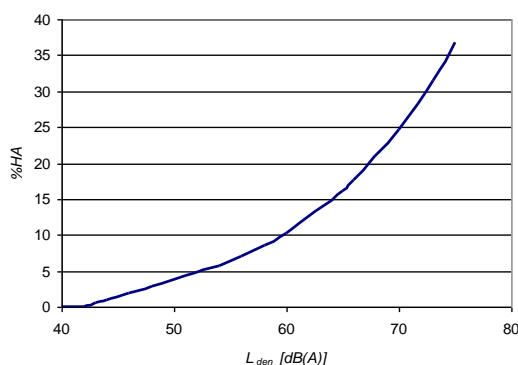
Om de effecten van omgevingsgeluid te voorspellen wordt doorgaans uitgegaan van een maat voor jaargemiddelde geluidniveaus. Hiervoor bestaan verschillende maten. De geluidmaat die momenteel wordt gehanteerd in de EU Richtlijn Omgevingslawaai (END) is het day-evening-night level (Lden). Deze Lden is een energetisch, naar periodeduur gewogen gemiddelde van het gemiddelde niveau gedurende de dag (7.00 – 19.00h): (Lday), de avond (19.00 – 23.00h): (Levening) met een straffactor van 5 dB en de nacht (23.00 – 7.00h): (Lnight) met een straffactor van 10 dB.

Hinder en slaapverstoring zijn de belangrijkste gezondheidseffecten van omgevingsgeluid, zolang de geluidniveaus niet hoger zijn dan 65 - 70 dB (Ldn). Dit kan worden geconcludeerd uit de overzichten gemaakt door een internationaal comité van de Nederlandse Gezondheidsraad (1994) en door de WHO (Berglund et al., 1999). Dit wil overigens niet zeggen dat bij lagere waarden geen andere gezondheidseffecten kunnen optreden. Langdurige blootstelling aan geluid kan (ook bij lagere niveaus) op de lange termijn leiden tot ernstige gezondheidseffecten, zoals hypertensie en hart-en vaatziekten (Babisch en Van Kamp, 2009; de Kluizenaar et al., 2007; Babisch et al., 2005; Babisch, 2008).

2.1 Geluidhinder

Geluidhinder wordt doorgaans gemeten door mensen op een antwoordschaal te laten aangeven in welke mate ze zijn gehinderd door geluid. Door Miedema en Oudshoorn (2001) zijn op basis van een omvangrijk internationaal databestand, dosis effect relaties afgeleid. Hiervoor is een methode ontwikkeld om de hinderscores die in verschillende onderzoeken op verschillende antwoordschalen zijn verzameld te vertalen naar een schaal van 1 tot 100. Op deze schaal zijn drie maten voor hinder als volgt gedefinieerd: Alle antwoorden boven de 28 gelden als 'ten minste enige hinder' (LA), boven de 50 als 'hinder' (A) en boven de 72 als 'ernstige hinder' (HA).

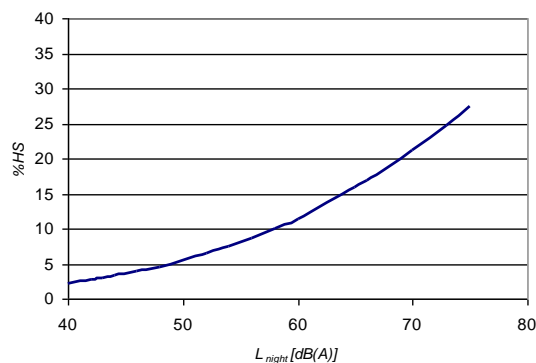
In een metanalyse zijn bij TNO gegevens uit 18 verschillende internationale studies naar hinder door wegverkeersgeluid bij elkaar gebracht. Uit deze analyse zijn curven afgeleid voor het verband tussen blootstelling aan wegverkeersgeluid en de bovengenoemde hindermaten: %LA, %A en %HA. In figuur 1 is het verband weergegeven tussen het geluidniveau van wegverkeersgeluid (Lden) en het percentage ernstige hinder (%HA).



Figuur 1. Verband tussen geluidbelasting op de hoogst belaste gevel (Lden) en het verwachte percentage ernstige geluidhinder (%HA) (bron: Miedema & Oudshoorn, 2001).

2.2 Slaapverstoring

Slaapverstoring is op verschillende manieren gekwantificeerd, bijvoorbeeld als het aantal EEG ontwakingen (ontwakingen zichtbaar op een Electro - Encefalogram), het aantal veranderingen van slaapstadia, maar ook op basis van zelf gerapporteerde slaapverstoring. Miedema & Vos (2007) hebben de originele data bij elkaar gebracht van 24 onderzoeken waarin zowel is gevraagd naar de mate van slaapverstoring als waarin de blootstelling aan nachtelijk verkeersgeluid is bepaald op de hoogst belaste gevel van de woning voor in totaal bijna 23000 personen. Op basis van deze gegevens zijn verbanden afgeleid tussen de mate van blootstelling (L_{night}) en de verwachte mate van slaapverstoring ('ten minste enige verstoring' (LS), 'slaapverstoring' (S) en 'ernstige slaapverstoring' (HS)). Hierbij is dezelfde methode gebruikt als bij hinder. Figuur 2 toont het verband tussen het gevelniveau van nachtelijk wegverkeersgeluid (L_{night}) en het percentage ernstige slaapverstoring (%HS). De effecten van nachtelijk verkeersgeluid zijn ook op een andere manier aangetoond. Uit cohort-onderzoek in de regio Eindhoven is gebleken dat respondenten met een berekende nachtelijke blootstelling (L_{night}) hoger dan 35 dB vaker aangeven niet uitgerust op te staan en/of last te hebben van ochtendmoeheid (de Kluizenaar et al., 2009).



Figuur 2. Verband tussen geluidbelasting op de hoogst belaste gevel (L_{night}) en het verwachte percentage ernstig slaapverstoring (bron: Miedema & Vos, 2007).

2.3 Andere gezondheidseffecten van geluid

Naast de bovengenoemde gezondheidseffecten van geluid, is er steeds meer bewijs dat blootstelling aan omgevingslawaai op de lange termijn kan leiden tot stress gerelateerde gezondheidseffecten, waaronder hoge bloeddruk en cardiovasculaire aandoeningen (Babisch, 2008). Een groot cohortonderzoek naar het verband tussen de blootstelling aan wegverkeersgeluid en de prevalentie van hoge bloeddruk is uitgevoerd door De Kluizenaar et al. (2007). Daartoe is gebruik gemaakt van een bestaand cohort van de Universiteit Groningen (PREVEND). Voor een omvangrijke steekproef van ongeveer 40 000 inwoners van de stad Groningen zijn met een vragenlijst gezondheidsgegevens (o.a. medicijngebruik en voorkomen van hoge bloeddruk) verzameld; voor de PREVEND cohort (circa 8 500 respondenten) zijn ook bloeddrukmetingen gedaan. Met behulp van het instrument Urbis (Borst & Miedema, 2005), zijn geluidblootstellingen berekend die aan de cohortgegevens zijn toegevoegd. Uit analyse van de gegevens bleek dat blootstelling aan geluid door wegverkeer (> 55 dB) de kans op het voorkomen van hoge bloeddruk vergroot, evenals het gebruik van medicijnen tegen hoge bloeddruk. Deze

verbanden worden met name gevonden in de leeftijdsgroep tussen de 45 en 55 jaar, ook nadat is gecorrigeerd voor de berekende blootstelling aan fijn stof.

3. Beoordeling van geluid in de woonomgeving

Om beleidsmakers en ruimtelijke planners effectief te kunnen laten sturen op basis van de geluidssituatie en de impact van maatregelen op die geluidssituatie, is het belangrijk een set indicatoren te hebben die hanteerbaar is en die de belangrijkste effecten van geluid beschrijven. In de Nederlandse context veel toegepaste methodiek 'gezondheid - effect screening' (GES) wordt de milieusituatie helder inzichtelijk gemaakt door verschillende aspecten te scoren op basis van het niveau ten opzicht van de streefwaarde (zoals $L_{eqm} = 50$ dB voor geluid). Door deze scores op te tellen worden knelpunten in kaart gebracht ([Handboek Gezondheidseffectscreening Stad en Milieu 2010](#)).

Om meer inzicht te krijgen in de deelaspecten, zijn meer gedetailleerde indicatoren nodig die inzicht geven in verschillende deelaspecten en rekening houden met de werkelijke belasting van woningen.

In het kader van het zevende kaderprogramma is een Europees onderzoeksproject Quiet City (QCity) uitgevoerd, dat er op was gericht om lokale overheden te ondersteunen bij de uitvoering van de EU richtlijn Omgevingslawaai. Als onderdeel van dit project is de stand van de kennis op dit gebied vertaald naar een noise rating system (Miedema & Borst 2007).

Dit noise rating system is er op gericht hanteerbare indicatoren af te kunnen leiden uit geluidkaarten, die de geluidssituatie goed beschrijven. Uitgangspunt voor de indicatoren is dat de effecten die ze beschrijven wetenschappelijk aangetoond moeten zijn, dus gebaseerd op empirisch vastgestelde dosis-effect relaties. Op basis hiervan zijn vier indicatoren gekozen:

1. Algehele geluidssituatie in de woonwijk: percentage ernstig gehinderden (%HA);
2. Nachtelijk geluidssituatie in de woonwijk: percentage ernstig slaapverstoorden (%HS);
3. Hot spots: (gewogen) aantal mensen met overschrijding van een limietwaarde L (nL);
4. Niet-stille gebieden: percentage oppervlak met $L_{den} > 50$ dB(A) (AREA50).

In dit noise rating systeem wordt aangegeven hoe deze waarden kunnen worden berekend op basis van geluidkaarten, mits deze ruimtelijk dekkend zijn en voldoende ruimtelijk detail bevatten.

Het noise rating systeem biedt ook de mogelijkheid om niet alleen rekening te houden met het geluidsniveau op de hoogst belaste gevel maar ook isolatie van de woning, stille zijden van de woning en de aan- of afwezigheid van stille plekken in de nabijheid van de woning. Een dergelijke verfijning van de blootstelling van woningen en de directe omgeving aan geluid is onderwerp van actueel onderzoek, onder meer in Europees onderzoeken CityHush en QSIDE die als vervolg op QCity kunnen worden beschouwd. Uit Zweeds onderzoek (Öhrström et al, 2006) en Nederlands onderzoek (De Kluizenaar et al 2011) blijkt dat de aanwezigheid van een geluidsluwe zijde van de woning leidt tot een vermindering van geluidhinder. In Noors

onderzoek werd daarentegen geen positief effect gevonden van een geluidsluwe gevel (Klaeboe 2007).

Er is vooralsnog gekozen om in het noise rating systeem alleen hinder en slaapverstoring op te nemen. Hoewel van andere gezondheidseffecten, zoals cardiovasculaire aandoeningen, ook de relatie met geluid is aangetoond, zijn deze minder vaak voorkomend en niet aangetoond in alle leeftijdsgroepen..

Momenteel is onderzoek er op gericht te onderzoeken of de systematiek van de 'Disability adjusted life years' , welke wordt toegepast op landelijke schaal (Knol & Staatsen, 2005) ook lokaal toepasbaar gemaakt kan worden.

4. Toepassing in planning support systeem: Urban Strategy

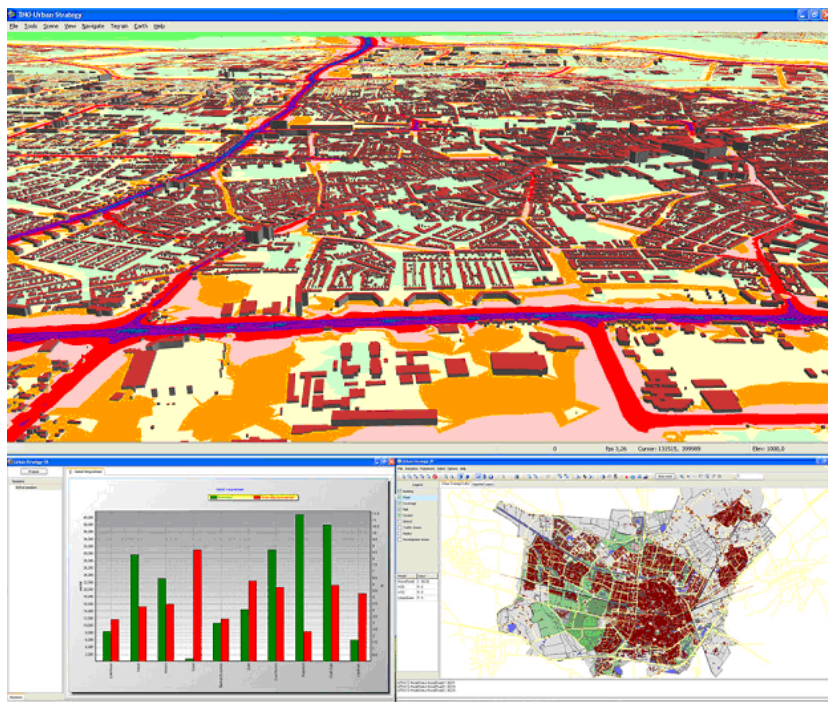
Om de kennis over de relatie tussen geluid en effecten ervan toepasbaar te kunnen maken voor lokale overheden, is het instrument Urbis ontwikkeld en ingezet (Borst & Miedema, 2005). In dit instrument, gebaseerd op een geografisch informatie systeem (GIS), zijn geluid- en luchtkwaliteitmodellen geïmplementeerd voor elke stap van de zogenoemde causaliteitsketen:

Activiteit → Emissie → Niveau → Blootstelling → Effect.

Dit instrument is in verschillende cases ingezet, ondermeer voor het maken van geluidkaarten en actieplannen in het kader van de EU richtlijn Omgevingslawaai voor de gemeente Amsterdam (Borst et al., 2006). Echter, in ruimtelijke planvormingsprocessen, waarin de verschillende plannen elkaar in hoog tempo opvolgen, is er de behoefte om direct inzicht te krijgen in de gevolgen van plannen en maatregelen. Ook is er de behoefte om meerdere aspecten tegelijk te kunnen afwegen. Daarom is deze kennis geïmplementeerd in het software instrument Urban Strategy (Borst et al., 2007).

Urban Strategy is er op gericht ruimtelijke planvorming te verbeteren op het schaalniveau van de stad of stadsregio. In dit instrument zijn verschillende rekenmodellen gekoppeld aan een database en interfaces om zicht te kunnen geven op prestatie indicatoren en kaarten. Ingrepen in infrastructuur, landgebruik, gebouwde objecten en de functies ervan kunnen direct doorgerekend en gevisualiseerd worden. Hiervoor zijn modellen gekoppeld met betrekking tot onder meer verkeer, luchtkwaliteit, veiligheid en geluid. Zo wordt inzicht gegeven in de kwaliteit van de huidige situatie en de gevolgen van verschillende plannen. Deze kunnen worden verkend in de tijdspanne van een workshop met eindgebruikers.

Uitgangspunt voor het instrument Urban Strategy was om bestaande state-of-the-art modellen te gebruiken met betrekking tot, naast geluid, onder meer verkeer, luchtkwaliteit, CO₂ en veiligheid. Om de verschillende modellen met elkaar te kunnen laten samenwerken wordt gebruik gemaakt van een database met een uniform datamodel, een set interfaces die naast een 3D weergave van de gemodelleerde situatie ook indicatoren kunnen weergeven en een raamwerk dat de communicatie tussen de modellen en de interfaces verzorgt. Om het systeem interactief te kunnen laten werken, zijn de modellen veel sneller gemaakt dan voorheen. Daarnaast zijn de modellen interactief gemaakt. Om deze modellen samen te laten werken in een interactief systeem, is een software architectuur ontwikkeld waarin de verschillende modellen, de interfaces en de database aan elkaar zijn gekoppeld.



Figuur 3. De drie interfaces van Urban Strategy: boven: 3D, linksonder: Indicatoren (1D), rechtsonder: GIS interface (2D).

In Urban Strategy zijn, met betrekking tot geluid, geluidmodellen en het eerder in dit artikel beschreven noise rating systeem geïmplementeerd. Deze maken het mogelijk om snel inzicht te krijgen in de geluidsituatie. De manier waarop dit wordt toegepast hangt sterk af van de context van de toepassing. Hieronder worden drie voorbeelden beschreven die dit illustreren.

In de provincie Zuid Holland zijn met behulp van Urban Strategy varianten onderzocht om een veilingterrein te ontsluiten. Hierbij werd alleen gekeken naar de overschrijding van wettelijke grenswaarden in het kader van de Wet geluidhinder (Wgh), dus niet naar de indicatoren uit het noise rating systeem. Deze toepassing was sectoraal (alleen geluid) en op een klein gebied. Er werd gerapporteerd aan de professionals van de gemeente en een ondersteunend adviesbureau.

In een studie voor de gemeenten Muiden en Weesp is gekeken naar de gevolgen van diverse ontwikkelingen waaronder de verbreding van de rijksweg A1/A6. Het verbreden van deze weg zal consequenties kunnen hebben voor de verkeerssituatie op lokale ontsluitingswegen, luchtkwaliteit en geluid. TNO heeft het instrument Urban Strategy toegepast om onderzoek te doen naar de gevolgen van de geplande ontwikkelingen in het gebied en alternatieven voor bovenwettelijke maatregelen. Ten aanzien van geluid is vooral gekeken naar de te realiseren geluidkwaliteit, waarbij een ambitie werd geformuleerd die hoger lag dan wat wettelijk noodzakelijk is. In dit project is met Urban Strategy direct gerapporteerd aan de colleges en de raden van de betreffende gemeenten. Ten aanzien van geluid werd gestuurd op de overschrijding van 48 dB (Lden) in het gebied en het percentage ernstig gehinderden.

In de gemeente Rotterdam is en wordt Urban Strategy ingezet om te ondersteunen bij de transitie van het Stadshavensgebied. Dit gebied, dicht bij het centrum van Rotterdam, heeft momenteel vooral functies die direct aan de havenactiviteiten zijn gerelateerd. Met de komst van de tweede Maasvlakte ontstaat de ruimte om deze activiteiten verder van het stadscentrum te plaatsen en zo ruimte te creëren voor andere functies, zoals wonen, kantoren, winkels en andere voorzieningen. Om er voor te zorgen dat in deze transitie de fysieke leefbaarheid, inclusief geluid, steeds gewaarborgd is, is een goede planning van de transitie nodig. Om hier inzicht in te geven worden met Urban Strategy verschillende scenario's uitgewerkt. Geluid is, naast veiligheid en luchtkwaliteit, een belangrijke factor. Hierbij worden verschillende partijen binnen de gemeente betrokken, waaronder de milieupartners van de Milieudienst Rijnmond (DCMR), stedenbouwkundigen, het havenbedrijf Rotterdam en gemeentelijke diensten: gemeentewerken, dS+V en OBR. In dit project werd gestuurd op een groot aantal indicatoren. Met betrekking tot geluid is gewerkt met een deel van het noise rating systeem, namelijk het percentage ernstige hinder.

5. Conclusie

Omgevingsgeluid is een belangrijke factor om rekening mee te houden bij de (her)inrichting van wijken. Vooral wegverkeer is een bron van geluidhinder, slaapverstoring en andere gezondheidseffecten, zoals cardiovasculaire aandoeningen. Om in de ruimtelijke planning effectief de negatieve effecten van geluid terug te kunnen brengen, wordt onderzoek gedaan naar de negatieve effecten van geluid op de mens. Omdat deze cardiovasculaire effecten minder vaak voorkomen en omdat deze niet zijn aangetoond in alle leeftijdsgroepen, zijn deze effecten in het door TNO ontwikkelde *noise rating* systeem nog niet meegenomen.

TNO maakt de kennis over geluid en de effecten ervan toepasbaar met het instrument Urban Strategy. In dit instrument kan geluid samen met andere relevante aspecten, zoals verkeer, luchtkwaliteit en veiligheid worden afgewogen. In dit artikel zijn een aantal voorbeelden gegeven van hoe Urban Strategy wordt ingezet. Hoewel met bestaande instrumenten dezelfde informatie kan worden verkregen, is het unieke aan Urban Strategy dat verschillende aspecten integraal inzichtelijk kunnen worden gemaakt en alternatieve scenario's of oplossingen veel sneller kunnen worden geëvalueerd. Het gezamenlijk bedenken en evalueren van plannen en maatregelen kan het begrip van de case en de interactie tussen verschillende stakeholders mogelijk vergroten. Omdat er bij de beschreven cases nog geen meting is gedaan, kunnen we niet objectief toetsen of Urban Strategy de besluitvorming heeft verbeterd in de beschreven cases. Echter, uit evaluaties in andere cases (Brömmelstroet en Borst, 2012) lijkt dit wel te worden bevestigd.

Door de kennis over de effecten van geluid toepasbaar te maken in een planning support systemen, zoals Urban Strategy, kan deze effectief worden gebruikt door planners, beleidsmakers en bestuurders op lokale schaal. Afhankelijk van de toepassing wordt momenteel naar verschillende indicatoren gekeken. In de praktijk is het *noise rating* systeem nog niet in zijn volle breedte benut. Echter, door het systeem onder de aandacht te brengen, kan het gebruik ervan in planprocessen toenemen. Zo kan worden gewerkt aan een optimaal geluidklimaat in onze gebouwde omgeving.

Referenties

- Babisch, W., Beule, B., Schust, M., Kersten, N., Ising, H. (2005). Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology*, 16, 33–40.
- Babisch, W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise Health*, 10(38), 27-33.
- Babisch, W. and Kamp, I. van (2009). Exposure-response relationship of the association between aircraftnoise and the risk of hypertension. *Noise & Health*, 11(44), 161-168.
- Berglund, B., Lindvall, T., and Schwela, D.H. (1999). *Guidelines for Community Noise*. World Health Organisation. Geneva: World Health Organisation. Community Noise.
- Borst, H. C., H.M.E. Miedema, "Comparison of noise impact indicators, calculated on the basis of noise maps of DENL," *Acta Acust.* 91, 378–385, 2005.
- Borst, H.C., Miedema, H.M.E., Laan, W.P.N. van der, Lohman, W.J.A. (2006). Evaluating Noise Abatement Measures Using Strategic Noise Maps. *Proceedings Euronoise*. Tampere, Finland.
- Borst, H.C., Miedema, H.M.E., Lohman, W.J.A. (2007). Interactive noise maps for action planning in the framework of the European Noise Directive. *Proceedings of Internoise 2007*. Istanbul, Turkey.
- Brömmelstroet, M. te, Borst, H.C. (2012) Vergroten van de bruikbaarheid van planningsondersteunende instrumenten, Een empirische toets van Mediated Planning Support en Urban Strategy als oplossingsrichtingen. *Tijdschrift Vervoerswetenschappen*, 48 (3), 29-49.
- EEA. (2009). *Are we moving in the right direction? Indicators on transport and environmental integration in the EU*. *Environmental Issue Report 12*. Online document at URL <http://www.eea.europa.eu/publications/ENVISSUENo12/page009.html>
- European Topic Centre on Land Use and Spatial Information. (2010). *Noise Observation and Information Service for Europe*. Online document at URL <http://noise.eionet.europa.eu/>
- Gezondheidsraad. (1994). "Noise and Health," *Report of a committee of the Health Council of the Netherlands*, Report no. 1994/15E, Gezondheidsraad, Den Haag.
- Klaeboe, R. (2007). Are adverse impacts of neighbourhood noisy areas the flip side of quiet area benefits? *Appl. Acoust.*, 68, 557-575.
- Kluizenaar, Y. de, Gansevoort, R.T., Miedema, H.M.E., Jong, P.E. de (2007). Hypertension and Road Traffic Noise Exposure. *JOEM*, 4(5), 484-492.
- Kluizenaar, Y. de, Janssen, S.A., Lenthe, F.J. van, Miedema, H.M.E., Mackenbach, J.P. (2009). Long-term road traffic noise exposure is associated with an increase in morning tiredness. *J. Acoust. Soc. Am.* 126(2), 626-633.
- Kluizenaar, Y. de, Salomons, E.M., Janssen, S.A., Lenthe, F.J. van, Vos, H., Zhou, H., Miedema, H.M.E., Mackenbach, J.P. (2011). Urban road traffic noise and annoyance: the effect of a quiet façade. *J. Acoust. Soc. Am.* 130, 1936-1942.
- Knol, A.B., Staatsen, B.A.M. (2005). *Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980 - 2020*, RIVM report 500029001 / 2005. RIVM, Bilthoven, Nederland.

Borst, Janssen, Kluizenaar, Salomons en Miedema

Gezondheidseffecten van verkeersgeluid in ruimtelijke planning: Hoe gezondheidseffecten van verkeersgeluid worden onderzocht en toepasbaar gemaakt in ruimtelijke planning

Miedema, H.M.E. and Oudshoorn, C.G.M. (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environ. Health. Perspect.* 109, 409–416.

Miedema, H.M.E, Borst, H.C. (2007). Rating environmental noise on the basis of noise maps, QCity report D.1.5., February 2007.

Miedema, H.M.E., and Vos, H. (2007). Associations between Self-Reported Sleep Disturbance and Environmental Noise Based on Reanalyses of Pooled Data from 24 Studies. *BEHAVIORAL SLEEP MEDICINE.* 5(1), 1–20.

Öhrström, E, Skanberg, A., Svensson, H., and Gidlöf-Gunnarsson, A. (2006). Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *J. Sound Vib.* 295, 40–59.