

# ACTIE 1.4.5 ONDERZOEKSVRAGEN

## VERSLAG “GELUID”

JIRKA COPS, LOTTE MOLLEN, KAREN VAN DE VEL

02-11-2020

## INHOUDSTAFEL

|                     |                                                            |           |
|---------------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>HOOFDSTUK 1.</b> | <b>Vraagstelling</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>HOOFDSTUK 2.</b> | <b>Definities geluid</b>                                   | <b>10</b> |
| 2.1                 | <i>Wat is geluid</i>                                       | 10        |
| 2.2                 | <i>Amplitude en frequentie van een geluidsgolf</i>         | 11        |
| 2.3                 | <i>Geluidsniveau</i>                                       | 11        |
| 2.3.1               | <i>Weging van geluidsniveau</i>                            | 12        |
| 2.4                 | <i>Effect van geluid op mensen</i>                         | 13        |
| 2.5                 | <i>Geluidsindicatoren</i>                                  | 14        |
| <b>HOOFDSTUK 3.</b> | <b>Regelgeving</b>                                         | <b>15</b> |
| 3.1                 | <i>De Europese Richtlijn Omgevingslawaai</i>               | 15        |
| 3.2                 | <i>Advieswaarden WHO</i>                                   | 16        |
| 3.3                 | <i>Vlaamse regelgeving omtrent omgevingslawaai</i>         | 17        |
| 3.3.1               | <i>VLAREM</i>                                              | 17        |
| 3.4                 | <i>Wegcode</i>                                             | 19        |
| 3.5                 | <i>Lokale wetgeving</i>                                    | 19        |
| 3.5.1               | <i>Politiecodex</i>                                        | 19        |
| 3.5.2               | <i>Stad Antwerpen</i>                                      | 19        |
| 3.6                 | <i>Wetgeving in het buitenland</i>                         | 20        |
| 3.6.1               | <i>Nederland – wegverkeer (brommers en scooters)</i>       | 20        |
| <b>HOOFDSTUK 4.</b> | <b>Geluidskaarten</b>                                      | <b>20</b> |
| 4.1                 | <i>Geluidsbelastingskaarten</i>                            | 20        |
| 4.1.1               | <i>Geluidsbelastingskaarten in kader van END-richtlijn</i> | 20        |
| 4.1.2               | <i>MIRA-geluidsindicatoren</i>                             | 21        |
| 4.1.3               | <i>GES-kaarten voor geluid</i>                             | 22        |
| 4.2                 | <i>Nut en beperkingen van geluidskaarten</i>               | 23        |
| 4.2.1               | <i>Bepalen van geluidsniveaus</i>                          | 23        |
| 4.2.2               | <i>Bepalen van blootstelling en gezondheidseffecten</i>    | 23        |
| 4.2.3               | <i>Scenarioberekeningen</i>                                | 23        |
| 4.2.4               | <i>Geluidsmetingen</i>                                     | 24        |
| 4.2.5               | <i>Sociale-media gegevens</i>                              | 24        |
| <b>HOOFDSTUK 5.</b> | <b>Gezondheidseffecten van geluid</b>                      | <b>25</b> |
| 5.1                 | <i>Cardiovasculaire aandoeningen</i>                       | 26        |

|                     |                                                                                                                |           |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2                 | <i>Ernstige hinder</i>                                                                                         | 27        |
| 5.2.1               | Ernstige hinder door wegverkeer                                                                                | 28        |
| 5.2.2               | Ernstige hinder door spoorverkeer                                                                              | 28        |
| 5.2.3               | Ernstige hinder door luchtverkeer                                                                              | 29        |
| 5.2.4               | Ernstige hinder door windturbines                                                                              | 30        |
| 5.3                 | <i>Ernstige slaapverstoring</i>                                                                                | 30        |
| 5.3.1               | Ernstige slaapverstoring door wegverkeer                                                                       | 31        |
| 5.3.2               | Ernstige slaapverstoring door spoorverkeer                                                                     | 32        |
| 5.3.3               | Ernstige slaapverstoring door luchtverkeer                                                                     | 33        |
| 5.4                 | <i>Begrijpend lezen en mondeling begrip</i>                                                                    | 33        |
| 5.5                 | <i>Effecten op gehoor en tinnitus/permanente gehoorschade</i>                                                  | 34        |
| 5.6                 | <i>Andere geluidsbronnen</i>                                                                                   | 35        |
| 5.6.1               | Geluid afkomstig van windturbines                                                                              | 35        |
| 5.6.2               | Recreatiegeluid                                                                                                | 36        |
| 5.6.3               | ANDERE GELUIDSBRONNEN                                                                                          | 37        |
| <b>HOOFDSTUK 6.</b> | <b>Maatregelen tegen geluid(shinder) (van verkeer)</b>                                                         | <b>37</b> |
| 6.1                 | <i>Algemeen</i>                                                                                                | 37        |
| 6.2                 | <i>Prioriteitenkader</i>                                                                                       | 38        |
| 6.3                 | <i>Casestudies</i>                                                                                             | 39        |
| 6.3.1               | Antwerpen: beoordelingskader milieukwaliteit voor scholen en kinderdagverblijven                               | 39        |
| 6.3.2               | Vlaamse Landmaatschappij – STeRio - Stiltegebieden in Vlaanderen                                               | 41        |
| 6.3.3               | Departement omgeving: ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen - stratenclusters Antwerpen              | 46        |
| 6.3.4               | Team Vlaams bouwmeester en Vlaams Agentschap Wegen en Verkeer – Voorbeeldenboek voor gewestwegen in Vlaanderen | 50        |
| 6.3.5               | Departement Omgeving - Milieu en Mobiliteit: wat kan je als gemeente doen?                                     | 56        |
| 6.3.6               | Natuurwaardeverkenner                                                                                          | 58        |
| <b>HOOFDSTUK 7.</b> | <b>Soundscape</b>                                                                                              | <b>60</b> |
| 7.1                 | <i>Wat is een soundscape</i>                                                                                   | 60        |
| 7.2                 | <i>Geluidsbronnen van een soundscape</i>                                                                       | 61        |
| 7.3                 | <i>Perceptie van een soundscape - kwadrantenmodel</i>                                                          | 62        |
| 7.4                 | <i>Hiërarchische classificatie van stedelijke soundscapes</i>                                                  | 63        |
| 7.5                 | <i>Invloed van audiovisuele interactie op de beleving van een soundscape</i>                                   | 64        |
| 7.6                 | <i>Effect van een soundscape op de publieke gezondheid en levenskwaliteit</i>                                  | 65        |
| 7.7                 | <i>Evaluatie van een soundscape</i>                                                                            | 65        |

|                                               |                                             |           |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------|
| 7.7.1                                         | Geluidswandeling                            | 66        |
| 7.7.2                                         | Citizen-science binnen soundscaping         | 67        |
| 7.8                                           | <i>Optimalisatie van een soundscape</i>     | 67        |
| 7.8.1                                         | Reductie van ongewenste geluiden            | 68        |
| 7.8.2                                         | Introductie van gewenste geluiden           | 68        |
| 7.9                                           | <i>Urban landscapes: planning en design</i> | 69        |
| 7.9.1                                         | Voorbeelden van soundscape toepassingen     | 70        |
| 7.9.2                                         | Stilteplekken                               | 71        |
| <b>Referenties</b>                            |                                             | <b>72</b> |
| <b>BIJLAGE A: voorbeeld autoluwe gemeente</b> |                                             | <b>74</b> |

## LIJST VAN FIGUREN

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1 Momentopname van geluidsgolf die zich doorheen medium verplaatst. ....                                                                                                                                                                                                                         | 10 |
| Figuur 2 Voorstelling van een trilling met grote amplitude (links) en kleine amplitude (rechts). ....                                                                                                                                                                                                   | 11 |
| Figuur 3 Voorbeelden van geluidssterkte van verschillende geluidsbronnen, figuur overgenomen uit LNE-rapport geluid. ....                                                                                                                                                                               | 12 |
| Figuur 4 Correctie in functie van de geluidsfrequentie voor A-, C- en G-weging. ....                                                                                                                                                                                                                    | 13 |
| Figuur 5 Voorstelling van het ogenblikkelijke geluidsniveau (rood) voor een tijdsduur T en het overeenkomstige equivalente geluidsniveau $L_{eq}$ (horizontale zwarte lijn). ....                                                                                                                       | 14 |
| Figuur 6 Strategische geluidsbelastingkaart voor wegverkeer met geluidsindicator $L_{den}$ , figuur overgenomen van <sup>15</sup> . ....                                                                                                                                                                | 21 |
| Figuur 7 Geluidbelastingkaart voor wegverkeer met geluidsindicator $L_{den}$ , figuur overgenomen uit [8]. ....                                                                                                                                                                                         | 22 |
| Figuur 8 GES-kaart voor geluid, figuur overgenomen uit [9]. ....                                                                                                                                                                                                                                        | 23 |
| Figuur 9 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer en luchtverkeer (uitgedrukt in $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1]. ....                                                                                                        | 27 |
| Figuur 10 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer (uitgedrukt in $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10]. ....                                                                                                                                  | 28 |
| Figuur 11 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van spoorverkeer (uitgedrukt in $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10]. ....                                                                                                                                | 29 |
| Figuur 12 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer (uitgedrukt in $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10]. ....                                                                                                                                | 29 |
| Figuur 13 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van windturbines (uitgedrukt in $L_{den}$ ). Figuur overgenomen uit [1], op basis van data van Janssen et al. [13] (rood, functie en 95% betrouwbaarheidsintervallen) en Kuwano et al. [14] (blauw). .... | 30 |
| Figuur 14 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer en luchtverkeer (uitgedrukt in $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1]. ....                                                                                                | 31 |
| Figuur 15 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer (uitgedrukt in $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10]. ....                                                                                                                           | 32 |
| Figuur 16 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van spoorverkeer (uitgedrukt in $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10]. ....                                                                                                                         | 32 |
| Figuur 17 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer (uitgedrukt in $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10]. ....                                                                                                                         | 33 |
| Figuur 18 Kans van achterstand in begrijpend lezen ten gevolge van blootstelling aan geluid van luchtverkeer in functie van de $L_{den}$ -waarde, bron [11]. ....                                                                                                                                       | 34 |
| Figuur 19 Overzicht van de vijf criteria van het prioriteitenkader van Vlaams Instituut Gezond Leven, figuur overgenomen van website <sup>14</sup> . ....                                                                                                                                               | 38 |
| Figuur 20 Beoordelingskader geluidshinder, overgenomen uit [19]. ....                                                                                                                                                                                                                                   | 40 |
| Figuur 21 Voorbeeld stiltegebied Gerhagen – Stiltegebied en poort tot de Merode, overgenomen uit [22]. ....                                                                                                                                                                                             | 43 |
| Figuur 22 Voorbeeld stiltegebied Abdij van Averbode, overgenomen uit [22]. ....                                                                                                                                                                                                                         | 44 |
| Figuur 23 Voorbeeld van legende bij beoordeling van de geluidshinder via strategische geluidsbelastingkaart. Overgenomen van [6], [23]. ....                                                                                                                                                            | 47 |
| Figuur 24 Basisprincipes van reductiestrategieën voor geluid. Overgenomen uit bron [6], [23]. ....                                                                                                                                                                                                      | 48 |
| Figuur 25 Overzicht van mogelijke geluidswerende maatregelen voor vier situaties en het type van directe omgeving (gekoppeld aan beschikbare ruimte). Overgenomen uit [24]. ....                                                                                                                        | 52 |
| Figuur 26 Elementen in de “perceptuele opbouw” van een soundscape. Overgenomen van ISO 2014 <sup>37</sup> . ....                                                                                                                                                                                        | 60 |
| Figuur 27 geluidsbronnen in een soundscape. Figuur overgenomen van [34]. ....                                                                                                                                                                                                                           | 61 |
| Figuur 28 Variatie in soundscapes als gevolg van (A) dag/nachtritme, (B) seizoenen, (C) hoogte of (D) omgeving. Figuur overgenomen van [33] en aangepast. ....                                                                                                                                          | 62 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 29 Kwadrantenmodel voor perceptie van een soundscape volgens twee primaire orthogonale dimensies: levendig (eventfulness) en aangenaam (pleasantness). Symbolen stellen de dominante geluidscategorieën voor: technologische geluiden (gevulde cirkels), natuurlijke geluiden (open vierkantjes), menselijke geluiden (gevulde vierkantjes) en niet-dominante geluiden (open cirkels). Figuur overgenomen van [35]. | 63 |
| Figuur 30 Overzicht van het voorstel voor de hiërarchische classificatie van stedelijke soundscapes. Overgenomen van [36].                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 64 |
| Figuur 31 Overzicht van de methoden en hulpmiddelen gebruikt voor soundscape-perceptieanalyse. Overgenomen van [39].                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 66 |
| Figuur 32 Voorbeeldvragen gebruikt in een soundwalk vragenlijst. Overgenomen van.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 66 |
| Figuur 33 Overzicht van stappen voor akoestisch ontwerp van een buitenruimte, overgenomen van [31] , en een voorbeeld van een urban landscape design waarbij een waterval en groene wand het buitengeluid reduceren.                                                                                                                                                                                                       | 70 |

## LIJST VAN TABELLEN

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1 Overzicht van de WHO-advieswaarden en mate van aanbeveling (sterk, voorwaardelijk, onvoldoende) voor de verschillende geluidsbronnen. Bron [1].....                                    | 17 |
| Tabel 2 Bijlagen van VLAREM II over geluid .....                                                                                                                                               | 18 |
| Tabel 3 Overzicht van gezondheidseffecten, onderverdeeld in kritische en belangrijke gezondheidseffecten, bron [1]. .....                                                                      | 25 |
| Tabel 4 Dosis-effectrelaties voor langdurige blootstelling aan verkeersgeluid en eindpunten van cardiovasculaire aandoeningen, gebaseerd op geluidsindicator $L_{den}$ .....                   | 26 |
| Tabel 5 Dosis-effectrelaties voor ernstige hinder, gebaseerd op geluidsindicator $L_{den}$ . .....                                                                                             | 27 |
| Tabel 6 Dosis-effectrelaties voor ernstige slaapverstoring, gebaseerd op geluidsindicator $L_{night}$ . .....                                                                                  | 31 |
| Tabel 7 Dosis-effectrelaties voor begrijpend lezen, gebaseerd op geluidsindicator $L_{den}$ , bron [11].....                                                                                   | 34 |
| Tabel 8 Algemene maatregelen voor optimalisatie van de soundscape en voor reductie van gezondheidseffecten van geluid, WHO indeling [1].....                                                   | 37 |
| Tabel 9 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader .....                                                                                       | 41 |
| Tabel 10 Indeling van maatregelen in stiltegebied Gerhagen volgens WHO-kader. ....                                                                                                             | 45 |
| Tabel 11 Indeling van maatregelen in stiltegebied Averbode volgens WHO-kader. ....                                                                                                             | 46 |
| Tabel 12 Reductiestrategieën voor geluid als gevolg van het verkeer in street canyons [6], [23]. ....                                                                                          | 48 |
| Tabel 13 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader. ....                                                                                      | 49 |
| Tabel 14 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader. ....                                                                                      | 56 |
| Tabel 15 Overzicht van verschillende maatregelen voor gemeentes voor een positieve impact op de luchtkwaliteit en/of het geluidsniveau, overgenomen van Vlaams Departement Omgeving [25]. .... | 57 |
| Tabel 16 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader. ....                                                                                      | 58 |
| Tabel 17 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader .....                                                                                      | 59 |
| Tabel 18 Overzicht van de verschillen tussen het beheer van omgevingsgeluid en van een soundscape, overgenomen uit [31]. ....                                                                  | 60 |

## LIJST VAN AFKORTINGEN

|                          |                                                                                      |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>%HA</b>               | percentage ernstig gehinderden                                                       |
| <b>%HSD</b>              | Percentage ernstig slaapverstoorden                                                  |
| <b>AWV</b>               | Vlaams Agentschap Wegen en Verkeer                                                   |
| <b>AZG</b>               | Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid                                                 |
| <b>CNG</b>               | Guidelines for Community Noise                                                       |
| <b>CNOSSOS</b>           | Commission developed Common NOise aSSessment methOdS                                 |
| <b>DALY</b>              | Disability Adjusted Life Year                                                        |
| <b>dB</b>                | Decibel                                                                              |
| <b>EEA</b>               | European Environment Agency (Europees Milieuagentschap)                              |
| <b>END</b>               | Environmental Noise Directive (Europese Richtlijn Omgevingslawaaï)                   |
| <b>IPO</b>               | Interbestuurlijk Plattelandsoverleg                                                  |
| <b>L<sub>den</sub></b>   | L <sub>day-evening-night</sub>                                                       |
| <b>L<sub>night</sub></b> | A-gewogen geluidsniveau, gemiddeld over een 8h-tijdsperiode tijdens de nacht,        |
| <b>L<sub>Aeq,T</sub></b> | A-gewogen equivalente geluidsniveau.                                                 |
| <b>L<sub>Amax</sub></b>  | maximum A-gewogen geluidsniveau dat optreedt in een tijdsinterval van typisch 125 ms |
| <b>NAP</b>               | Noise Action Plan                                                                    |
| <b>NSG</b>               | Nederlandse Stichting Geluidshinder                                                  |
| <b>MIRA</b>              | Milieurapport Vlaanderen                                                             |
| <b>PO MGZ</b>            | Partnerorganisatie Milieugezondheidszorg                                             |
| <b>RANCH</b>             | Road Traffic and Aircraft Noise Exposure and Children's Cognition and Health         |
| <b>RIVM</b>              | Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu                                        |
| <b>RR</b>                | Relatief risico                                                                      |
| <b>STeRio</b>            | Stilte en Rust                                                                       |
| <b>VLAREM</b>            | Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning                                     |
| <b>WHO</b>               | World Health Organization (Wereldgezondheidsorganisatie)                             |

## HOOFDSTUK 1. VRAAGSTELLING

Geluid is altijd een onmisbaar onderdeel van de samenleving geweest: het waarschuwt van oudsher mens en dier voor gevaar en is het belangrijkste communicatiemiddel. De mens kan van geluid genieten: denk maar aan muziek, geluiden uit de natuur. Maar geluid kan ook als onaangenaam ervaren worden. Door de toenemende verstedelijking, volume groei in mobiliteit en onze non-stop economie worden steeds meer mensen blootgesteld aan continu omgevingsgeluid. Dit kan leiden tot gezondheidseffecten als hinder, slaapverstoring, maar ook tot de ontwikkeling van ziektes.

In het MIRA-rapport (Milieुरapport Vlaanderen) van 2012 werd de totale ziektelast in Vlaanderen bepaald voor een aantal milieustressoren. Blootstelling aan verkeersgeluid stond op de tweede plaats en was verantwoordelijk voor een verlies van 7400 gezonde levensjaren voor de Vlaamse bevolking. In de berekeningen werd enkel verkeer afkomstig van drukke wegen, spoorwegen & luchthavens in rekening genomen en werd de impact op volgende gezondheidseffecten becijferd: ernstige slaapverstoring, ischemische hartziekten, sterke hinder. Indien andere geluidsbronnen zouden meegenomen zijn in de analyse, zou de gezondheidsimpact nog hoger uitvallen.

Binnen de Partnerorganisatie Milieugezondheidszorg (PO MGZ) werden in samenspraak met het Agentschap Zorg en Gezondheid (AZG) een aantal onderzoeksvragen rond gezonde mobiliteit uitgewerkt. Per onderzoeksvraag wordt een rapport opgesteld. Dit rapport geeft voor blootstelling aan omgevingsgeluid een overzicht van de huidige wetgeving, beschikbare geluidsgegevens, gezondheidseffecten en maatregelen om de blootstelling te beperken. Het rapport is als volgt opgebouwd:

- ▼ In HOOFDSTUK 2 worden definities, begrippen en eigenschappen i.v.m. geluid gegeven, deze worden gebruikt in de hierop volgende hoofdstukken.
- ▼ HOOFDSTUK 3 beschrijft de regelgeving op Europees niveau, de implementatie ervan en andere wetgeving op Vlaams niveau en lokaal niveau. Voor een aantal geluidsbronnen wordt gekeken naar regelgeving in het buitenland.
- ▼ Geluidsbelastingskaarten worden gebruikt om de geluidsniveaus gebiedsdekkend te evalueren. HOOFDSTUK 4 beschrijft welke geluidskaarten bestaan voor Vlaanderen, het nut ervan alsook de beperkingen.
- ▼ HOOFDSTUK 5 geeft een update van de gezondheidseffecten van blootstelling aan omgevingsgeluid, met resultaten uit de recente studie van de Wereldgezondheidsorganisatie (World Health Organization, WHO)[1].
- ▼ In HOOFDSTUK 6 komen een aantal maatregelen tegen geluidshinder van verkeer aan bod.
- ▼ In HOOFDSTUK 7 wordt het begrip soundscape geïntroduceerd en toegepast op stedelijke omgevingen.

Dit rapport zal dienen als input voor het opstellen van een samenvatting.

## HOOFDSTUK 2. DEFINITIES GELUID

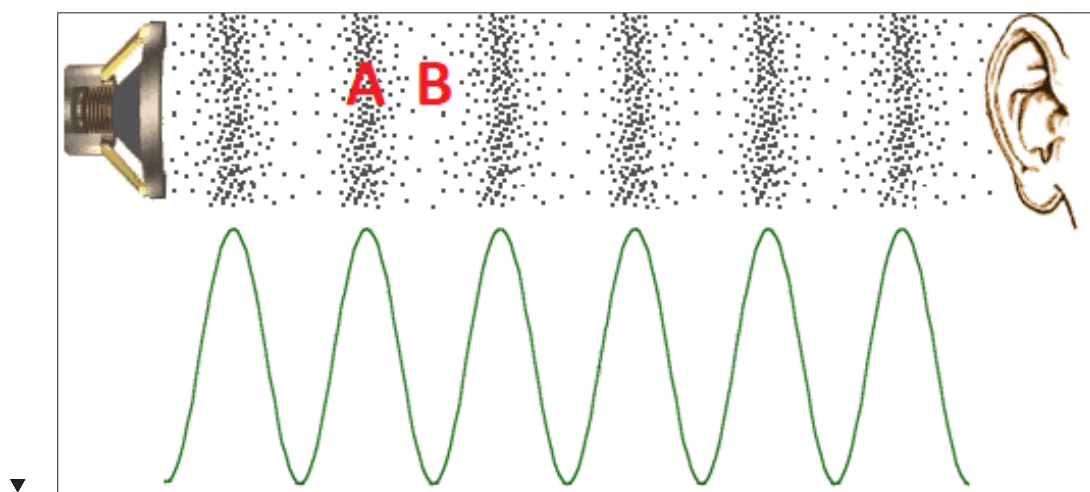
We geven hieronder enkele belangrijke definities en begrippen weer i.v.m. geluid. Deze begrippen zullen in de volgende hoofdstukken gebruikt worden.

### 2.1 WAT IS GELUID

Een geluidsgolf is een opeenvolging van drukveranderingen die zich voortplanten in een samendrukbaar medium zoals lucht, water of vaste materialen.

De oorzaak van een geluidsgolf is een heen-en-weer trillend voorwerp (= **geluidsbron**) dat het medium errond aan het trillen brengt. Eerst trillen de deeltjes van het medium dichtbij de geluidsbron, daarna beginnen ook de deeltjes verder van de bron te trillen. De snelheid waarmee het geluid zich voortplant in het medium noemt men de **geluidssnelheid**. De geluidssnelheid hangt af van het type medium en de temperatuur ervan. De geluidssnelheid in lucht bedraagt ongeveer 1200 km/u.

Door het voortdurend heen- en weer trillen van de deeltjes, zitten op een bepaald ogenblik op plaats A in het medium deeltjes dicht bij elkaar (hoge druk), terwijl op plaats B in het medium deeltjes verder uit elkaar zitten (lage druk). Even later zitten op plaats A in het medium de deeltjes verder uit elkaar (lage druk), terwijl dan op plaats B in het medium de deeltjes dicht bij elkaar zitten (hoge druk). Figuur 1 toont de gebieden van hoge en lage druk op een bepaald ogenblik. Als je de druk bekijkt in functie van de plaats tussen de geluidsbron (voorgesteld door een luidspreker) en de ontvanger van het geluid (voorgesteld door het oor), zie je dat dit een sinusvormige functie is.

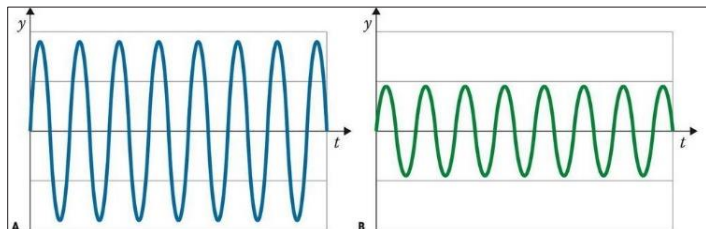


Figuur 1 Momentopname van geluidsgolf die zich doorheen medium verplaatst.

- ▼ Als voorbeeld nemen we als geluidsbron een draaiende motor of het geluid van banden die over een wegdek rollen. De beweging van de motoronderdelen of van de rollende banden brengt luchtdeeltjes in de directe omgeving ervan aan het trillen. Deze trilling wordt doorgegeven doorheen de lucht en brengt uiteindelijk het trommelveel van een persoon aan het trillen. Deze trilling wordt verder overgebracht naar het middenoor: via de gehoorbeentjes wordt er een golf opgewekt in de cochlea. Deze beweging wordt verder omgezet in een elektrisch signaal dat in de hersenen geïnterpreteerd wordt als geluid en de persoon hoort dan het geluid voortgebracht door de draaiende motor of door de rollende banden.

## 2.2 AMPLITUDE EN FREQUENTIE VAN EEN GELUIDSGOLF

De **amplitude** (maximale uitwijking) van de trilling bepaalt de **geluidssterkte** (hoe luid een toon klinkt). In Figuur 2 heeft de linkse trilling een grotere amplitude dan de rechtse, bijgevolg zal de linkse trilling luider klinken dan de rechtse trilling.



Figuur 2 Voorstelling van een trilling met grote amplitude (links) en kleine amplitude (rechts).

De **frequentie** van de trilling, het aantal trillingen dat wordt uitgevoerd per seconde, bepaalt de **toonhoogte** (hoe hoog of laag een toon klinkt). In Figuur 2 heeft de linkse trilling een lagere frequentie dan de rechtse, bijgevolg zal de linkse trilling een lagere toon produceren dan de rechtse trilling.

We merken hierbij op dat een geluidsgolf slechts uitzonderlijk uit één enkele frequentie bestaat (bv. zoals bij stemvork), dit noemt men een zuivere of enkelvoudige toon. Meestal is geluid een combinatie van meerdere trillingen met verschillende frequenties, dit noemt men een samengestelde toon.

- ▼ De gevoeligheid van het menselijk oor hangt af van de frequentie van het geluid:
- ▼ Het bereik van het menselijk gehoor ligt tussen 20 en 20.000 Hz, het menselijk gehoor is het gevoeligst voor frequenties tussen 300 en 6.000 Hz.
- ▼ Geluid zoals in de buitenlucht natuurlijk voorkomt ligt meestal in het frequentiegebied 400-2.500 Hz.
- ▼ Hoogfrequent geluid is geluid met een frequentie boven 20.000 Hz.
- ▼ Laagfrequent geluid is geluid met een frequentie beneden 100 Hz.
- ▼ Geluid met frequenties onder 20 Hz wordt infrageluid genoemd. Dit is alleen waarneembaar voor mensen als het heel sterk is, de waarneming is dan niet als geluid te herkennen maar meer als een trilling/vibratie.

## 2.3 GELUIDSNIVEAU

We ervaren in het dagelijks leven dat het geluid luider klinkt dichtbij een geluidsbron (bv. een draaiende motor) dan verder weg van de geluidsbron. Zoals hierboven gezien, betekent dit dat deeltjes dichtbij de geluidsbron met een grotere amplitude trillen dan deeltjes verder weg van de geluidsbron. Dit komt omdat de energie die een geluidsbron uitstuurt, over steeds meer en meer deeltjes moet verdeeld worden als je verder weg gaat van de geluidsbron. Een deeltje verder weg van de geluidsbron krijgt minder energie en kan minder hard trillen dan een deeltje dichtbij de geluidsbron. Het deel van de uitgestuurde energie dat in een bepaald punt terecht komt, noemen we de **geluidsintensiteit** in dat punt. Des te verder weg van de geluidsbron, des te kleiner de geluidsintensiteit.

De geluidssterkte die we als mens ervaren op een bepaalde plaats verandert echter niet lineair met de geluidsintensiteit op die plaats, maar op logaritmische manier. Dit logaritmisch verband wordt weergegeven met de grootheid **geluidsniveau** met als symbool  $L$ .

Het geluidsniveau wordt bepaald relatief tot het stilste geluidsniveau dat het menselijk oor kan waarnemen, de eenheid van de geluidsniveauschaal is de decibel (dB). Het menselijk oor neemt geluiden vanaf een geluidsniveau van 0 dB waar en ervaart geluiden met een geluidsniveau boven 120 dB als pijnlijk. Figuur 3 geeft een overzicht van typische geluidsterktes voor veelvoorkomende geluidsbronnen.

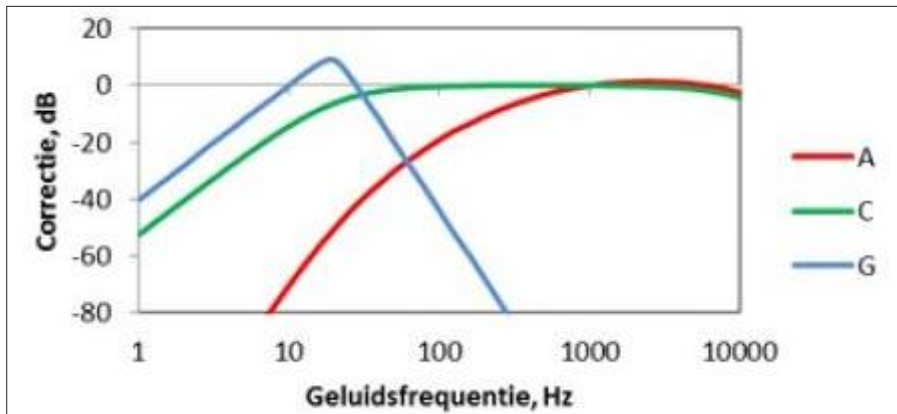
| dB(A) | Beleving                                   | Voorbeelden                                                                       |
|-------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 0     | Hoordrempel                                |                                                                                   |
| 10    | Net hoorbaar                               | normale ademhaling, vallend blad                                                  |
| 20    |                                            | boomblaadjes in de wind, fluisteren op 1.5 m                                      |
| 30    | Erg stil                                   | bibliotheek (30-40 dB), zacht gefluister op 5 m                                   |
| 40    |                                            | zacht geroezemoes in een klas                                                     |
| 50    | Rustig                                     | koelkast, in het bos                                                              |
| 55    |                                            | koffiezetapparaat, elektrische tandenborstel (50-60 dB)                           |
| 60    | Indringend                                 | normale conversatie, wasmachine (50-75 dB),                                       |
| 70    | Storend bij telefoneren                    | verkeer op de snelweg, stofzuiger (60-85 dB)                                      |
| 75    |                                            | druk restaurant (70-85 dB)                                                        |
| 80    | Hinderlijk                                 | zwaar verkeer (80-85 dB) op 15 m, toilet doorspoelen (75-85 dB)                   |
| 85    |                                            | foodprocessor (80-90 dB), geluid van vliegtuig door de geluidsbarrière (80-89 dB) |
| 90    | Zeer hinderlijk, gehoorbeschadiging na 8 u | druk stadsverkeer, mixer (80-90 dB)                                               |
| 95    |                                            | elektrische drillboor                                                             |
| 100   |                                            | motorfiets (95-110 dB), diesel vrachtwagen, in de auto op drukke snelweg          |
| 105   |                                            | krachtige maaimachine, roffel op grote trom                                       |
| 110   | Extreem luid                               | rockconcert (110-130 dB), , motorzaag                                             |

Figuur 3 Voorbeelden van geluidsterkte van verschillende geluidsbronnen, figuur overgenomen uit LNE-rapport geluid.

Als gevolg van het logaritmisch verband tussen geluidsintensiteit en geluidsniveau is het zo dat een toename met “slechts” 3 dB in het geluidsniveau L een verdubbeling in geluidsintensiteit met zich meebrengt. In het geval van wegverkeersgeluid betekent dat een toename van “slechts” 3dB op een geluidskaart in werkelijkheid een verdubbeling van het aantal voertuigen op die weg betekent.

### 2.3.1 Weging van geluidsniveau

Het geluidsniveau uitgedrukt in dB houdt geen rekening met de frequentiegevoeligheid van het menselijk oor. Zo kunnen enkelvoudige tonen van 100 Hz en 1000 Hz hetzelfde geluidsniveau veroorzaken. Echter het menselijk niveau is minder gevoelig voor de lagere frequentie van 100 Hz dan voor deze van 1000 Hz. Om dit in rekening te brengen, kan het geluidsniveau “gewogen” of gecorrigeerd worden in functie van de frequentie ervan. Er bestaan verschillende soorten wegingen of correcties, de letters A, C en G wijzen op de weging die men toepast op geluidswaarden van verschillende frequenties. Figuur 4 geeft een overzicht van de frequentie-afhankelijke correcties bij A-, C- en G-weging van geluidsniveaus.



Figuur 4 Correctie in functie van de geluidsfrequentie voor A-, C- en G-weging.

De A-weging geeft een **A-gewogen geluidsniveau** uitgedrukt in de eenheid dB(A). Het A-gewogen geluidsniveau vertrekt van het geluidsniveau (in dB) en voert een frequentie-afhankelijke correctie in die overeenkomt met de gevoeligheid van het menselijk oor voor geluid. Zo krijgt bv. een toon van 100 Hz een lager geluidsniveau in dB(A) dan een toon van 1000 Hz. Het A-gewogen geluidsniveau wordt toegepast voor evaluatie van bv. gezondheidseffecten door blootstelling aan verkeersgeluid.

De C-weging geeft een **C-gewogen geluidsniveau** uitgedrukt in de eenheid dB(C). Bij het C-gewogen geluidsniveau krijgen lage frequenties meer gewicht in vergelijking met A-weging. Het C-gewogen geluidsniveau wordt toegepast voor beoordeling van hinder door lage frequenties zoals bv. basgeluiden bij muziek-evenementen.

De G-weging geeft een **G-gewogen geluidsniveau** uitgedrukt in de eenheid dB(G). Bij het G-gewogen geluidsniveau wordt vooral rekening gehouden met infrasonen frequenties tussen 10 en 20 Hz. Het G-gewogen geluidsniveau is geschikt voor beoordeling van hinder door infrageluid zoals bv. windturbines (zie ook paragraaf 5.6.1).

## 2.4 EFFECT VAN GELUID OP MENSEN

Niet alle mensen reageren op dezelfde manier op geluid. De beoordeling van inkomend geluid als al dan niet aangenaam hangt af van:

- ▼ Kenmerken van het geluid zelf (bv. toonhoogte, geluidsniveau, scherpheid van het geluid);
- ▼ Kenmerken van de persoon die het geluid opvangt. Deze persoonlijke factoren kunnen van genetische aard zijn, maar ook factoren als geestestoestand, vermoeidheid, verwachtingen, waarden, attitude spelen zeker een rol bij de appreciatie van geluid;
- ▼ Kenmerken van de omgeving en de context waarin het geluid wordt ervaren (bv. liedje in concertzaal wordt als aangenaam ervaren, hetzelfde liedje dat de burens luid spelen terwijl ik probeer te slapen, wordt als onaangenaam ervaren)

De akoestische omgeving van de mens wordt soms ook geduid met de term **soundscape**, naar analogie met landschap (in het Engels: landscape), in het Nederlands spreekt men van het geluidslandschap. In SoundscapeHOOFDSTUK 7 wordt verder ingegaan op het geluidslandschap van een stedelijke omgeving.

## 2.5 GELUIDSINDICATOREN

Om de gezondheidseffecten van omgevingslawaai te kwantificeren wordt in de wetgeving vaak gebruik gemaakt van geluidsindicatoren, deze zijn gebaseerd op het hierboven gedefinieerde geluidsniveau  $L$ . Hieronder definiëren we de meest gebruikte geluidsindicatoren.

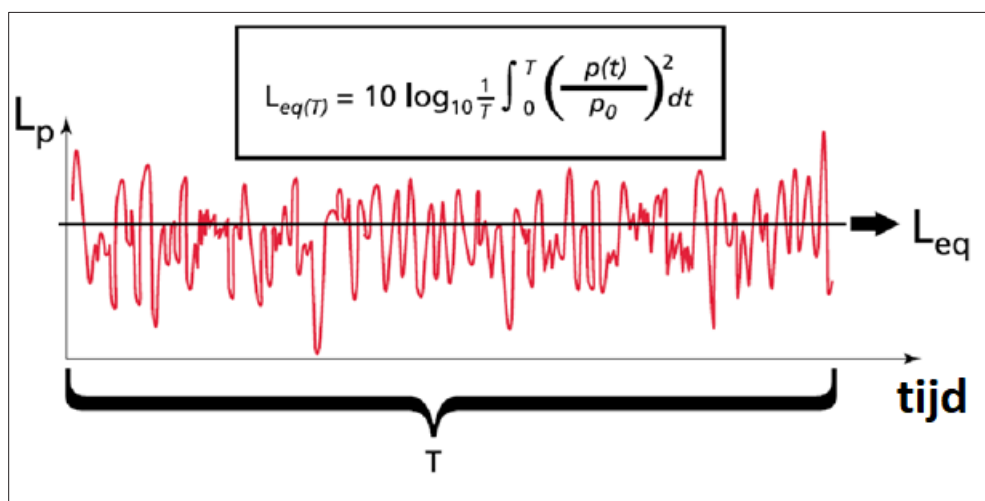
De indicator  $L_{den}$  ( $L_{day-evening-night}$ ) wordt gebruikt om geluidshinder gedurende een volledige dag te bepalen, hierbij worden de geluidsniveaus tijdens de avond en de nacht verhoogd omdat geluidsoverlast 's avonds en 's nachts als meer hinderlijk wordt ervaren. De  $L_{den}$ -waarde is het gewogen gemiddelde van de A-gewogen geluidsniveaus gedurende de dag (7-19 uur), avond (19-23 uur, verhoogd met 5 dB(A)) en de nacht (23-7 uur, verhoogd met 10 dB(A)).

De indicator  $L_{night}$  wordt gebruikt om geluidshinder gedurende de nacht te bepalen. De  $L_{night}$ -waarde is het A-gewogen geluidsniveau, gemiddeld over een 8h-tijdperiode tijdens de nacht, meestal tussen 23-7 uur.

De indicator  $L_{Aeq,T}$  is het **A-gewogen equivalente geluidsniveau**. Dit wordt vaak bepaald voor het evalueren van geluiden die sterk variëren binnen een tijdsduur  $T$  of voor piekgeluid. In

Figuur 5 is het ogenblikkelijk geluidsniveau (weergegeven in het rood) erg variabel in de loop van de tijd, de bijhorende akoestische energie varieert bijgevolg ook sterk. Het A-gewogen equivalente geluidsniveau is een constant geluidsniveau dat evenveel akoestische energie zou veroorzaken als het ogenblikkelijke A-gewogen geluidsniveau wanneer uitgemiddeld over een tijdsduur  $T$  (weergegeven met zwarte lijn).

De indicator  $L_{Amax}$  is het maximum A-gewogen geluidsniveau dat optreedt in een tijdsinterval van typisch 125 ms.



Figuur 5 Voorstelling van het ogenblikkelijke geluidsniveau (rood) voor een tijdsduur  $T$  en het overeenkomstige equivalente geluidsniveau  $L_{eq}$  (horizontale zwarte lijn).

## HOOFDSTUK 3. REGELGEVING

Er bestaat op verschillende niveaus regelgeving die gericht is op de bescherming van de gezondheid, tegen de negatieve effecten van omgevingsgeluid.

### 3.1 DE EUROPESE RICHTLIJN OMGEVINGSLAWAAI

De Europese Richtlijn Omgevingslawaaai (Environmental Noise Directive, END) 2002/49/EC [2] van 25 juni 2002 beschrijft de gemeenschappelijke aanpak voor de landen van de Europese Unie om de blootstelling aan omgevingsgeluid en de schadelijke effecten ervan te voorkomen, te vermijden of te verminderen.

Onder omgevingslawaaai verstaat de END-richtlijn ongewenst of schadelijk buitengeluid dat gecreëerd wordt door menselijke activiteiten, inclusief geluid dat veroorzaakt wordt door wegverkeer, spoorverkeer, luchtverkeer en van locaties met industriële activiteiten. Mogelijke overlast door andere bronnen (bv. muziek, burens, ...) valt in principe buiten het toepassingsgebied van de END-richtlijn.

De END-richtlijn is voor lokale overheden een belangrijk instrument om geluid in kaart te brengen. Volgens Annex II van de END-richtlijn dienen alle EU-landen geluidsbelastingkaarten (van geluidsindicatoren  $L_{den}$  en  $L_{night}$ ) op te maken volgens gemeenschappelijke methoden, dit zowel op vlak van keuze geluidsindicatoren als op het vlak van keuze berekeningsmethode. Deze kaarten dienen (minimaal) opgemaakt te worden voor:

- ▼ Wegen met meer dan 3 miljoen voertuigpassages per jaar;
- ▼ Spoorwegen met meer dan 30.000 treinpassages per jaar;
- ▼ Belangrijke luchthavens;
- ▼ Agglomeraties met meer dan 100.000 inwoners, binnen die agglomeraties wordt het omgevingslawaaai veroorzaakt door wegverkeer, spoorverkeer, luchthavens en industriële activiteiten afzonderlijk behandeld.

Daarnaast stimuleert de richtlijn de lidstaten om actie te ondernemen om de effecten van geluidsoverlast te beperken en om stille gebieden te beschermen. Op basis van de geluidsbelastingkaarten kunnen gebieden geïdentificeerd worden waar relevante grenswaarden of andere criteria overschreden worden. Dit resulteert in het opstellen van zogenaamde Noise Action Plans (NAPs). De op te leveren informatie (geluidsbelastingkaarten en actieplannen) moeten publiek beschikbaar zijn.

Tevens is de richtlijn bedoeld om vanuit het gezondheidsperspectief de effecten van geluid te evalueren, dit wordt verduidelijkt in Annex III van de END-richtlijn.

De Europese geluidsrichtlijn werd recent geëvalueerd. Het eerste deel van deze evaluatie heeft geresulteerd in de invoering van een nieuwe Europese rekenmethode: Common NOise aSSessment methOdS (CNOSSOS [3]<sup>1</sup>). Hiermee zijn de lidstaten in staat om vergelijkbare gegevens over blootstelling aan geluid van weg-, spoor- & luchtverkeer en industrie aan te leveren. Deze nieuwe rekenmethode werd ook reeds gebruikt in de MIRA 2016-rapportering (zie ook paragraaf 4.1.2).

---

<sup>1</sup><https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/common-noise-assessment-methods-europe-cnossos-eu>

Annex III van de END-richtlijn werd in 2019 herzien en bevat een hernieuwde methode om de gezondheidssimpact van omgevingsgeluid te berekenen<sup>2</sup>. Hierbij werden de resultaten van de recente update van de gezondheidkundige richtlijnen voor omgevingsgeluid van de Wereldgezondheidsorganisatie (World Health Organization, WHO) gebruikt. Deze worden verder besproken in HOOFDSTUK 5.

### 3.2 ADVIESWAARDEN WHO

De WHO stelt in zijn rapport 'Environmental noise guidelines for the European Region' gezondheidkundige advieswaarden en aanbevelingen voor. Deze nieuwe richtlijnen zijn ontwikkeld door het Regional Office for Europe van de WHO, en zijn geldig voor de Europese regio. Ze zijn bedoeld om (lokale) professionals (bv. onderzoekers en adviseurs) en beleidsmakers te ondersteunen bij het maken van regels, beleid of advies op het gebied van geluid en gezondheid.

De nieuwe richtlijnen zijn een update van de door WHO in 1999 gepubliceerde gezondheidkundige richtlijnen [4]. Daarnaast zijn in 2009 gezondheidkundige richtlijnen voor blootstelling aan nachtelijk geluid verschenen [5].

De nieuwe richtlijn van de WHO stelt aanbevelingen op met advieswaarden voor gemiddelde en nachtelijke blootstelling aan geluid van verschillende geluidsbronnen. Een onderscheid wordt gemaakt tussen geluid van weg-, rail-, luchtverkeer, en dat van windturbines alsook recreatiegeluid. Onder recreatiegeluid verstaat men geluid waaraan mensen zijn blootgesteld op fuiven, cafés, sportevenementen, concerten, ... alsook het beluisteren van muziek via persoonlijke geluidstoestellen (zoals smartphones of iPod's).

Tabel 1 geeft een overzicht van de door WHO afgeleide advieswaarden voor de verschillende geluidsbronnen. De advieswaarde is de waarde die de WHO adviseert als maximumwaarde voor het geluidsniveau van blootstelling vermits waarden boven dit niveau geassocieerd zijn met negatieve gezondheidseffecten. De gezondheidseffecten die bestudeerd werden voor het afleiden van deze advieswaarden worden besproken in HOOFDSTUK 5. Voor geluidsbronnen van wegverkeer, railverkeer, luchtverkeer en windturbines gelden de advieswaarden voor blootstelling in de buitenomgeving. Voor blootstelling aan recreatiegeluid geldt de advieswaarde zowel in de binnen- als buitenomgeving.

De WHO geeft ook een mate van aanbeveling voor het respecteren van de advieswaarden, dit hangt samen met de beoordeling van de bewijskracht van de onderliggende studies. Dit gaf aanleiding tot drie categorieën van aanbevelingen:

- ▼ Bij sterke bewijskracht wordt het sterk aangeraden om het geluidsniveau te verlagen tot onder de advieswaarde;
- ▼ Bij voorwaardelijke bewijskracht wordt voorwaardelijk aangeraden om het geluidsniveau te verlagen tot onder de advieswaarde;
- ▼ Bij onvoldoende bewijskracht wordt geen advieswaarde opgesteld.

---

<sup>2</sup>[https://ec.europa.eu/transparency/regcomitology/index.cfm?do=search.documentdetail&Dos\\_ID=18060&ds\\_id=63276&version=1&page=1](https://ec.europa.eu/transparency/regcomitology/index.cfm?do=search.documentdetail&Dos_ID=18060&ds_id=63276&version=1&page=1)

Tabel 1 Overzicht van de WHO-advieswaarden en mate van aanbeveling (sterk, voorwaardelijk, onvoldoende) voor de verschillende geluidsbronnen. Bron [1].

| Bron            | Gemiddelde blootstelling        |                      | Nachtelijke blootstelling     |                      |
|-----------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
|                 | Advieswaarde $L_{den}$ (dB)     | Mate van aanbeveling | Advieswaarde $L_{night}$ (dB) | Mate van aanbeveling |
| Wegverkeer      | 53                              | Sterk                | 45                            | Sterk                |
| Spoorwegverkeer | 54                              | Sterk                | 44                            | Sterk                |
| Luchtverkeer    | 45                              | Sterk                | 40                            | Sterk                |
| Windturbines    | 45                              | Voorwaardelijk       | -                             | onvoldoende          |
| Bron            | Jaargemiddelde blootstelling    |                      | Eenmalige blootstelling       |                      |
|                 | Advieswaarde $L_{Aeq,24h}$ (dB) | Mate van aanbeveling | Advieswaarde $L_{Amax}$ (dB)  | Mate van aanbeveling |
| Recreatiegeluid | 70                              | Voorwaardelijk       | 110                           | Voorwaardelijk       |

$L_{den}$ ,  $L_{Aeq,24h}$ ,  $L_{night}$ ,  $L_{Amax}$ : voor definities, zie sectie 2.5

Voor volgende geluidsbronnen werden geen aanbevelingen ontwikkeld in de nieuwe WHO-richtlijn:

- ▼ Blootstelling aan geluid van industrie wordt niet expliciet beschouwd als omgevingslawaai voor mensen die in de buurt van de industriële site wonen. Dit komt door de grote heterogeniteit en de specifieke eigenschappen van industrieel geluid, alsook het erg lokale karakter.
- ▼ Er zijn geen richtlijnen voor beroepshalve geluidsblootstelling vermits dit geregulariseerd wordt in de arbeidswetgeving en omdat werknemers vaak beschermende maatregelen treffen.
- ▼ Blootstelling aan buurtlawaai (lawaai voortkomend uit verschillende geluidsbronnen, zoals ventilatiesystemen, kerkklokken, dieren, burens, ...) wordt niet in rekening genomen.

### 3.3 VLAAMSE REGELGEVING OMTRENT OMGEVINGSLAWAAI

We geven hieronder een samenvatting van de Vlaamse wetgeving i.v.m. omgevingslawaai.

#### 3.3.1 VLAREM

In titel II van het VLAREM ("Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning") zijn milieuvoorwaarden opgenomen o.a. voor geluid.

##### 3.3.1.1 Implementatie van de END-richtlijn

De END-richtlijn is via VLAREM omgezet in Vlaamse regelgeving (Besluit van de Vlaamse Regering van 22 juli 2005). Titel II van het VLAREM legt de voorwaarden vast, namelijk door:

- ▼ Afdeling 2.2.3 "Milieukwaliteitsnormen voor omgevingslawaai"<sup>3</sup>,
- ▼ Afdeling 2.2.4 "Beleidsstaken betreffende de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai"<sup>4</sup>:
  - ▲ opstellen van geluidsbelastingkaarten en strategische geluidsbelastingkaarten;
  - ▲ opmaken van geluidsactieplannen op basis van de geluidsbelastingkaarten;
  - ▲ voorlichten van het publiek.

<sup>3</sup><https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=20758>

<sup>4</sup><https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=20764>

- ▼ Hoofdstuk 5.57, dat de sectorale milieuvorwaarden voor vliegvelden bevat<sup>5</sup>.

Tabel 2 geeft een overzicht van bijlagen van VLAREM II die wetgeving omtrent geluid behandelen.

Tabel 2 Bijlagen van VLAREM II over geluid

| Bijlage | Onderwerp                                                                                                                                                                  | URL                                                                                                                             |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.2.1   | Milieukwaliteitsnormen voor geluid in open lucht voor 3 tijdsperiodes (overdag, 's avonds en 's nachts) voor 10 types gebieden                                             | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=10069">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=10069</a> |
| 2.2.2   | Richtwaarden voor geluid binnenshuis: milieukwaliteitsnormen in dB(A) voor geluid binnenshuis voor 3 tijdsperiodes (overdag, 's avonds en 's nachts) voor 3 types gebieden | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=10070">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=10070</a> |
| 2.2.4.1 | Geluidsbelastingsindicatoren                                                                                                                                               | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19792">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19792</a> |
| 2.2.4.2 | Bepalingsmethoden voor de geluidsbelastingsindicatoren                                                                                                                     | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19793">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19793</a> |
| 2.2.4.3 | Bepalingsmethoden voor schadelijke effecten                                                                                                                                | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19794">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19794</a> |
| 2.2.4.4 | Minimumeisen voor strategische geluidsbelastingskaarten                                                                                                                    | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19795">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19795</a> |
| 2.2.4.5 | Minimumeisen voor geluidsactieprogramma's                                                                                                                                  | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19807">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19807</a> |
| 2.2.4.6 | Aan de Europese Commissie toe te zenden gegevens                                                                                                                           | <a href="https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19809">https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19809</a> |

VLAREM II stelt milieukwaliteitsnormen voor omgevingslawaaï in het algemeen. Er zijn echter geen specifieke normen voor afzonderlijke bronnen zoals bv. wegverkeer, spoorverkeer, luchtverkeer.

### 3.3.1.2 Muziekinstallaties

Titel II van de VLAREM-wetgeving bevat regelgeving en normen voor muziekactiviteiten zoals op fuiven, festivals, bioscopen, ...:

- ▼ Hoofdstuk 4.5 "beheersing van geluidshinder"<sup>6</sup>
- ▼ Hoofdstuk 5.32 "ontspanningsinrichtingen en schietstanden"<sup>7</sup>
- ▼ Hoofdstuk 6.7 "niet-ingedeelde muziekactiviteiten"<sup>8</sup>

### 3.3.1.3 Energie – windturbines en warmtepompen

Een belangrijke opkomende bron van omgevingslawaaï is afkomstig van het opwekken van groene energie zoals windmolens en warmtepompen. Sinds 2011 zijn er nieuwe milieuvorwaarden voor windturbines met betrekking tot geluid, slagschaduw en veiligheid voor zowel bestaande als nieuwe windturbines. Richtwaarden voor geluidsniveaus zijn opgesteld voor drie types gebied (woongebied, industrie, agrarisch)<sup>9</sup>. In het Vlaamse en het Waalse Gewest gelden er geen geluidseisen voor warmtepompen zonder meldings- of vergunningsplicht. Op lokaal niveau kunnen er echter wel eisen opgelegd worden (bv. via de bouwvergunning of plaatselijke politieverordeningen)<sup>10</sup>.

<sup>5</sup><https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19158>

<sup>6</sup><https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=8576>

<sup>7</sup><https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=9484>

<sup>8</sup><https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=19185>

<sup>9</sup><https://www.lne.be/milieuvorwaarden-voor-windturbines>

<sup>10</sup>[https://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=publ&doc=wtcb\\_artonline\\_2018\\_4\\_nr12\\_welke\\_geluidslimieten\\_gelden\\_er\\_voor\\_warmtepompen.pdf](https://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=publ&doc=wtcb_artonline_2018_4_nr12_welke_geluidslimieten_gelden_er_voor_warmtepompen.pdf)

### 3.3.1.4 Stiltebehoevende instellingen

De VLAREM-wetgeving definieert in artikel 4.5.6.1 specifieke richtlijnen voor zogenaamde "stiltebehoevende instellingen". Stiltebehoevende instellingen zijn gebouwen waar omwille van de functie en het gebruik ervan het geluid in de omgeving steeds moet beperkt worden. Dit betekent dat in de omgeving van bv. bejaardentehuizen, ziekenhuizen, scholen, kinderdagverblijven, ... strengere geluidsnormen kunnen opgelegd worden dan de algemeen geldende. De stiltebehoevende instellingen dienen zelf de geluidsnormen te respecteren.

## 3.4 WEGCODE

Geluid afkomstig van verkeer heeft twee bronnen: het motorgeluid en het rolgeluid afkomstig van de banden over het wegdek. Een recente studie in opdracht van Vlaams Departement Omgeving [6] beschrijft de verhouding tussen het motorgeluid en het rolgeluid op dicht asfalt. Voor snelheden onder 40 km/uur is het motorgeluid sterker dan het rolgeluid (behalve bij elektrisch aangedreven voertuigen), bij een snelheid van 40 km/uur valt het motorgeluid samen met het rolgeluid en dit aan een waarde van ongeveer 70 dB. Bij snelheden boven 40 km/uur is het rolgeluid dominant.

De Belgische wegcode vermeldt bij de technische eisen van auto's, bromfietsen en motorfietsen maximumwaarden voor het motorgeluid voortgebracht door in dienst zijnde voertuigen<sup>11</sup>.

Tijdens de periodieke technische keuring van voertuigen wordt het eigenlijke geluidsniveau van motorgeluid niet getest. De staat van het uitlaatsysteem, dat een belangrijke geluidsdempende functie heeft, wordt wel gecontroleerd. We merken hierbij op dat scooters en brommers niet onderhevig zijn aan de periodieke technische keuring.

## 3.5 LOKALE WETGEVING

### 3.5.1 Politiecodex

De politiecodex van een politiezone bundelt bestaande politieregels, onder meer over geluidsoverlast. De politiecodex van stad Antwerpen<sup>12</sup> en die van de politiezone Geel-Laakdal-Meerhout<sup>13</sup> vermelden bv.:

- ▼ Algemene bepalingen i.v.m. geluidsoverlast overdag en 's nachts (conform VLAREM);
- ▼ Specifieke bepalingen voor geluidsoverlast door bv. grasmaaiers en andere hobbywerktuigen, toestellen voor recreatief gebruik, vogelschrikkanonnen, ...
- ▼ Geluidsoverlast door dieren (enkel politiezone Geel-Laakdal-Meerhout);
- ▼ Geluidsoverlast door geluidsinstallaties met elektronische versterking in winkelstraten (enkel stad Antwerpen).

### 3.5.2 Stad Antwerpen

De stad Antwerpen heeft sinds 2016 een beoordelingskader<sup>14</sup> opgesteld dat als advies dient bij het inplanten van scholen en kinderdagverblijven. Er wordt hierbij rekening gehouden met de blootstelling aan stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en geluid. Dit beoordelingskader wordt verder besproken in sectie 6.3.1.

<sup>11</sup><https://www.wegcode.be/wetteksten/secties/kb/tech/313-art40>

<sup>12</sup>[https://assets.antwerpen.be/srv/assets/api/download/c2b8d7f2-a421-49d3-ae6f-f1e66bfc657d/politiecodex\\_versie\\_21\\_oktober\\_2019.pdf](https://assets.antwerpen.be/srv/assets/api/download/c2b8d7f2-a421-49d3-ae6f-f1e66bfc657d/politiecodex_versie_21_oktober_2019.pdf)

<sup>13</sup><https://www.geel.be/File/Download/2142/9967DD2AC1F903AD16C65FE5435B4E5A>

<sup>14</sup><https://www.antwerpenmorgen.be/projecten/beoordelingskader-milieukwaliteit/over>

## 3.6 WETGEVING IN HET BUITENLAND

### 3.6.1 Nederland – wegverkeer (brommers en scooters)

- ▼ In Nederland ergeren veel mensen zich aan brom- en snorfietzen op het fietspad vanwege het gevaarlijke rijgedrag, te hard rijden, geluidsoverlast, luchtvervuiling en ruimtegebrek op het fietspad, etc. Evenmin als in België kennen brom- en snorfietzen geen verplichte periodieke keuring, zoals bij auto's. In november 2016 heeft de Tweede Kamer een motie aangenomen om benzinebrommers en -scooters uit te faseren. Een concrete termijn is hierin niet genoemd [7].

## HOOFDSTUK 4. GELUIDSKAARTEN

### 4.1 GELUIDSBELASTINGSKAARTEN

Een geluidsbelastingskaart is het resultaat van een modelberekening. Allereerst dienen de geluidsbronnen in kaart worden gebracht en het akoestisch bronvermogen ervan moet bepaald worden. Zo moeten bv. voor het bepalen van geluid afkomstig van wegverkeer de verkeersintensiteit, type verkeer, type wegdek, snelheid, ... in kaart worden gebracht.

Vervolgens wordt de propagatie (voortplanting) van het geluid berekend. Hierbij treden fysische fenomenen als terugkaatsing, verstrooiing, breking door gebouwen, afscherming, ... op. De berekening hiervan is echter complex en rekenintensief, dit beperkt de nauwkeurigheid van de resultaten uitgevoerd met rekenmodellen die deze fenomenen in rekening brengen.

Het resultaat van de modelberekeningen is het geluidsniveau (of een afgeleide geluidsindicator zoals voorbeelden in paragraaf 2.5) op verschillende immissiepunten. Het aantal immissiepunten bepaalt de nauwkeurigheid van de geproduceerde geluidsbelastingskaart.

#### 4.1.1 Geluidsbelastingskaarten in kader van END-richtlijn

In het kader van de END-richtlijn van de Europese Commissie (zie paragraaf 3.1) worden geluidsbelastingskaarten aangemaakt in de omgeving van de belangrijkste wegen, spoorwegen, luchthavens en agglomeraties in Vlaanderen. Deze geluidsbelastingskaarten worden op regelmatige basis geüpdatet, de laatste versie is voor het referentiejaar 2016. Volgende kaarten zijn vrij beschikbaar op de website van het Vlaamse Departement Omgeving<sup>15</sup>:

- ▼ Wegverkeer: belangrijke en aanvullende wegen;
- ▼ Spoorverkeer;
- ▼ Luchtverkeer: luchthaven van Zaventem;
- ▼ Agglomeraties Antwerpen, Gent en Brugge (wegverkeer, spoorverkeer, luchtverkeer (enkel Antwerpen), industrie).

De geluidsbelasting wordt op de kaart aangegeven met twee geluidsindicatoren:  $L_{den}$  en  $L_{night}$ , voor de definitie hiervan verwijzen we naar paragraaf 2.5.

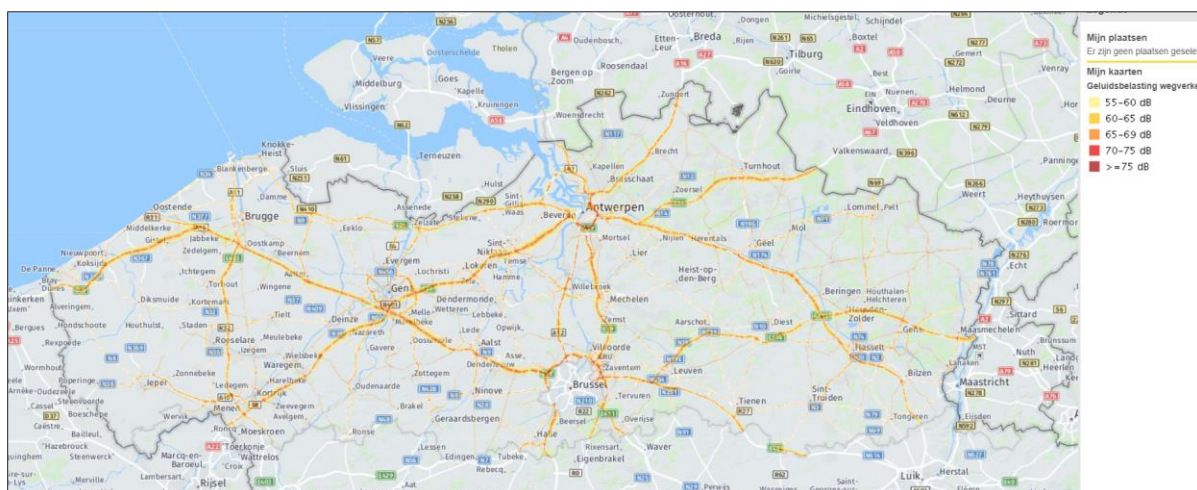
Figuur 6 toont de geluidsindicator  $L_{den}$  voor wegverkeer, voor het jaar 2016.

<sup>15</sup><https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/articles/3331/2019/Actualisatie-geluidsindicatoren-2018-TWR.pdf>

De bepaling van het geluidsbronvermogen en de propagatie van het geluid wordt in het kader van de END-richtlijn berekend met het CNOSSOS-model, zie ook paragraaf 3.1. Door gebruik van hetzelfde model door de verschillende lidstaten, zijn ze in staat om vergelijkbare gegevens aan te leveren.

Door de doelstelling en de rekenwijze van de END-geluidsbelastingsskaarten zijn een aantal opmerkingen belangrijk bij de interpretatie ervan:

- ▼ Zoals aangegeven in paragraaf 3.1, moet er geen volledige modellering van het grondgebied gebeuren in het kader van de END-richtlijn. Zo moeten voor geluid afkomstig van wegverkeer enkel wegen met meer dan 6 miljoen voertuigen op jaarbasis worden meegenomen. De resulterende kaarten zijn bijgevolg niet gebiedsdekkend, en niet alle geluidsbronnen worden in rekening gebracht.
- ▼ Bij de propagatie van geluid wordt afscherming door gebouwen in rekening gebracht, echter vaak worden de gevolgen van afscherming overschat. Dit leidt tot een onderschatting van de berekende geluidsniveaus.
- ▼ De END-richtlijn rapporteert de geluidsindicatoren  $L_{den}$  en  $L_{night}$  vanaf 55 dB(A), waarden onder deze drempel worden niet weergegeven op de kaarten. De geluidsindicatoren werden gedefinieerd in sectie 2.5. Vermits bij deze indicatoren geluidsniveaus over een lange periode worden uitgemiddeld, is piekblootstelling niet zichtbaar, terwijl dit voor bv. slaapverstoring (zie sectie 5.3) een relevante parameter is.



Figuur 6 Strategische geluidsbelastingsskaart voor wegverkeer met geluidsindicator  $L_{den}$ , figuur overgenomen van<sup>15</sup>.

#### 4.1.2 MIRA-geluidsindicatoren

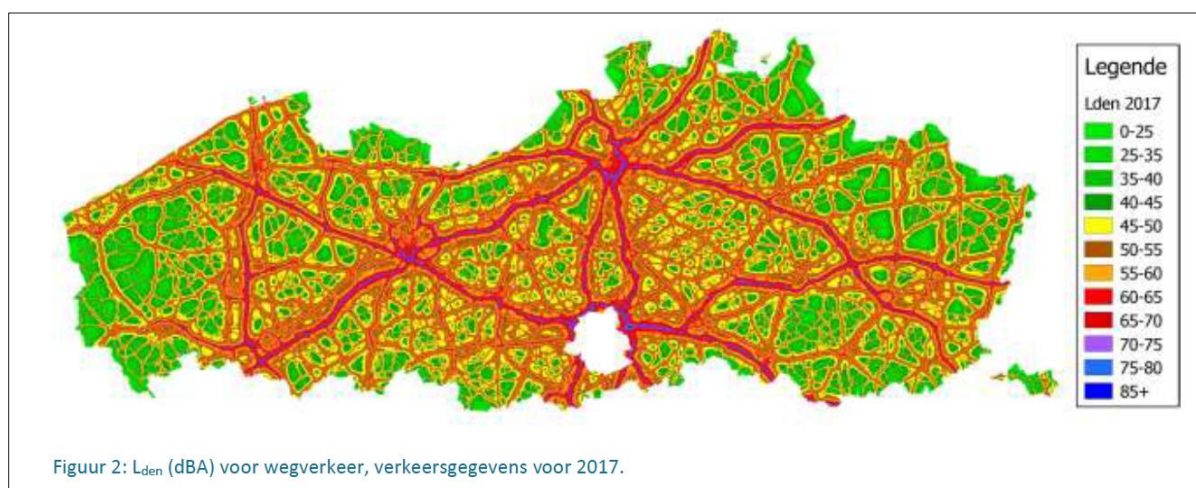
In het kader van de MIRA-rapportering worden voor geluid afkomstig van wegverkeer op regelmatige basis geluidsbelastingsskaarten gemaakt in opdracht van de Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM). De laatste rapportering dateert van december 2018<sup>16</sup>.

<sup>16</sup><https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/articles/3331/2019/Actualisatie-geluidsindicatoren-2018-TWR.pdf>

Er zijn belangrijke verschillen met de hierboven vermelde kaarten opgesteld in het kader van de END-richtlijn:

- ▼ In de MIRA-rapportering wordt rekening gehouden met geluidsemissies voor alle wegen die het Vlaams Verkeerscentrum opneemt in zijn simulatienetwerk. Er zijn dus geen restricties op het aantal voertuigen.
- ▼ Bij de propagatie van geluid wordt geen afscherming door gebouwen in rekening gebracht, er wordt wel rekening gehouden met afscherming door geluidsschermen langs snelwegen. MIRA geeft bijgevolg een maximale blootstelling, zeker voor tweedelijsbebauwing in de buurt van een drukke weg met veel aaneengesloten hoogbouw. Echter deze overschatting wordt vaak gecompenseerd door het feit dat geluidsemissies van lokaal verkeer niet in rekening worden gebracht.
- ▼ De MIRA-geluidskaarten dekken het volledige dB-bereik van geluidsniveaus, ook onder 55 dB(A).

Figuur 7 toont de geluidsindicator  $L_{den}$  voor wegverkeer, voor het jaar 2017.



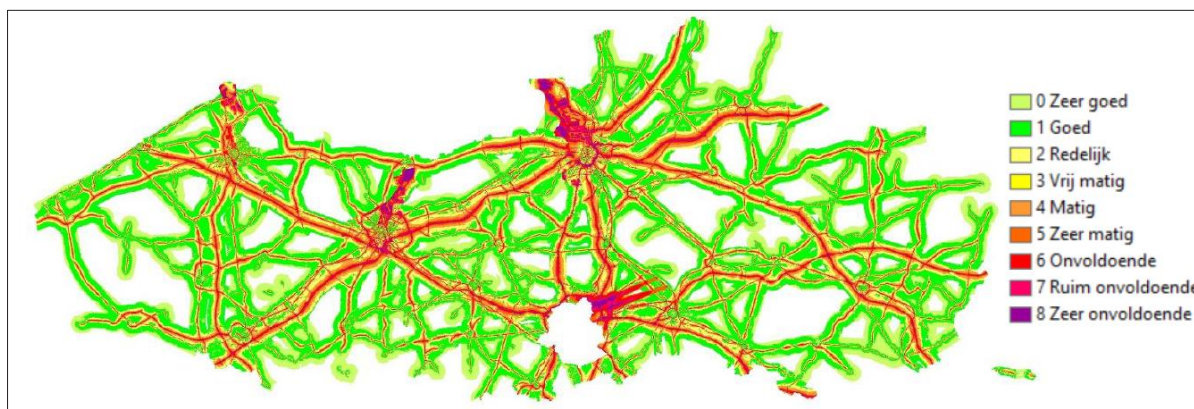
Figuur 7 Geluidbelastingkaart voor wegverkeer met geluidsindicator  $L_{den}$ , figuur overgenomen uit [8].

#### 4.1.3 GES-kaarten voor geluid

De gezondheidseffectscreening (GES)-indicator voor een milieupolluent is gebaseerd op de dosis-effectrelatie voor een bepaald gezondheidseindpunt en het maximaal toelaatbaar risico (MTR). Indien de respons hoger is dat het maximaal toelaatbaar risico wordt een waarde van 6 gegeven aan de dosis. Vervolgens worden de andere GES-scores via een logische reeks afgeleid.

In opdracht van het Vlaamse Departement Omgeving ontwikkelde VITO recent een GES-kaart voor geluidsblootstelling in Vlaanderen [9]<sup>17</sup>. Vertrekkend van de geluidsbelastingskaarten opgesteld in kader van de END-richtlijn (sectie 4.1.1), werden de gezondheidseindpunten ernstige hinder (zie verder sectie 5.2) en ernstige slaapverstoring (zie verder sectie 5.3) in rekening genomen bij het bepalen van de GES-scores. Dit resulteert in de GES-kaart getoond in Figuur 8.

<sup>17</sup>[https://www.ruimtevlaanderen.be/Portals/108/Eindrapport\\_actualisatie\\_kartmateriaal\\_ruimtelijk\\_beleid\\_v1\\_0.pdf](https://www.ruimtevlaanderen.be/Portals/108/Eindrapport_actualisatie_kartmateriaal_ruimtelijk_beleid_v1_0.pdf)



Figuur 8 GES-kaart voor geluid, figuur overgenomen uit [9].

## 4.2 NUT EN BEPERKINGEN VAN GELUIDSKAARTEN

### 4.2.1 Bepalen van geluidsniveaus

Het voordeel van een gebiedsdekkende geluidsbelastingskaart is dat het geluidsniveau op elke locatie in principe gekend is. Dit laat een globale beoordeling van geluidsniveaus en geluidsindicatoren toe met het identificeren van hotspots. De nauwkeurigheid van de modelberekeningen hangt af van het correct weergeven van de verschillende geluidsbronnen alsook van de propagatie van het geluid. Zoals hierboven aangegeven is het rekentechnisch onmogelijk om alle fysische fenomenen van geluidsgolven correct te modelleren en geven rekenmodellen een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

De nauwkeurigheid van de geluidsbelastingskaarten is het best op plaatsen waar de geluidsniveaus het hoogst zijn. Op afgeschermden plaatsen zoals binnenplaatsen is de nauwkeurigheid veel lager omdat het modelleren van fenomenen als afscherming rekentechnisch gezien moeilijk zijn.

### 4.2.2 Bepalen van blootstelling en gezondheidseffecten

Door het combineren van geluidsbelastingskaarten en bevolkingsgegevens kan de blootstelling aan deze geluidsniveaus en -indicatoren bepaald worden. Deze blootstelling kan verder vertaald worden naar het optreden van gezondheidseffecten (zie verder HOOFDSTUK 5).

Om de blootstelling zo correct mogelijk te bepalen is het in de modellering van belang om de geluidsniveaus te bepalen op de plaatsen waar mensen verblijven. Vaak wordt gebruik gemaakt van façadepunten of adrespunten in de berekeningen, de blootstelling op basis van het adrespunt is meestal iets lager dan op basis van het façadepunt.

### 4.2.3 Scenarioberekeningen

Geluidsmodellen zijn essentieel in het bepalen van geluidseffecten in scenarioberekeningen. In HOOFDSTUK 6 bekijken we maatregelen om geluidsniveaus (of de blootstelling eraan) te verminderen. Via modellering kunnen, voor implementatie, de effecten van maatregelen op het geluidsklimaat geëvalueerd worden.

#### 4.2.4 Geluidsmetingen

Om een gedetailleerd beeld van de geluidsproblemen in een gebied te bekomen is het nuttig om modelberekeningen te combineren met geluidsmetingen op verschillende locaties en persoonlijke ervaringen (via vragenlijsten of gegevens op sociale media), zie ook HOOFDSTUK 7. In het kader van smart cities wordt het real-time monitoren van het milieu (luchtkwaliteit, geluid, temperatuur, vochtigheid, ...) met draadloze sensornetwerken mogelijk.

Er zijn eenvoudige (en relatief goedkope) geluidssensoren op de markt. Verder hebben alle smartphones een ingebouwde microfoon/geluidsrecorder en bestaan er voor alle mobiele platforms apps die de geluidsstrekte van een opgenomen geluidssignaal kunnen bepalen. Echter de nauwkeurigheid van de meeste eenvoudige geluidssensoren en apps is beperkt, ze geven slechts een indicatie van de geproduceerde geluidsstrekte. Verder dient een app die geluidsstrekte bepaalt, gekalibreerd te worden voor elk smartphonemodel door verschillen in hard- en software. Er is bijgevolg nood aan standaardisatie voor het uitvoeren van geluidsmetingen met eenvoudige geluidssensoren. Voorlopig dienen exacte geluidsmetingen met gekijkte toestellen te gebeuren en zijn deze enkel weggelegd voor gespecialiseerde bedrijven.

Er bestaan wel zeer waardevolle initiatieven waarbij deze eenvoudige geluidssensoren ingezet worden voor het in kaart brengen van geluidsniveaus op verschillende locaties:

- ▼ Het project NoiseTube<sup>18</sup> biedt een app aan waarbij burgers met hun smartphone A-gewogen geluidsniveaus kunnen meten met georeferentie en ook de verkregen metingen kunnen taggen door toevoegen van informatie zoals geluidsbron, subjectief gevoel van ergernis, ... Bij het uploaden naar de NoiseTube-website kan de gebruiker het opgenomen geluidstraject volgen op software als Google Maps.
- ▼ Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) startte onlangs een burgerwetenschapsproject<sup>19</sup> waarbij ze gevalideerde geluidssensoren installeerden bij burgers in de stad Schiedam.

#### 4.2.5 Sociale-media gegevens

Binnen het project 'GoodCityLife'<sup>20</sup> wordt de mogelijkheid onderzocht om sociale-mediadata te gebruiken om de geuren en geluiden van hele steden op betrouwbare wijze in kaart te brengen. Hiervoor gebruikt men geogerefereerde beelden van Flickr en Instagram. Deze beelden worden gematcht aan geluids- en geurindrukken. Op deze manier worden soundscapes en geurtaferelen van meer dan tien steden over de hele wereld in kaart gebracht. Alle kaarten zijn beschikbaar via de website van het project.

<sup>18</sup><http://www.noisetube.net/index.html#&panel1-1>

<sup>19</sup><https://www.rivm.nl/nieuws/rivm-ondersteunt-burgerwetenschappers-bij-geluidsmetingen>

<sup>20</sup><http://goodcitylife.org/>

## HOOFDSTUK 5. GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN GELUID

Blootstelling aan geluid kan twee soorten belangrijke effecten veroorzaken. Enerzijds kan het gehoorzintuig beschadigd raken, dit kan leiden tot bv. gehoorverlies. Anderzijds prikkelt geluid het autonoom zenuwstelsel en endocriene systemen. Dit heeft een invloed op een heleboel intermediaire risicofactoren zoals bloeddruk, lipiden in bloed, glucose metabolisme, hartvolume, etc. en kan leiden tot een verhoogd risico voor hypertensie, atherosclerose, myocardinfarct, etc.

Voor het inschatten van de gezondheidsimpact van geluid gebruiken we de resultaten van drie meta-analyses: de eerste werd uitgevoerd door het Europees Milieu Agentschap (European Environment Agency, EEA) in 2010 [10], de tweede door de Wereldgezondheidsorganisatie in 2018 [1], de derde door het RIVM eveneens in 2018 [11].

De nieuwe richtlijn van de WHO stelt aanbevelingen op met gezondheidkundige advieswaarden voor gemiddelde en nachtelijke blootstelling aan geluid van verschillende geluidsbronnen. Een onderscheid wordt gemaakt tussen geluid van weg-, spoor-, luchtverkeer, en dat van windturbines alsook recreatiegeluid. Een overzicht hiervan wordt gegeven in Tabel 1

De advieswaarde is de waarde die de WHO adviseert als maximumwaarde voor het geluidsniveau van blootstelling vermits waarden boven dit niveau geassocieerd zijn met negatieve gezondheidseffecten. In de WHO-richtlijn wordt vooral gekeken naar gezondheidseffecten die verwacht worden na lange termijn blootstelling, dit is een periode variërend van één jaar tot 5-10 jaar. Een gezondheidseffect wordt beschouwd als zijnde kritisch, belangrijk of niet belangrijk. Deze inschatting hangt af van:

- ▼ De ernst en het voorkomen van het gezondheidseffect;
- ▼ De sterkte van de associatie tussen omgevingslawaai en het effect in kwestie.

De gezondheidseffecten die in de WHO-richtlijn als kritisch en belangrijk beschouwd worden zijn samengevat in Tabel 3.

*Tabel 3 Overzicht van gezondheidseffecten, onderverdeeld in kritische en belangrijke gezondheidseffecten, bron [1].*

|                                             | Kritisch gezondheidseffect     | Belangrijk gezondheidseffect                                   |
|---------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Gemiddelde geluidsblootstelling             | Cardiovasculaire aandoeningen  | Effecten op het ongeboren kind                                 |
|                                             | Ernstige hinder                | Effecten op levenskwaliteit, mentale gezondheid en welbevinden |
|                                             | Effecten op leerprestaties     | Metabolische effecten                                          |
|                                             | Effecten op gehoor en tinnitus |                                                                |
| Gemiddelde nachtelijke geluidsblootstelling | Ernstige slaapverstoring       |                                                                |

*Nieuw in de recente WHO-richtlijnen is dat cardiovasculaire aandoeningen als een kritische gezondheidsparameter worden beschouwd. De ontwikkeling van de WHO-advieswaarden (vermeld in Tabel 1) werd vooral bepaald door de kritische gezondheidseffecten vermeld in Tabel 3. We bespreken hieronder de door WHO bestempelde kritische gezondheidseffecten.*

## 5.1 CARDIOVASCULAIRE AANDOENINGEN

Het verband tussen blootstelling aan omgevingslawaai en de verschillende gezondheidseindpunten van hart- en vaataandoeningen wordt uitgedrukt door een relatief risico (RR) per eenheid verandering in geluidsblootstelling. Het relatief risico is het risico dat een blootgestelde populatie heeft op een bepaald effect t.o.v. het risico in een niet-blootgestelde populatie. Hierbij veronderstelt men een log-lineair verband tussen geluidsblootstelling en het voorkomen van het beschouwde gezondheidseindpunt. Dit betekent dat het relatief risico bij blootstelling berekend wordt door het relatief risico per eenheid blootstelling te verheffen tot de macht (blootstelling verminderd met drempelwaarde).

Tabel 4 geeft een samenvatting van de afgeleide dosis-effectrelaties voor de verbanden tussen de geluidsindicator  $L_{den}$  voor verschillende geluidsbronnen en diverse cardiovasculaire eindpunten. De WHO geeft eveneens de maat weer van de bewijskracht van het effect tussen blootstelling en gezondheidseffect, dit varieert van hoog, matig, laag tot erg laag. De waarden staan vermeld in de laatste kolom van Tabel 4.

*Tabel 4 Dosis-effectrelaties voor langdurige blootstelling aan verkeersgeluid en eindpunten van cardiovasculaire aandoeningen, gebaseerd op geluidsindicator  $L_{den}$*

| Gezondheids-eindpunt             | Geluidsbron  | RR (95% CI) per 10 dB $L_{den}$ | Laagste niveau in studies (dB) | Bron (bewijskracht)  |
|----------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Incidentie ischemisch hartfalen  | Wegverkeer   | 1,08*<br>(1,01–1,15)            | 53                             | [1] (hoog), [12]     |
|                                  | Luchtverkeer | 1,09<br>(1,04–1,15)             | 47                             | [1] (erg laag), [12] |
| Incidentie hypertensie           | Wegverkeer   | 0,97<br>(0,90–1,05)             | N/A                            | [1] (laag), [12]     |
|                                  | Spoorverkeer | 0,96<br>(0,88–1,04)             | N/A                            | [1] (laag), [12]     |
|                                  | Luchtverkeer | 1,00<br>(0,77–1,30)             | N/A                            | [1] (laag), [12]     |
| Mortaliteit ischemisch hartfalen | Wegverkeer   | 1,05<br>(0,97–1,13)             | N/A                            | [1] (matig), [12]    |
|                                  | Luchtverkeer | 1,04<br>(0,97–1,12)             | N/A                            | [1] (erg laag), [12] |
| Incidentie beroerte              | Wegverkeer   | 1,14<br>(1,03–1,25)             | N/A                            | [1] (matig), [12]    |
|                                  | Luchtverkeer | 1,05<br>(0,96–1,15)             | N/A                            | [12]                 |
| Mortaliteit beroerte             | Wegverkeer   | 0,87<br>(0,71–1,06)             | N/A                            | [1] (matig), [12]    |

N/A: niet beschikbaar. \*Een relatief risico van 1,08 per 10 dB  $L_{den}$ , betekent dat bij  $L_{den}=63$  dB je 8 % meer kans hebt op incidentie ischemisch hartfalen dan bij  $L_{den}=53$  dB.

Voor een ander gezondheidseindpunt, bloeddruk bij kinderen, werd onvoldoende of tegenstrijdige evidentie gevonden, dit werd niet opgenomen in Tabel 4.

De WHO-richtlijnen bevatten geen aanbevelingen omtrent gelijktijdige blootstelling aan verschillende geluidsbronnen. Er zijn echter aanwijzingen dat voor sommige gezondheidseffecten, zoals obesitas, gecombineerde blootstelling aan geluid van verschillende geluidsbronnen schadelijk is [1].

## 5.2 ERNSTIGE HINDER

Tabel 5 geeft voor de verschillende geluidsbronnen de odds-ratio per 10 dB toename in  $L_{den}$ -waarde zoals gerapporteerd door WHO [1]. De odds-ratio staat voor een verhouding van odds waarbij een odds een maat is of een effect zal optreden t.o.v. niet optreden. Bij lage incidentie of prevalentie (zoals hier het geval is) benaderen het relatief risico en de odds-ratio elkaar.

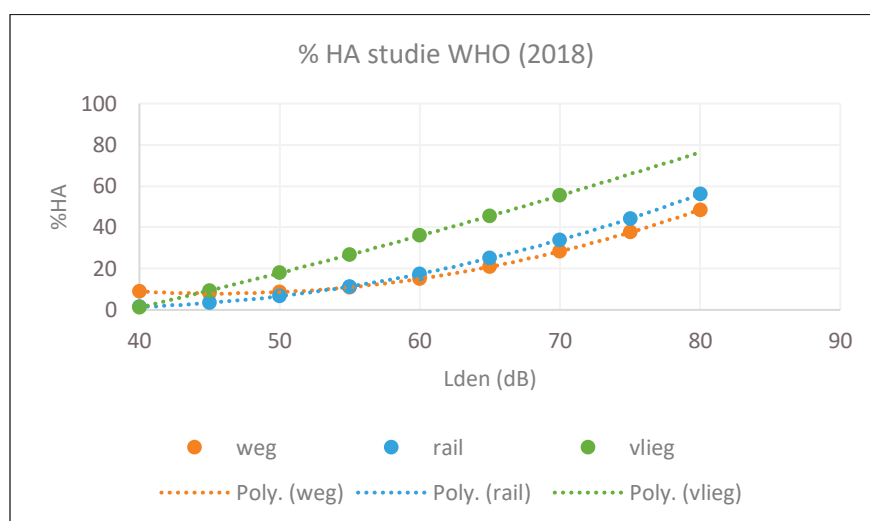
Tabel 5 Dosis-effectrelaties voor ernstige hinder, gebaseerd op geluidsindicator  $L_{den}$ .

| Gezondheids-eindpunt | Geluidsbron  | Odds ratio (95% CI) per 10 dB toename in $L_{den}$ | Laagste niveau in studies (dB) | Bron (bewijskracht) |
|----------------------|--------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Ernstige hinder      | Wegverkeer   | 3,03 (2,95-3,55)                                   | 40                             | [1] (matig)         |
|                      | Spoorverkeer | 3,53 (2,83-4,39)                                   | 34                             | [1] (matig)         |
|                      | Luchtverkeer | 4,78 (2,27-10,05)                                  | 33                             | [1] (matig)         |
|                      | Windturbines | N/A                                                | 30                             | [1] (laag)          |

N/A: niet beschikbaar

In het WHO-rapport wordt het percentage ernstig gehinderden (%HA) veroorzaakt door geluid afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer of luchtverkeer in grafieken en tabellen getoond vanaf een  $L_{den}$ -waarde van 40 dB.

Figuur 9 geeft een overzicht van het percentage ernstig gehinderden in functie van de geluidsindicator  $L_{den}$  afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer en luchtverkeer, waarden zijn genomen uit de WHO-studie [1].

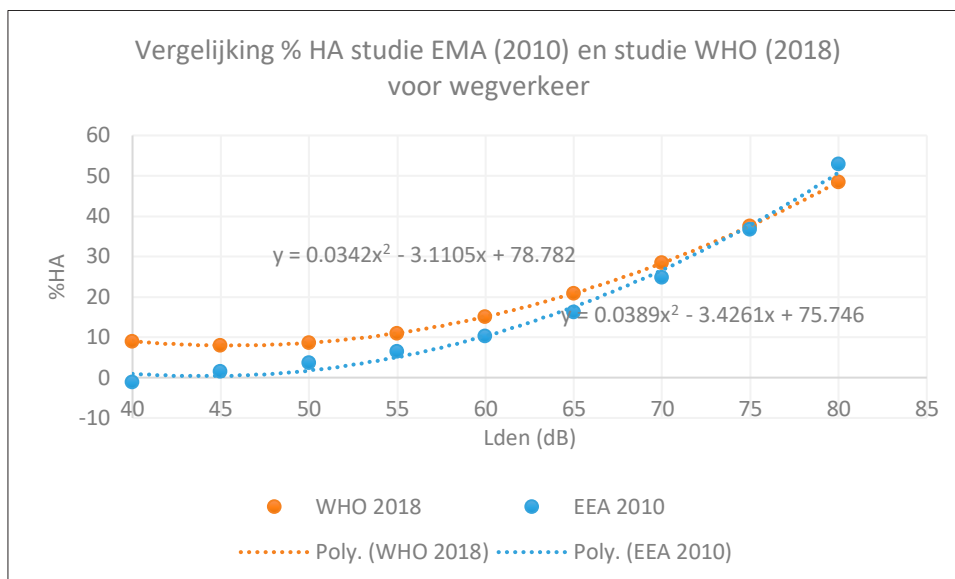


Figuur 9 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer en luchtverkeer (uitgedrukt in  $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1].

Hieronder tonen we het percentage ernstig gehinderden voor de verschillende geluidsbronnen apart, en vergelijken we de resultaten van de WHO-studie [1] met eerdere resultaten van EEA [10].

### 5.2.1 Ernstige hinder door wegverkeer

Figuur 10 toont het percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer (uitgedrukt in  $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10].



Figuur 10 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer (uitgedrukt in  $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

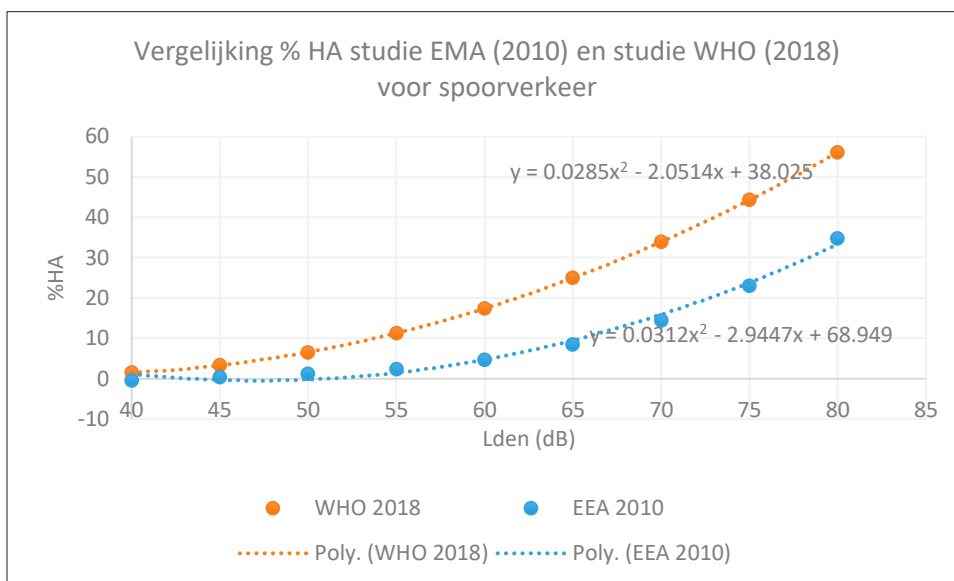
De trendlijnen geven de dosis-responsrelaties weer waarbij x staat voor  $L_{den}$ -waarde en y voor het percentage ernstig gehinderden (%HA). Zo geldt bv. voor %HA veroorzaakt door wegverkeer de regressielijn afgeleid van de systematische review in opdracht van WGO:

$$\%HA = 78.9270 - 3.1162.L_{den} + 0.0342.L_{den}^2$$

Het valt op dat bij blootstelling tot  $L_{den} = 75$  dB de nieuwe WHO-richtlijn een hoger percentage ernstig gehinderden geeft in vergelijking met de EEA-studie uit 2010. Vanaf een hogere  $L_{den}$ -waarde liggen de WHO-waarden iets onder de EEA-waarden.

### 5.2.2 Ernstige hinder door spoorverkeer

Figuur 11 toont het percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van spoorverkeer (uitgedrukt in  $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

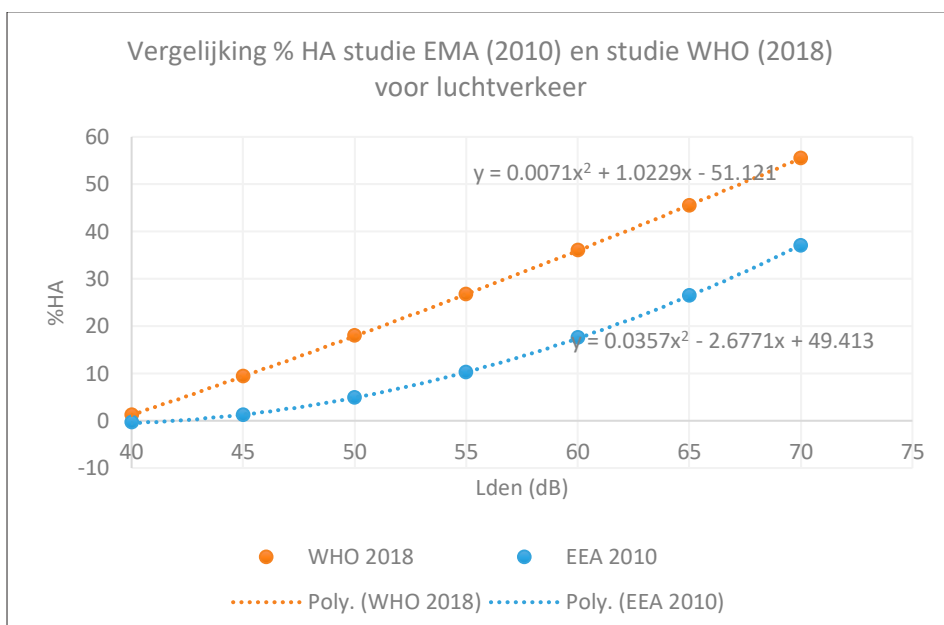


Figuur 11 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van spoorverkeer (uitgedrukt in  $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

Voor alle waarden van  $L_{den}$ -blootstelling geeft de nieuwe WHO-richtlijn een hoger percentage ernstig gehinderden in vergelijking met de EEA-studie.

### 5.2.3 Ernstige hinder door luchtverkeer

Figuur 12 toont het percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer (uitgedrukt in  $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10].



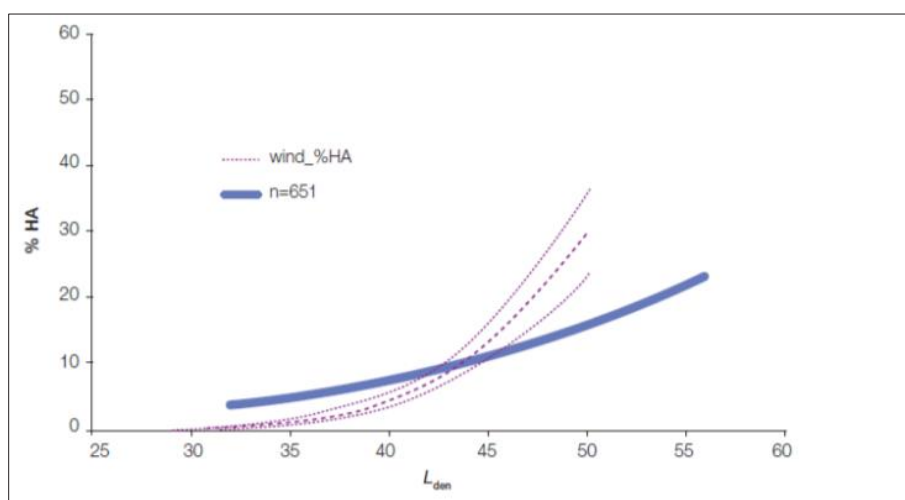
Figuur 12 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer (uitgedrukt in  $L_{den}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

Voor alle waarden van  $L_{den}$ -blootstelling geeft de nieuwe WHO-richtlijn een hoger percentage ernstig gehinderden in vergelijking met de EEA-studie.

### 5.2.4 Ernstige hinder door windturbines

Figuur 13 toont het percentage ernstig gehinderden in functie van de  $L_{den}$ -blootstelling aan geluid afkomstig van windturbines [1]. Er is een groot verschil in %HA tussen de resultaten van de getoonde studies. De evidentie voor de link tussen ernstige hinder en blootstelling aan geluid door windturbines werd door WHO dan ook beschouwd als laag.

Figuur 13 toont dat bij lage geluidsniveaus, vanaf  $L_{den}=35$  dB, reeds ernstige hinder voorkomt. Bij een  $L_{den}$ -waarde van ongeveer 45 dB is het percentage ernstig gehinderden gelijk aan 10 %. Dit is vergelijkbaar met ernstige hinder veroorzaakt door wegverkeer maar ligt veel hoger dan ernstige hinder veroorzaakt door spoor- en luchtverkeer.



Figuur 13 Percentage ernstig gehinderden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van windturbines (uitgedrukt in  $L_{den}$ ). Figuur overgenomen uit [1], op basis van data van Janssen et al. [13] (rood, functie en 95% betrouwbaarheidsintervallen) en Kuwano et al. [14] (blauw).

Er werd in het WHO-rapport geen dosis-effectrelatie afgeleid voor ernstige hinder gelinkt aan geluidsblootstelling van windturbines. In [11] werd volgende dosis-effectrelatie gegeven, dit komt overeen met de rode stippellijn in Figuur 13:

$$\%HA = -97,94 + 9,627.L_{den} - 0,3175.L_{den}^2 + 0,003522.L_{den}^3$$

## 5.3 ERNSTIGE SLAAPVERSTORING

Ernstige slaapverstoring wordt gelinkt aan de geluidsindicator  $L_{night}$ , terwijl het vaak pieken in nachtelijk geluidsniveaus zijn die aanleiding geven tot slaapverstoring. Dit wordt evenwel niet beschouwd door organisaties als WHO en EMA.

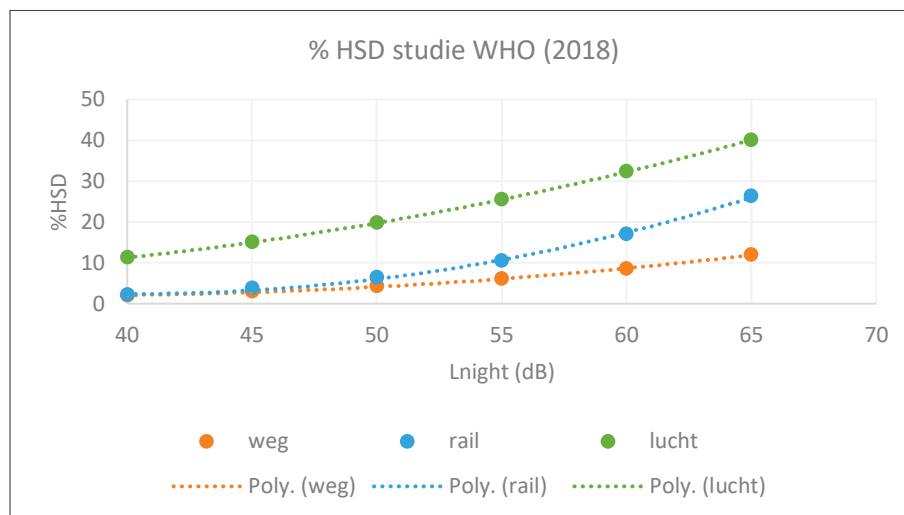
Tabel 6 geeft voor de verschillende geluidsbronnen de odds ratio per 10 dB toename in  $L_{night}$ -waarde zoals gerapporteerd door WHO [1]. De odds ratio staat voor een verhouding van odds waarbij een odds een maat is of een effect zal optreden t.o.v. niet optreden. Bij lage incidentie of prevalentie (zoals hier het geval is) benaderen het relatief risico en de odds ratio elkaar.

Tabel 6 Dosis-effectrelaties voor ernstige slaapverstoring, gebaseerd op geluidsindicator  $L_{night}$ .

| Gezondheids-eindpunt | Geluidsbron  | Odds ratio (95% CI) per 10 dB toename in $L_{night}$ | Laagste niveau in studies (dB) | Bron (bewijskracht) |
|----------------------|--------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Ernstige slaaphinder | Wegverkeer   | 2.13 (1.82-2.48)                                     | 43                             | [1] (matig)         |
|                      | Spoorverkeer | 3.06 (2.38-3.93)                                     | 33                             | [1] (matig)         |
|                      | Luchtverkeer | 1.94 (1.61-2.33)                                     | 35                             | [1] (matig)         |
|                      | Windturbines | 1.60 (0.86-2.94)                                     | 31                             | [1] (matig)         |

In het WHO-rapport wordt het percentage ernstig slaapverstoorden (%HSD) veroorzaakt door geluid afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer of luchtverkeer in grafieken en tabellen getoond vanaf een  $L_{night}$ -waarde van 40 dB.

Figuur 14 geeft een overzicht van het percentage ernstig slaapverstoorden in functie van geluidsniveau in  $L_{night}$  afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer en luchtverkeer, waarden zijn genomen uit de WHO-studie.

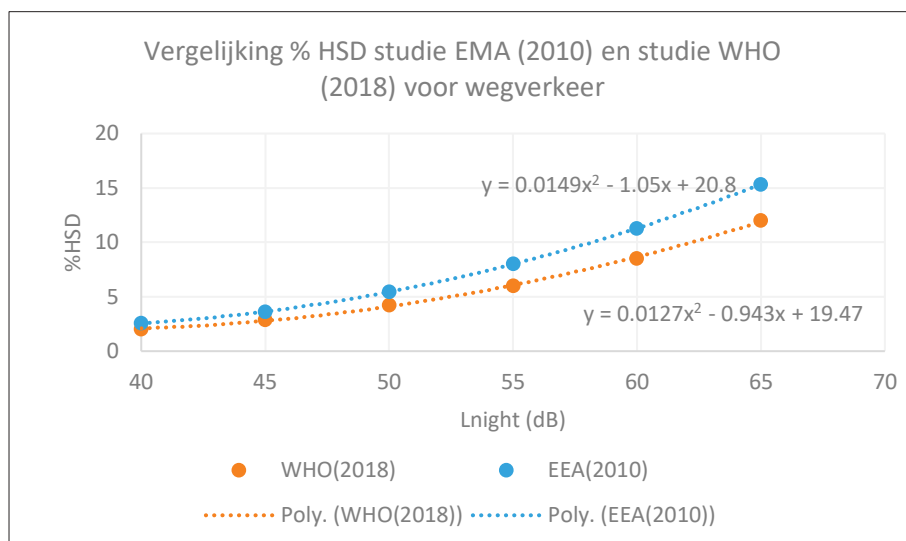


Figuur 14 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer, spoorverkeer en luchtverkeer (uitgedrukt in  $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1].

Hieronder tonen we het percentage ernstig slaapverstoorden voor de verschillende geluidsbronnen apart, en vergelijken we de resultaten van de WHO-studie [1], met eerdere resultaten van EEA [10].

### 5.3.1 Ernstige slaapverstoring door wegverkeer

Figuur 15 toont het percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer (uitgedrukt in  $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

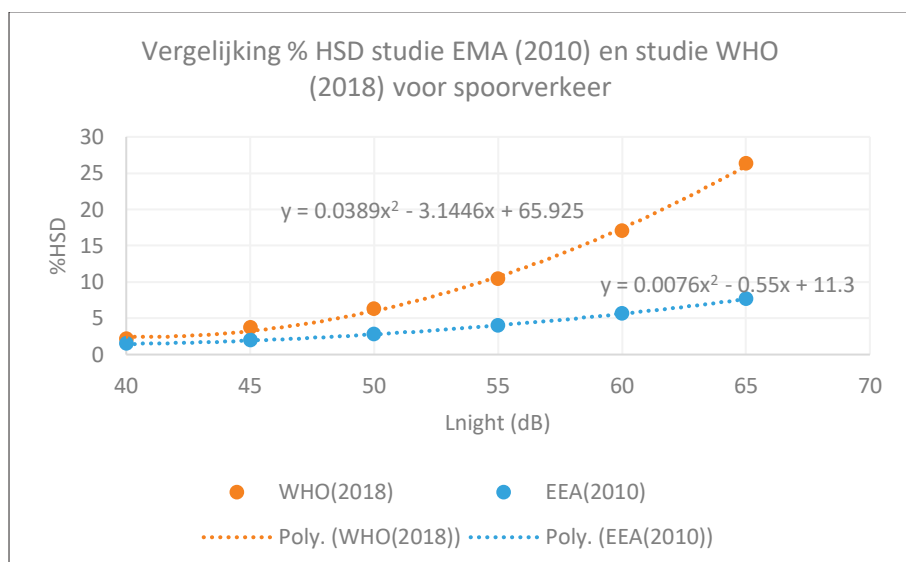


Figuur 15 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van wegverkeer (uitgedrukt in  $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

Voor alle waarden van  $L_{night}$ -blootstelling geeft de nieuwe WHO-richtlijn een lager percentage ernstig slaapverstoorden in vergelijking met de EEA-studie.

### 5.3.2 Ernstige slaapverstoring door spoorverkeer

Figuur 16 toont het percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van spoorverkeer (uitgedrukt in  $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

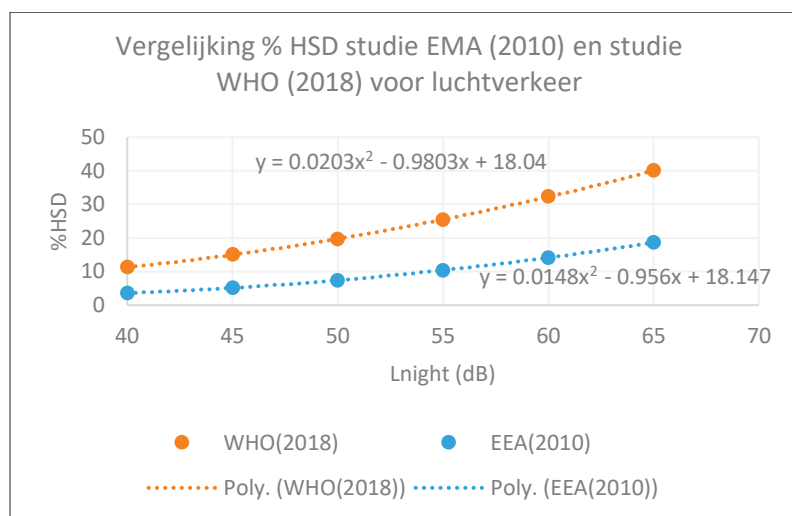


Figuur 16 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van spoorverkeer (uitgedrukt in  $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

Voor alle waarden van  $L_{night}$ -blootstelling geeft de nieuwe WHO-richtlijn een hoger percentage ernstig slaapverstoorden in vergelijking met de EEA-studie.

### 5.3.3 Ernstige slaapverstoring door luchtverkeer

Figuur 17 toont het percentage ernstige slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer (uitgedrukt in  $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10].



Figuur 17 Percentage ernstig slaapverstoorden in functie van de blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer (uitgedrukt in  $L_{night}$ ) zoals afgeleid in [1,10].

Voor alle waarden van  $L_{night}$ -blootstelling geeft de nieuwe WHO-richtlijn een hoger percentage ernstig slaapverstoorden in vergelijking met de EEA-studie.

## 5.4 BEGRIJPEND LEZEN EN MONDELING BEGRIIP

Er is een verband tussen een zwakke score op begrijpend lezen en blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer. De WHO stelt dat er vanaf een blootstelling van  $L_{den}=50$  dB een 1-2 maand achterstand in begrijpend lezen is per toename van 5 dB [1].

In het RIVM-rapport [11] werd op basis van gegevens van de RANCH-studie [15] een dosis-effectrelatie afgeleid. RANCH is een crosssectionele studie waarin bij kinderen de impact op cognitief functioneren (o.a. op vlak van begrijpend lezen) werd onderzocht voor blootstelling aan verkeersgeluid van weg- en luchtverkeer. De achtergrondprevalentie van achterstand in begrijpend lezen werd geschat op 10 %. Er werden geen effecten gevonden voor blootstelling aan wegverkeersgeluid, wel voor blootstelling aan geluid afkomstig van luchtverkeer. We merken hierbij op dat de geluidsblootstelling telkens weergegeven werd met de  $L_{den}$ -indicator, waarbij piekblootstelling niet in wordt weergegeven (zie ook sectie 2.5). De resultaten van de analyse van de RANCH-gegevens door RIVM [11] zijn samengevat in Tabel 7.

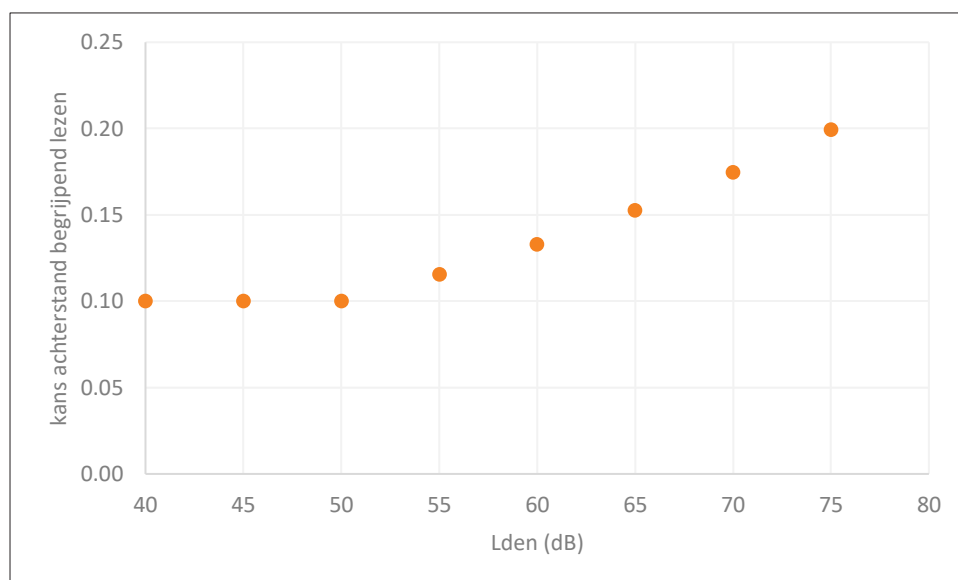
Tabel 7 Dosis-effectrelaties voor begrijpend lezen, gebaseerd op geluidsindicator  $L_{den}$ , bron [11].

| Gezondheids-eindpunt                                   | Geluidsbron  | Odds ratio (95% CI) per 10 dB toename in $L_{den}$ | Laagste niveau in studies (dB) | Bron         |
|--------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Achterstand in begrijpend lezen bij kinderen 7-17 jaar | Luchtverkeer | 1,38 (1,09-1,75)                                   | $L_{den}=50$ dB                | [11] (matig) |
|                                                        | Wegverkeer   | -                                                  | -                              | [3]          |

De kans op achterstand in begrijpend lezen veroorzaakt door geluid afkomstig van luchtverkeer bij kinderen 7-17 jaar kan berekend worden met volgende formule:

$$\frac{1}{1 + \exp \left( - \left( \ln \left( \frac{0.1}{1 - 0.1} \right) + \frac{\ln(1.38)}{10} \cdot (L_{den} - 50) \right) \right)}$$

Figuur 18 toont de kans van achterstand in begrijpend lezen ten gevolge van blootstelling aan geluid van luchtverkeer in functie van de  $L_{den}$ -waarde. Beneden  $L_{den}=50$  dB is de kans gelijk aan 10 % zoals werd verondersteld in de RANCH-studie.



Figuur 18 Kans van achterstand in begrijpend lezen ten gevolge van blootstelling aan geluid van luchtverkeer in functie van de  $L_{den}$ -waarde, bron [11].

Dit verband wordt versterkt door andere gezondheidsmetingen die verband houden met cognitie nl. leerachterstand, langetermijngeheugen. Effecten op het kortetermijngeheugen werden niet bestudeerd [11].

## 5.5 EFFECTEN OP GEHOOR EN TINNITUS/PERMANENTE GEHOORSCHADE

Blootstelling aan luide muziek blijkt één van de meest voorkomende en schadelijkste bronnen te zijn van alle vormen van omgevingslawaai. Het is echter het gezondheidseindpunt waarvoor de link met blootstelling aan omgevingslawaai het minst onderzocht is.

Er is een indicatie dat het gebruik van persoonlijke geluidstoestellen (zoals bv. iPod, smartphone via hoofdtelefoon) een effect heeft op gehoorschade en tinnitus. Deze studies werden vooral bij tieners en jongeren uitgevoerd. Voor andere bronnen van recreatiegeluid konden geen resultaten afgeleid worden door heterogeniteit in studieresultaten. In de WHO-analyse [1] werd geen dosis-effectrelatie afgeleid voor permanente gehoorschade.

Er is veel vakliteratuur beschikbaar voor gehoorschade als gevolg van geluidsblootstelling op de werkvloer. Een geluidsblootstelling boven 80 dB gedurende 40 jaar werken aan 40 uren per week kan aanleiding geven tot permanente gehoorschade. Vermits geluidsgelateerde gehoorproblemen onomkeerbaar zijn, is elk risico op gehoorvermindering relevant.

## 5.6 ANDERE GELUIDSBRONNEN

In de nieuwe richtlijnen van de WHO [1] zijn twee nieuwe types geluidsbronnen opgenomen: windturbines en recreatiegeluid. Geluidsniveaus afkomstig van deze geluidsbronnen dienen, omwille van hun specifiek karakter, mogelijks op een andere manier/tijdschaal/... geëvalueerd te worden in het kader van het evalueren van gezondheidseffecten. Dit wordt in deze paragraaf besproken. Verder worden bepaalde types geluidsbronnen niet opgenomen in de nieuwe WHO-richtlijnen, deze worden kort toegelicht.

### 5.6.1 Geluid afkomstig van windturbines

De voornaamste bron van geluid van windturbines komt van de draaiende rotorbladen (aerodynamisch geluid). De hoeveelheid geluid is vooral afhankelijk van de snelheid waarmee de uiteinden van de wieken bewegen, dit wordt bepaald door de rotordiameter en het toerental. De bewegende delen van de windturbine, zoals de generator en de tandwielkast, veroorzaken mechanisch geluid, deze bijdrage is in moderne windturbines verwaarloosbaar.

Het aerodynamisch geluid afkomstig van windturbines verschilt van andere geluidsbronnen om verschillende redenen [16,17]:

- ▼ Windturbines veroorzaken geluid op andere frequenties, er is een belangrijke bijdrage van laagfrequent geluid (lage tonen) en ook infratonen (niet hoorbaar voor mensen);
- ▼ De rotorbladen draaien rond op een bepaald tempo (met een bepaalde ronddraaifrequentie), dit veroorzaakt een “zwiepend/zoevend” geluid met variabele amplitude (zogenaamde amplitudemodulatie) in functie van de frequentie van de rotorbladen. We merken hierbij op dat de ronddraaifrequentie van de rotorbladen niet verward mag worden met de frequentie (toonhoogte) van het geluid.

Het aantal studies over geluid van windmolens en gezondheidseffecten is zeer beperkt en dus is er ook een grotere onzekerheid over de dosis-effectrelatie. De dosis-effectrelatie voor het verband met ernstige hinder, afgeleid in [13] en getoond in Figuur 13, toont dat bij lage geluidsbelasting (vanaf  $L_{den}=35$  dB) reeds hinder optreedt bij windturbines. We merken op dat hierbij de impact werd bekeken in het ‘normale’ frequentiebereik van het menselijk oor gezien bij de berekening van het  $L_{den}$ -geluidsniveau een A-weging wordt toegepast. Effecten van lage-frequentiecomponenten of infratonen worden hier niet meegenomen.

Verschuillende bronnen [17,18] suggereren dat de periodieke verandering in het geluid van windmolens (door het ronddraaien van de rotorbladen) kan zorgen voor verhoogde hinder, dit wordt bevestigd door verschuillende labostudies.

Uit het onderzoek [18] blijkt dat bij hetzelfde A-gewogen geluidsdrukniveau het geluid van windturbines werd geassocieerd aan hogere hinder dan geluid afkomstig van wegverkeer. Deze studie peilde naar korte-termijnhinder, maar men kan gelijkaardige effecten verwachten op lange termijn.

In de grijze literatuur wordt infrageluid afkomstig van windturbines beschreven als de belangrijkste bron van gezondheidseffecten, zelfs bij lage intensiteit. Dit wordt niet bevestigd door recente wetenschappelijke studies. De wetenschappelijke literatuur verwacht geen andere gezondheidseffecten van geluid op lage frequentie dan op 'normale' frequenties.

Het is evenwel mogelijk dat het geluid afkomstig van windturbines niet goed gekarakteriseerd kan worden door parameters als  $L_{den}$  of  $L_{night}$ . Dit kan dan een beperking geven op het vinden van associaties tussen windturbinegeluid en gezondheidsparameters.

### 5.6.2 Recreatiegeluid

Recreatiegeluid verwijst in deze context naar alle geluidsbronnen waaraan mensen worden blootgesteld als gevolg van vrijetijdsactiviteiten, zoals het bijwonen van nachtclubs, pubs, fitness, live sportevenementen, concerten of live muzieklocaties en het luisteren naar luide muziek door middel van persoonlijke geluidstoestellen.

Er is indicatie dat persoonlijke geluidstoestellen (zoals bv. iPod, smartphone) een effect hebben op gehoorschade en tinnitus. In de WHO-analyse [1] is er geen evidentie voor effecten van het geluid van deze toestellen op andere gezondheidseindpunten zoals incidentie van ischemisch hartfalen, verhoogde bloeddruk, effecten op begrijpend lezen en mondeling begrip, ernstige hinder en ernstige slaapverstoring. Gezondheidseffecten, zoals bv. ernstige slaapverstoring, gelinkt aan het licht afkomstig van persoonlijke geluidstoestellen worden hier niet besproken. Voor andere bronnen van recreatiegeluid konden geen resultaten afgeleid worden door heterogeniteit in studieresultaten.

Om advieswaarden af te leiden voor deze geluidscategorie gebruikt de WHO [1] een verschillende aanpak, gebaseerd op de kennis omtrent preventie en gehoorverlies op de werkplaats en de WHO "Guidelines for Community Noise" (CNG) [4]. Er is immers voldoende evidentie dat de aard van de geluidsbron weinig belang heeft bij het veroorzaken van gehoorverlies. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen een aanbevolen maximum voor jaargemiddelde blootstelling en voor éénmalige gebeurtenissen.

In overeenstemming met de evidentie voor de effecten van persoonlijke geluidstoestellen op permanent gehoorverlies, beveelt de WHO [1] een adviesniveau van 70 dB  $L_{Aeq,24h}$  als jaargemiddelde waarde voor alle bronnen van recreatiegeluid samen. Er is geen relevante risicotoename voor permanente gehoorschade beneden dit blootstellingsniveau. Voor beleidsdoeleinden kan het nuttig zijn om deze jaargemiddelde waarde om te vormen tot andere tijdsvensters.

Het gelijke-energieprincipe kan niet gebruikt worden om advieswaarden af te leiden voor éénmalige gebeurtenissen omdat het gehoor niet-lineair werkt bij hoge geluidsniveaus. De WHO "Guidelines for Community Noise" (CNG) geven een maximumwaarde voor de geluidsindicator  $L_{Amax} = 110$  dB voor industrieel geluid (geen afstand vermeld) [4].

Ondanks de consensus dat hoge geluidsniveaus acute gehoorschade kunnen veroorzaken, is er geen overeenstemming over een veilig geluidsniveau.

### 5.6.3 ANDERE GELUIDSBRONNEN

Zoals vermeld in sectie 3.2 werden voor volgende geluidsbronnen geen aanbevelingen ontwikkeld in de nieuwe WHO-richtlijn:

- ▼ Industrielawaai;
- ▼ Beroepshalve blootstelling;
- ▼ Buurtlawaai (lawaai voortkomend uit verschillende geluidsbronnen, zoals ventilatiesystemen, kerkklokken, dieren, burens, etc.).

Blootstelling van omwonenden aan geluid van industrie wordt in de WHO-richtlijnen omgevingslawaai niet expliciet beschouwd. Dit komt door de grote heterogeniteit en de specifieke eigenschappen van industrieel geluid, alsook het erg lokale karakter.

Er zijn geen richtlijnen voor beroepshalve geluidsblootstelling vermits dit geregulariseerd wordt in de arbeidswetgeving en omdat werknemers vaak beschermende maatregelen treffen.

## HOOFDSTUK 6. MAATREGELEN TEGEN GELUID(SHINDER) (VAN VERKEER)

### 6.1 ALGEMEEN

Er bestaan verschillende types maatregelen om de geluidsbeleving (soundscape, zie ook HOOFDSTUK 7) zo aangenaam mogelijk te maken en op deze manier de gezondheidseffecten van geluid te verminderen. De WHO definieert vijf categorieën van maatregelen, zoals getoond in Tabel 8 [1].

*Tabel 8 Algemene maatregelen voor optimalisatie van de soundscape en voor reductie van gezondheidseffecten van geluid, WHO indeling [1].*

| Type maatregel | Categorie maatregel         | Subcategorie maatregel                                                                                                                                 |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Geluidsbron                 | - Verandering in emissieniveaus<br>- Tijdbeperking op geluidsbron                                                                                      |
| B              | Overdracht geluid           | - Verandering in pad bron-ontvanger<br>- Geluidsisolatie                                                                                               |
| C              | Verandering infrastructuur  | - Opening van nieuwe infrastructuur<br>- Sluiten van bestaande infrastructuur                                                                          |
| D              | Andere fysische maatregelen | - Andere veranderingen in woning/buurt<br>- Introductie van gewenste geluiden (zie ook sectie 7.8)<br>- Verandering in topografie (zie ook sectie 7.8) |
| E              | Gedragsverandering          | - Vermindering blootstelling door verandering in individueel gedrag;<br>- Vermijden of verkorten van blootstelling<br>- Communicatie                   |

Op basis van studies waarin de gezondheidseffecten van interventies werden onderzocht, beveelt de WHO voor verschillende geluidsbronnen maatregelen aan om de geluidsniveaus te verlagen [1].

Zo worden voor wegverkeer volgende maatregelen aanbevolen:

- ▼ Type A: verandering in verkeersstromen, daling verkeersvolumes, beperking zwaar verkeer, verbetering wegdek, snelheidsbeperking, ...
- ▼ Type B: geluidsisolatie woningen, geluidsschermen
- ▼ Type C: tunnelinfrastructuur

Voor luchtverkeer wordt volgende maatregel aanbevolen:

- ▼ Type C: openen en/of sluiten van startbanen, aanpassing vluchtroutes

Voor de geluidsbronnen spoorverkeer, windturbines en recreatiegeluid volgt er geen éénduidig besluit uit de door WHO gescreende studies over welke type maatregelen best aanbevolen worden.

## 6.2 PRIORITEITENKADER

Om de negatieve gezondheidseffecten van blootstelling aan omgevingsgeluid te minimaliseren, kan het door Vlaams Instituut Gezond Leven ontwikkelde prioriteitenkader<sup>21</sup> gebruikt worden. Dit instrument bevat 5 criteria om de gebruiker te helpen kiezen tussen verschillende maatregelen waarbij gestreefd wordt naar maximale gezondheidswinst. Figuur 19 toont de 5 criteria, meer uitleg is terug te vinden op de website van Vlaams Instituut Gezond Leven.

| Duurzaamheid effect                         | Bereik                      | Gezondheidsongelijkheid               | Faciliteren gezonde keuze              | Integrale benadering                       | gezondheidswinst<br>Meer<br>minder |
|---------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Effect blijft op lange termijn              | Een grote groep mensen      | Gezondheidsongelijkheid wordt kleiner | Maakt de gezonde keuze het makkelijkst | Positief effect op vele gezondheidsthema's |                                    |
| Effect op korte en middellange termijn      | Een gemiddelde groep mensen | Gezondheidsongelijkheid blijft gelijk | Maakt de gezonde keuze gemakkelijker   | Positief effect op enkele thema's          |                                    |
| Alleen effect gegarandeerd op korte termijn | Een kleine groep mensen     | Gezondheidsongelijkheid wordt groter  | Geen effect op gezonde keuze           | Positief effect op één thema               |                                    |

Figuur 19 Overzicht van de vijf criteria van het prioriteitenkader van Vlaams Instituut Gezond Leven, figuur overgenomen van website <sup>14</sup>.

Maatregelen met een duurzaam gezondheidseffect op lange termijn zijn vaak maatregelen die de oorzaak van het probleem aanpakken, in dit geval de geluidsbron (dit zijn type A maatregelen uit Tabel 8). Verder hebben dit type maatregelen meestal ook een positief effect op het milderen van andere risico's.

<sup>21</sup><https://www.gezondleven.be/sectoren/gezonde-gemeente/gezonde-publieke-ruimte/op-weg-naar-beleid-publieke-ruimte/prioriteiten-bepalen-vanuit-gezondheid>

Verder is het belangrijk om de ruimtelijke planning van de publieke ruimte af te stemmen op de genomen maatregelen, dit helpt om een blijvend gezondheidseffect op lange termijn te realiseren. Zoals vermeld in paragraaf 2.4 is de perceptie van geluid bij mensen immers sterk afhankelijk van de omgeving en context waarin ze het geluid ervaren. Bijvoorbeeld: als je een fietsverbinding wilt aanleggen, kan je ook denken aan rust- en speelplekken langs de fietsverbinding of het plaatsen van fruitbomen langs de weg. Op die manier krijg je een grotere meerwaarde, de maatregel stimuleert namelijk meer beweging, zorgt voor minder geluidshinder en minder luchtverontreiniging.

## 6.3 CASESTUDIES

Deze sectie beschrijft een aantal casestudies in Vlaanderen, om zo dieper in te gaan op enkele maatregelen. Voor ieder van deze cases werden volgende aspecten uitgezocht en indien mogelijk toegelicht:

- ▼ Waarom dit project? (Context van het project)
- ▼ Wie organiseert het?
- ▼ Hoe wordt geluid binnen dit project geëvalueerd?
- ▼ Welke maatregelen kan je nemen om geluidshinder te reduceren? (eventueel met specifieke voorbeelden)
- ▼ Hoe passen deze maatregelen binnen het WHO-kader (Tabel 8)?
- ▼ Eigen reflecties

### 6.3.1 Antwerpen: beoordelingskader milieukwaliteit voor scholen en kinderdagverblijven<sup>22</sup>

In de stad Antwerpen loopt een project waarbij men een beoordelingskader, dat rekening houdt met geluidshinder en luchtvervuiling, zal gebruiken voor het vergunnen van scholen en kinderdagverblijven van minstens 9 opvangplaatsen [19].

#### Waarom dit project? (Context)

Dit project startte met de zoektocht naar een beoordelingsmethode om rekening te houden met de extra gevoeligheid van kinderen aan omgevingslawaaï en luchtverontreiniging. Het is van toepassing wanneer nieuwe scholen en kinderdagverblijven gebouwd worden of wanneer bestaande scholen en kinderdagverblijven uitgebreid worden [19].

#### Wie?

Het is een project van de stad Antwerpen in samenwerking met het Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid en de diensten Energie & Milieu Antwerpen en Onderwijs & regie Kinderopvang van de stad [19].

#### Hoe gebeurt de beoordeling van geluidshinder?

Het beoordelingskader is van toepassing als nieuwe scholen en kinderdagverblijven gebouwd worden of als bestaande scholen en kinderdagverblijven uitbreiden. Bij een aanvraag voor bouw, uitbreiding of inrichting zal men rekening houden met de geluidshinder en luchtkwaliteit op de plaats waar het gebouw zal komen of zich bevindt [19].

---

<sup>22</sup><https://www.antwerpenmorgen.be/projecten/beoordelingskader-milieukwaliteit/over>

Er zijn twee uitgangspunten voor de beoordeling van geluidshinder, namelijk:

- ▼ Als  $L_{den}$  lager is dan 60 dB(A) dan is er sprake van een kwalitatieve leefomgeving
- ▼ Als  $L_{den}$  hoger of gelijk is aan 70 dB is er spraken van een onaanvaardbaar geluidsklimaat

Op basis van de meest recente geluidskaart met de geaccumuleerde geluidsbelasting voor alle bronnen ( $L_{den}$  totaal) wordt de geselecteerde locatie beoordeeld (zie Figuur 20) [19].

| Geluidshinder |                                                      |                                                      |                                     |
|---------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| dB (Lden)     | Nieuw +<br>functiewijziging                          | Uitbreiding                                          |                                     |
| < 60          | Gunstig                                              |                                                      | Streefdoelen                        |
| 60 – 64       | Gunstig mits maatregelen                             |                                                      |                                     |
| 65 – 69       | Gunstig mits<br>verkeersluwe zijde en<br>maatregelen | Gunstig mits<br>maatregelen                          | 35 dB binnen<br>(tijdens les)       |
| ≥ 70          | Ongunstig                                            | Gunstig mits<br>verkeersluwe zijde en<br>maatregelen | 55 dB buiten<br>(tijdens speeltijd) |

- Verkeersluwe zijde < 65 dB(A)

Figuur 20 Beoordelingskader geluidshinder, overgenomen uit [19].

### Mogelijke maatregelen om blootstelling aan geluidshinder te voorkomen of te beperken

Via bovenstaande beoordelingskader moet er vanaf de ontwerpfase van een gebouw rekening gehouden worden met de blootstelling aan geluidshinder en luchtverontreiniging en met maatregelen die deze blootstelling kunnen voorkomen of beperken [19]. Voorbeelden van maatregelen kunnen onderverdeeld worden in 2 grote groepen, namelijk: aanpassingen aan het ontwerp van het gebouw en bouwtechnische ingrepen [20,21].

Voorbeelden van aanpassingen aan het ontwerp van het gebouw (indeling en inplanting optimaliseren) [20,21]:

- ▼ Oriëntatie, volumes en grondplan van de verschillende lokalen in het gebouw aan de geluidsbronnen aanpassen, zoals bv.: meest gebruikte klaslokalen plaatsen aan verkeersluwe kant, kleedruimtes en technische lokalen aan de kant met geluidsbelasting;
- ▼ Afscherpende structuren voorzien tussen gebouw en geluidsbron;
- ▼ Gebouw of bepaalde ruimtes zo ver mogelijk van belastende verkeersweg houden.

Voorbeelden van bouwtechnische ingrepen [20,21]:

- ▼ De Belgische norm NBN S 01-400-2 akoestische criteria voor schoolgebouwen of NBN S 01-400-1 voor woningen toepassen. Tijdens speeltijden wordt er gestreefd naar  $L_{Aeq} = 55$  dB en in de leefruimtes en leslokalen naar  $L_{Aeq}$  van 35dB;
- ▼ Geluidswerende gevels gebruiken;
- ▼ Akoestisch isolerend materiaal gebruiken;
- ▼ Reflecterende materialen vermijden, denk aan muren rond een speelplaats.

## Hoe passen bovenstaande maatregelen binnen het WHO-kader?

Tabel 9 geeft een overzicht van de maatregelen in Antwerpen volgens het WHO-kader van Tabel 8.

Tabel 9 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader

| Type maatregel | Categorie maatregel         | Subcategorie maatregel                                                                                           | Voorbeelden case Antwerpen - beoordelingskader                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B              | Overdracht geluid           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verandering in pad bron-ontvanger</li> <li>- Geluidsisolatie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geluidswerende gevels gebruiken</li> <li>- Akoestisch isolerend materiaal gebruiken</li> <li>- Reflecterend materiaal vermijden</li> <li>- Afscherpende structuren voorzien tussen gebouw en bron</li> </ul>                                                                          |
| D              | Andere fysische maatregelen | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Andere veranderingen in woning/buurt</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oriëntatie, volumes en grondplan van de verschillende lokalen in het gebouw aan de geluidsbronnen aanpassen, zoals bv.: meest gebruikte klaslokalen plaatsen aan verkeersluwe kant</li> <li>- Gebouw of bepaalde ruimtes zo ver mogelijk van belastende verkeersweg houden</li> </ul> |

### Eigen reflecties

We merken op dat de waarden van het voorgestelde beoordelingskader ver boven de door WHO vastgelegde advieswaarden (zie **Error! Reference source not found.**) liggen. De grenzen zijn echter gekozen in functie van de haalbaarheid, zowel vanuit praktisch als politiek oogpunt, men kiest ervoor om van start te gaan met de ergste punten.

## 6.3.2 Vlaamse Landmaatschappij – STeRio - Stiltegebieden in Vlaanderen<sup>23</sup>

### Waarom dit project? (context)

In 2001 startte het pilootproject 'Stiltegebied Dender-Mark', hierin ging de Vlaamse overheid op zoek naar een alternatief stiltegebiedenbeleid op de grens van Vlaams-Brabant (Galmaarden) en Oost-Vlaanderen (Ninove, Geraardsbergen). Hieruit volgde het 'kwaliteitslabel Stiltegebied'. Sinds 2016 kunnen gemeenten en provincies dit kwaliteitslabel aanvragen voor een bepaald gebied. Intussen werd dit kwaliteitslabel al aan 7 plaatsen toegekend [22].

In 2013 stelde Vlaams minister Joke Schauvliege een interdisciplinaire overleggroep "Stilte en Rust" (STeRio) op binnen het Interbestuurlijk Plattelandsoverleg (IPO). Deze groep kan het toenemende aantal lokale en bovenlokale initiatieven rond stilte, rust en ruimte in Vlaanderen stimuleren en begeleiden vanuit een sector overschrijdende benadering. Met deze STeRio-overleggroep geeft de Vlaamse overheid op een concrete manier uitvoering aan het eerdere advies (2011) van IPO "Stilte & rust als collectieve waarde" [22].

In het eindverslag van de STeRio-overleggroep worden de belangrijkste inzichten die tijdens verschillende bijeenkomsten naar voren kwamen, samengebracht in een eerder theoretisch denkkader. Dit wordt verder aangevuld met aanbevelingen (toegelicht met concrete voorbeeldpraktijken) [22].

<sup>23</sup><https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/IPO/IPO%20adviezen/IPO-advies%20-%20STeRio%20-%20web%20nieuw.pdf>



## Wie?

STeRio-overleggroep van IPO, deze groep bestaat uit beleidsmakers, professionelen en andere stiltezoekers die ijveren voor een kwaliteitsvolle leefomgeving. De Vlaamse Landmaatschappij is voorzitter van de STeRio-overleggroep [22].

## Hoe gebeurt de beoordeling van geluidshinder?

In de context van STeRio gaat het over stiltegebieden. Dit zijn gebieden waar de nood tot bescherming voortvloeit uit de eigenschap van stilte en rust. Het betekent niet dat er een totale afwezigheid van geluid is, maar wel een aangenaam geheel van geluiden. Het gaat hier met andere woorden niet over het reduceren van geluidshinder maar eerder over het bewaken of opzetten van stilte- en rustgebieden [22].

Het eindrapport van STeRio en het denkkader in dit eindrapport kwamen tot stand door de combinatie van bezoeken aan voorbeeldpraktijken en de uitwisseling van getuigenissen en ervaring ter plekke; gevoed door tal van inzichten, voorbeelden en praktijken uit binnen- en buitenland [22].

## Aanbevelingen voor het beheren, ontsluiten en inrichten van stiltegebieden en rustige plekken

De aanbevelingen worden onderverdeeld in drie grote thema's, namelijk: beleidscontext, burgerzin & ondernemerschap, inrichtingsaspecten. Hieronder volgt een korte opsomming van de verschillende aanbevelingen per thema (overgenomen vanuit [22]), voor een gedetailleerde beschrijving verwijzen we naar het rapport<sup>24</sup> [22], pagina's 70-75.

- ▼ Beleidscontext
  - ▲ Gedreven beleidsverantwoordelijken als sleutel voor de verankering van het stiltegebied;
  - ▲ Voorwaarden scheppen om stilte- en rustwerking in de samenleving te verankeren;
  - ▲ Verruimen van de blik/nood aan samenwerking, ook buiten het eigen werk- of grondgebied met aandacht voor de (rand)stedelijke context;
  - ▲ Samengaan van bottom-up- en top-down-gestuurde initiatieven;
  - ▲ Goede afstemming tussen alle betrokkenen en balans tussen behoud en ontwikkeling;
  - ▲ Wervend maar degelijk communiceren;
  - ▲ Kwaliteitslabel stiltegebied als dynamisch instrument inzetten.
- ▼ Burgerzin & ondernemerschap
  - ▲ Een markt creëren voor aanbieders van stilte, rust en ruimte;
  - ▲ Ondernemingszin als attitude;
  - ▲ Burgerparticipatie en veerkracht;
  - ▲ Georganiseerde netwerken van sterkhouders en ondernemers;
  - ▲ Betrokkenheid van vrijwilligers in een professionele omkadering;
  - ▲ Professionaliseren van het stilteaanbod;
  - ▲ Rendabiliteit en branding van stilteproducten en -diensten nastreven.

---

<sup>24</sup><https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/IPO/IPO%20adviezen/IPO-advies%20-%20STeRio%20-%20web%20nieuw.pdf>

▼ Inrichtingsaspecten

- ▲ Maatwerk – omdat geen plek hetzelfde is;
- ▲ Planning en uitvoering gaan samen – goed organiseren van beheer en toegankelijkheid;
- ▲ Fysieke inrichting vereist financiering, samenwerking en creativiteit;
- ▲ Het belang van huisstijl en signalisatie;
- ▲ Expliciete belevingselementen versus impliciet kader voor stilte- en rustbeleving;
- ▲ Degelijke ruimtelijke inrichting, gekoppeld aan beheersplan;
- ▲ Kleine ruimtelijke ingrepen met groot effect, de intrinsieke kracht van een plek en kansen door herwaardering van erfgoed.

Hieronder halen we ook 2 concrete voorbeelden uit het rapport aan, namelijk: Gerhagen en Averbode (resp. Figuur 21 en Figuur 22). Voor extra voorbeelden kan men het eindrapport raadplegen.



Figuur 21 Voorbeeld stiltegebied Gerhagen – Stiltegebied en poort tot de Merode, overgenomen uit [22].

## ABDIJ VAN AVERBODE

In de abdij van Averbode wordt gewerkt met vier zones. Zo wordt een evenwicht gezocht tussen de behoeften van de gast of de bezoeker en de eigen leefwijze van de religieuze gemeenschap. Auto's worden sowieso uit de abdij gebannen. Het binnenplein met onlangs aangelegde 'spiegelvijver', die de voorgevel van het kloostercomplex en de kerk weerspiegelt, is de publieke, toeristische zone: elke bezoeker kan er genieten van de schoonheid van de plek en komt er – door het wateroppervlak – spontaan tot reflectie en verstillings. Achter de gevel is er de zone met de cultusruimte (kerk) en de gastenkamers (abdij). Dit verblijfskwartier is enkel toegankelijk voor (betalende) gasten. Het aanpalende bezinningscentrum biedt ruimte voor een verblijf van enkele dagen in groep, met ruimte voor innerlijke stilte- en rustbeleving. Elke avond is er een begeleid gemeenschappelijk stiltemoment waaraan iedereen vrij kan deelnemen. De abdijsamen-

schap zelf – met een besloten tuin – bevindt zich in het hart van het kloostercomplex en blijft aldus gevrijwaard van on gepaste inmenging van buitenaf. Hier staat het ritueel en het religieuze leven van de kloosterlingen centraal.

Met de recente realisatie van de verbouwingswerken werd in de abdij van Averbode een extra tussenzone gecreëerd tussen de toeristische zone en het gastenverblijf, zodat een grote stuk van de voormalige abdijsloot voor het ruime publiek toegankelijk wordt. Er komen informatiedragers met uitleg over het dagelijkse leven op de site en een cafetaria. Belangstellenden kunnen er de kaasmakerij en de brouwerij bezoeken en de abdijsproducten degusteren. In het belevingscentrum zal er aandacht zijn voor schoolgroepen met een educatief programma over de uitgeverij, de abdij en haar producten en het Merodegebied. Het is een uitdaging het belevingscentrum de eigenheid van het abdijsleven niet negatief te laten beïnvloeden.

*Figuur 22 Voorbeeld stiltegebied Abdij van Averbode, overgenomen uit [22].*

### Hoe passen bovenstaande maatregelen binnen het WHO-kader?

Stiltegebieden zorgen ervoor dat mensen de mogelijkheid hebben om tot rust te komen in een stille omgeving wanneer ze deze gebieden bezoeken. Voorgaande voorbeelden van Gerhagen en Averbode tonen aan dat er verschillende maatregelen genomen kunnen worden om stiltegebieden en rustige plekken te bewaken, te ontsluiten en in te richten. Tabel 10 geeft een overzicht van de maatregelen in Gerhagen volgens het WHO-kader van Tabel 8.

Tabel 10 Indeling van maatregelen in stiltegebied Gerhagen volgens WHO-kader.

| Type maatregel | Categorie maatregel        | Subcategorie maatregel                                                                                                                                                                          | Voorbeeld Gerhagen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Geluidsbron                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verandering in emissieniveaus</li> <li>- Tijdbeperking op geluidsbron</li> </ul>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Afsluiten van bepaalde verbindingswegen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| C              | Verandering infrastructuur | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opening van nieuwe infrastructuur</li> <li>- Sluiten van bestaande infrastructuur</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Makkelijker bereikbaar maken van stiltegebied</li> <li>- Om wild parkeren binnen het stiltegebied tegen te gaan, worden de toegangspoorten ingericht met aangepaste accommodatie, zoals voldoende parkeergelegenheid. Deze dient om de bezoekersstromen op te vangen. Zo wordt er een bufferzone gecreëerd tussen “binnen” en “buiten” het stiltegebied (dat dan enkel toegankelijk wordt te voet of met de fiets). Er wordt gebruik gemaakt van zoveel mogelijk natuurlijke middelen (aanplantingen).</li> </ul> |
| E              | Gedragsverandering         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermindering blootstelling door verandering individueel gedrag;</li> <li>- Vermijden of verkorten van blootstelling</li> <li>- Communicatie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Locatie waar je met familie en kinderen kan vertoeven op een veilige manier in een stiltegebied (zo blootstelling verminderd en trekt mensen aan)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Tabel 11 geeft een overzicht van de maatregelen in Averbode volgens het WHO-kader van Tabel 8.

Tabel 11 Indeling van maatregelen in stiltegebied Averbode volgens WHO-kader.

| Type maatregel | Categorie maatregel         | Subcategorie maatregel                                                                                                                                                                    | Voorbeeld Averbode                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Geluidsbron                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verandering in emissieniveaus</li> <li>- Tijdbeperking op geluidsbron</li> </ul>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auto's worden uit de abdij gebannen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                            |
| D              | Andere fysische maatregelen | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Andere veranderingen in woning/buurt</li> </ul>                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inbouwen van verschillende zones in de abdij zodat rustbeleving mogelijk wordt</li> </ul>                                                                                                                                                                 |
| E              | Gedragsverandering          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermindering blootstelling door verandering individueel gedrag;</li> <li>- Vermijden of kortere blootstelling</li> <li>- Communicatie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elke bezoeker kan genieten van de schoonheid van de plek en komt er spontaan tot reflectie en verstillings</li> <li>- Bezinningscentrum biedt ruimte voor een verblijf van enkele dagen met een ruimte voor innerlijke stilte- en rustbeleving</li> </ul> |

### Eigen reflecties

In voorgaande voorbeelden komt het S.T.O.P.-principe niet echt naar voor, zeker niet wanneer het gaat over het voorzien van voldoende parking. Dit principe gaat over de bewuste overweging die ieder van ons kan maken om zich te verplaatsen. Afhankelijk van de omstandigheden kies je bewust eerst voor Stappen of Trappen, daarna voor het Openbaar vervoer en pas als laatste voor de Personenwagen<sup>25</sup>.

Het eindrapport bespreekt de voorbeelden voornamelijk vanuit de "Power of Place" benadering, wat de intrinsieke kracht of karakter van een plek uitdrukt. Het beschrijft dus maatregelen om de plek zelf te verbeteren, niet zo zeer om er naartoe te geraken. In het voorbeeld van Gerhagen wordt "het voorzien van voldoende parking" aangehaald maar wordt er niet ingegaan op de fietspaden, fietsinstallaties, openbaar vervoer, etc. Uit eigen ervaring weten we echter dat de S.T.O.P.-principes voor bewuste verplaatsing hier ook mogelijk zijn. Er zijn namelijk verschillende fiets- en wandelknooppuntroutes naar Gerhagen, op de parking is er een nieuwe fietsenstalling voorzien en is er ook de mogelijkheid om het openbaar vervoer te nemen. Ook in de buurt rond de abdij van Averbode is dit het geval.

### 6.3.3 Departement omgeving: ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen<sup>26</sup> - stratencusters Antwerpen<sup>27</sup>

#### Waarom dit project?

De doelstelling van het onderzoek "Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen" luidt als volgt: "Het onderzoek heeft als doel om inzicht te krijgen in de strategieën om via ruimtelijk beleid en ruimtelijke inrichting de blootstelling van de bevolking aan omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress en de invloed op gezondheid in street canyons te beperken."

<sup>25</sup>[http://www.sportenverkeer.be/ik\\_ga\\_naar\\_de\\_sportclub\\_en\\_terug/het\\_s.t.o.p.\\_principe](http://www.sportenverkeer.be/ik_ga_naar_de_sportclub_en_terug/het_s.t.o.p._principe)

<sup>26</sup>[https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/1\\_Streetcanyons\\_Eindrapport\\_compressed.pdf](https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/1_Streetcanyons_Eindrapport_compressed.pdf)

<sup>27</sup>[https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/Expertencontract\\_Eindrapport\\_DEF\\_compressed.pdf](https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/Expertencontract_Eindrapport_DEF_compressed.pdf)

In het rapport worden verschillende werkingsmechanismen en mogelijke reductiemaatregelen voor geluidshinder, hittestress en luchtverontreiniging in street canyons besproken. Via 3 testcases (nl. Asse, Tongeren, Vilvoorde) bespreekt men verschillende inrichtingsmaatregelen [23].

Daarnaast is er ook de “**Experten opdracht stratencusters**” die kadert binnen het onderzoek ‘Stratencusters’ in Antwerpen. De doelstelling van dit ‘Stratencusters’-onderzoek luidt als volgt: *“het potentieel van de collectiviteitswinsten op schaal van de buurt en binnen het openbaar domein en de collectieve ruimten onderzoeken en verbeelden voor een aantal geselecteerde cases. In de cases van het project Stratencusters worden buurtwinkels, voorzieningen, pleintjes, zit- en speelplekken, enzovoort aangenaam en veilig bereikbaar te voet of met de fiets dankzij een herschikking van het publiek domein. Daarbij wordt in de verschillende cases ook gekeken naar het potentieel van buurt parkeren.”* De Experten opdracht Stratencusters heeft als doel het uitzetten, visualiseren en kwantificeren van een aantal ontwerpprincipes voor de thema’s energie, water, lucht, hittestress en geluid [23].

Voor de thema’s lucht, geluid en hitte werden de resultaten van de parallel lopende studie “Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen” geïntegreerd in het Experten opdracht rapport. Er is dus aanzienlijke overlap tussen beide rapporten met het verschil dat in de Experten opdracht gefocust wordt op 2 bijkomende thema’s (water en energie) en er 4 extra cases worden bekeken [23].

## Wie?

Het onderzoek “Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen”<sup>28</sup> en “Stratencusters”<sup>29</sup> werd uitgevoerd in opdracht van Departement omgeving [6][23].

## Hoe wordt geluid beoordeeld?

Voor de beoordeling van de geluidshinder in de concrete testcases maken de experts gebruik van de strategische geluidsbelastingskaart van 2016 voor wegverkeer (meer dan 3 miljoen voertuigpassages per jaar volgens RL 2002/49/EG), samen met de impact van aanvullende wegen. De hoeveelheid geluid waaraan de omgeving wordt blootgesteld, staat aangegeven op de geluidskaart (in  $L_{den}$ ). Hogere waarden dan  $L_{den, \text{verkeer}} < 53 \text{ dB}$ , hebben negatieve invloed op de gezondheid. Hogere waarden dan  $L_{night, \text{verkeer}} < 45 \text{ dB}$  hebben een negatieve invloed op slaap [6], [23], zie ook Figuur 23. Deze waarden zijn conform de advieswaarden van de WHO (zie **Error! Reference source not found.**).



Figuur 23 Voorbeeld van legende bij beoordeling van de geluidshinder via strategische geluidsbelastingskaart. Overgenomen van [6], [23].

<sup>28</sup>[https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/1\\_Streetcanyons\\_Eindrapport\\_compressed.pdf](https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/1_Streetcanyons_Eindrapport_compressed.pdf)

<sup>29</sup>[https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/Expertencontract\\_Eindrapport\\_DEF\\_compressed.pdf](https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/Expertencontract_Eindrapport_DEF_compressed.pdf)

In beide rapporten wordt benadrukt dat lucht-, geluids- en/of hitte reducerende maatregelen elkaar kunnen beïnvloeden (positief of negatief). Op basis van prioritering binnen een bepaalde tijdshorizon, dient er dus een afweging gemaakt te worden tussen de reductiemaatregelen voor de 3 verschillende hinderaspecten. Er worden 2 mogelijke manieren naar voren geschoven, namelijk het prioriteren door absoluut grootste overschrijding over geïmpacteerde bevolking of het prioriteren door impact op DALY's of potentieel verloren levensjaren [6], [23].

### Mogelijke maatregelen om blootstelling aan geluidshinder te voorkomen of te beperken (in deze case geluid als gevolg van het verkeer in street canyons)

Uit dit onderzoek blijkt dat voor geluidshinder (en ook voor luchtverontreiniging) het grootste rendement bekomen wordt via het voeren van een aangepast mobiliteitsbeleid. In beide rapporten komen een aantal basisprincipes van reductiestrategieën voor geluid aan bod (Figuur 24). De strategieën zijn weergegeven in volgorde van geluidsreductie-efficiëntie.



Figuur 24 Basisprincipes van reductiestrategieën voor geluid. Overgenomen uit bron [6], [23].

In Tabel 12 worden de reductiestrategieën kort beschreven en eventueel verduidelijkt met een bijkomend voorbeeld.

Tabel 12 Reductiestrategieën voor geluid als gevolg van het verkeer in street canyons [6], [23].

| Reductiestrategie                                | Uitleg                                                                                                                                                                        | Voorbeelden                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Een ander maar niet-gemotoriseerd vervoersmiddel | Hiermee bedoelt men het inzetten op niet-gemotoriseerd verkeer                                                                                                                | - Het fiets- en wandelvriendelijk aanleggen van publieke ruimte                                                                                                                                  |
| Elektrisch wagenpark                             | Doordat elektrische en hybride wagens bij lage snelheid volledig op de batterij rijden wordt het motorgeluid uitgeschakeld. (Rolgeluid zal wel nog steeds een factor blijven) |                                                                                                                                                                                                  |
| Circulatieplannen en mobiliteitsvisie            | Hier geldt het principe: hoe minder verkeer, hoe minder geluidsoverlast                                                                                                       | - Via circulatieplan inzetten op minder verkeer op bepaalde delen van een stad/gemeente<br>- Verkeerdrukke opsplitsen in tijd<br>- Een dubbele rijrichting reduceren naar een enkele rijrichting |

| Reductiestrategie                | Uitleg                                                                                                                                                                                 | Voorbeelden                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type en detaillering wegdek      | Het geluidsniveau afkomstig van het rolgeluid hangt af van het type wegdek                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oneffenheden dwars op de rijrichting in het asfalt vermijden</li> <li>- Voor een doorgewapend continue asfaltweg kiezen</li> </ul>                      |
| Geluidsbrekers                   | Door het inzetten van opstanden en taluds op de straat kan het rolgeluid kort bij de bron gebroken worden                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hagen in de lengte richting van de straat</li> <li>- Randen in opstand aan pleinen (verhard of onverhard)</li> <li>- Continu straatmeubilair</li> </ul> |
| Absorptiewanden                  | De luwe zijde van een street canyon is het meest belast doordat de wind de geluidsgolven in een street canyon afbuigt. Geluidsabsorptie aan deze luwe kant kan dus een verschil maken. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gecombineerde lucht- en geluidsschermen</li> <li>- Groengevel</li> </ul>                                                                                |
| Ontharden in de directe omgeving | Poreuze materialen zorgen voor diffractie van geluidsgolven. Vandaar dat ontharden in het algemeen een goede geluidsreductiestrategie is.                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beplanting tussen woongebouw en voetpad</li> <li>- Groene spoorbermen</li> </ul>                                                                        |

Voor de gedetailleerde uitwerking van de 3 testcases verwijzen we naar pagina 48-71 van het “Ruimtelijke strategieën”-rapport [23] en pagina 92-115 van het Expertent opdracht rapport [6].

## Hoe passen bovenstaande maatregelen binnen het WHO-kader?

Tabel 13 geeft een overzicht van de maatregelen volgens het WHO-kader van Tabel 8.

Tabel 13 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader.

| Type maatregel | Categorie maatregel | Subcategorie maatregel                                                                                                    | Voorbeeld ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen - stratencusters Antwerpen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Geluidsbron         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verandering in emissieniveaus</li> <li>- Tijdbeperking op geluidsbron</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebruik van een ander, niet-gemotoriseerd voertuig stimuleren (bv.: door het aanleggen van fiets- en wandelvriendelijke publieke ruimte)</li> <li>- Elektrisch wagenpark (elektrische of hybride wagens gebruiken)</li> <li>- Type en detaillering van wegdek (bv.: doorgewapend continue asfaltweg, oneffenheden in wegdek vermijden)</li> <li>- Verkeerdrukke opsplitsen in tijd</li> <li>- Via circulatieplan inzetten op minder verkeer op bepaalde delen van een stad/gemeente</li> <li>- Een dubbele rijrichting reduceren naar een enkele rijrichting</li> </ul> |

| Type maatregel | Categorie maatregel | Subcategorie maatregel                                                                                           | Voorbeeld ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen - stratenclusters Antwerpen                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B              | Overdracht geluid   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verandering in pad bron-ontvanger</li> <li>- Geluidsisolatie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hagen in de lengte richting van de straat</li> <li>- Randen in opstand aan pleinen (verhard of onverhard)</li> <li>- Continu straatmeubilair</li> <li>- Gecombineerde lucht- en geluidsschermen</li> <li>- Groengevel</li> <li>- Beplanting tussen woongebouw en voetpad</li> <li>- Groene spoorbermen</li> </ul> |

### 6.3.4 Team Vlaams bouwmeester en Vlaams Agentschap Wegen en Verkeer – Voorbeeldenboek voor gewestwegen in Vlaanderen<sup>30</sup>

#### Waarom dit project? (Context)

Geluidshinder is een actueel probleem langs de wegen in Vlaanderen. Via ontwerpend onderzoek wil men in dit project op zoek gaan naar een innovatieve aanpak van de geluidsoverlast langs wegen in Vlaanderen, met een bijzondere focus op de inspanning langs de weg. Dit leidde tot een voorbeeldenboek<sup>31</sup> met een verduidelijking van enkele basisprincipes omtrent geluid, een verduidelijking van het ontwerpend onderzoek en een aantal algemene aanbevelingen voor het ontwerp van geluidswerende maatregelen. Er wordt voornamelijk gefocust op maatregelen met een sterke impact in de fysieke (bebouwde en niet-bebouwde) ruimte [24].

De focus van dit ontwerpende onderzoek was tweeledig. Enerzijds werd er gekeken naar een ruimtelijk verantwoorde en samenhangende aanpak om op een landschappelijke en stedenbouwkundige wijze de standaard geluidswerende maatregelen in te passen in de omgeving. Anderzijds werd er ook gezocht naar alternatieven voor de huidige geluidsschermen, naar andere nieuwe geluidswerende maatregelen [24].

#### Wie?

In opdracht van Team Vlaams bouwmeester en het Vlaams Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). Vier ontwerpteamen kregen de opdracht om ontwerpend onderzoek te voeren op diverse geluidsbelaste gebieden langs wegen in Vlaanderen, nl: Robbrecht & Daem in samenwerking met Marleen Goethals (Gent), UapS (Parijs), Artgineering (Rotterdam), URA (Brussel) [24].

<sup>30</sup>[https://wegenenverkeer.be/sites/awv/files/bestanden/Geluidswerende%20maatregelen\\_Voorbeeldenboek%20voor%20gewestwegen%20in%20Vlaanderen\\_def\\_0.pdf](https://wegenenverkeer.be/sites/awv/files/bestanden/Geluidswerende%20maatregelen_Voorbeeldenboek%20voor%20gewestwegen%20in%20Vlaanderen_def_0.pdf)

<sup>31</sup>[https://wegenenverkeer.be/sites/awv/files/bestanden/Geluidswerende%20maatregelen\\_Voorbeeldenboek%20voor%20gewestwegen%20in%20Vlaanderen\\_def\\_0.pdf](https://wegenenverkeer.be/sites/awv/files/bestanden/Geluidswerende%20maatregelen_Voorbeeldenboek%20voor%20gewestwegen%20in%20Vlaanderen_def_0.pdf)

## Mogelijke maatregelen om blootstelling aan geluidshinder te voorkomen of te beperken

### Algemeen onderscheid in maatregelen

In het voorbeeldenboek maakt men in een eerste algemene voorstelling van maatregelen een onderscheid tussen 3 groepen van geluidsmaatregelen [24]:

1. Geluidswerende maatregelen aan de bron
  - ▼ De voorkeur gaat naar geluidswerende maatregelen aan de bron. Voorbeelden van maatregelen aan de bron zijn:
    - a. Stillere motoren, stillere wegverharding, stillere autobanden
  - ▼ Voor geluidshinder langs autosnelwegen leveren stillere motoren weinig op. De Vlaamse overheid richt zich vooral op stillere wegverhardingen. Een andere optie is om stillere autobanden te produceren maar hiervoor zijn de Europese normen vandaag nog niet ambitieus genoeg.
    - b. Maatregelen vanuit verkeersplanning of snelheidsmaatregelen (bv. omleiden van verkeer, beperken van aantal passerende voertuigen).
    - c. Ontwerp van de weginfrastructuur (bv. ondertunneling, overkapping)
  - ▼ Opmerking: wegen die verhoogd liggen ten opzichte van een woonomgeving zijn niet wenselijk aangezien er dan een verdere verspreiding van het geluid optreedt.
2. Geluidswerende maatregelen bij de overdracht
  - ▼ Om de overdracht van geluid tussen woning en weg te verminderen wordt er vaak een geluidsscherm gebruikt. Andere mogelijkheden om overdracht van geluid te verminderen zijn: landschappelijke ingrepen, lage begroeiing, geluidswallen, gebouwen die als scherm worden ingeplant [24].
3. Geluidswerende maatregelen bij de ontvanger
  - ▼ Mogelijke maatregelen bij de ontvanger zijn: afbreken of onteigenen van woning, akoestische gevelisolatie van woning, bij nieuwe woonontwikkelingen kan men werken met specifieke woningtypes [24].

### Resultaten uit ontwerpend onderzoek

Figuur 25 geeft een overzicht van mogelijke geluidswerende maatregelen voor vier situaties en het type van directe omgeving (gekoppeld aan beschikbare ruimte). Er wordt vertrokken van een globale indeling in vier situaties in Vlaanderen, namelijk: openruimtegebied, overgangsgebied (gebied tussen open en stedelijke ruimte), stedelijk gebied, infrastructuur (situaties die gekoppeld zijn aan infrastructurele ingrepen) [24].

Elk van de geluidswerende maatregelen in Figuur 25 wordt in het rapport in fiches beschreven en geïllustreerd (nummers van de fiches zijn terug te vinden in de tabel). De fiches beschrijven volgende kenmerken van de geluidswerende maatregel en de omgeving: ruimtelijke context, relatie van de weg tot het landschap, voorstellen uitvoerbaar binnen de huidige aanpak van AWV, voorstellen die vragen om nieuwe aanpak en een inschatting van de partners die betrokken moeten worden bij het proces. In voorbeeld 1 en 2, na de tabel, staan 2 concrete geluidswerende maatregelen beschreven. Voor de gedetailleerde uitleg van de andere geluidsmaatregelen verwijzen we naar de fiches op pagina 29-78 van het rapport [24].

| <i>situaties</i>        | <i>directe omgeving</i>             | <i>beschikbare ruimte</i> | <i>fiche nr.</i> | <i>fiche titel</i>                                   |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------------------------|
| <i>open ruimte</i>      | grenzend aan woningen               | < 5 m                     | 1                | geluidsscherm als haag                               |
|                         |                                     | < 5 m                     | 14               | akoestische isolatie van bestaande woningen          |
|                         |                                     | > 15 m                    | 9                | geluidswal                                           |
|                         | open ruimte met verspreide woningen | ± 100 m                   | 6                | geluidsscherm als landschapselement                  |
|                         |                                     | ± 100 m                   | 7                | geluidsscherm op korte afstand van woningen          |
|                         |                                     | ± 100 m                   | 12               | landschap van hagen en bomen                         |
|                         |                                     | ± 100 m                   | 11               | parklandschap langs weg                              |
| <i>overgangsgebied</i>  | grenzend aan woningen               | < 5 m                     | 1                | geluidsscherm als haag                               |
|                         |                                     | < 5 m                     | 2                | geluidsscherm ingebed in groen                       |
|                         |                                     | < 5 m                     | 3                | geluidsscherm als tuinhedewerk                       |
|                         |                                     | < 5 m                     | 5                | geluidsscherm als spel van vlakken                   |
|                         |                                     | < 5 m                     | 14               | akoestische isolatie van bestaande woningen          |
|                         |                                     | > 15 m                    | 9                | geluidswal                                           |
|                         | restzone tussen weg en woningen     | > 20 m                    | 21               | bijzondere woningtypologie (4)                       |
|                         |                                     | > 20 m                    | 10               | geluidswal met recreatieve functie                   |
|                         |                                     | > 20 m                    | 4/8              | geluidsscherm als afbakening publieke ruimte (1)/(2) |
|                         | ruimte voor nieuwe ontwikkelingen   | ± 100 m                   | 23               | gebouwen als scherm (1)                              |
|                         |                                     | ± 100 m                   | 20               | bijzondere woningtypologie (3)                       |
| <i>stedelijk gebied</i> | grenzend aan woningen               | < 5 m                     | 1                | geluidsscherm als haag                               |
|                         |                                     | < 5 m                     | 3                | geluidsscherm als tuinhedewerk                       |
|                         |                                     | < 5 m                     | 5                | geluidsscherm als spel van vlakken                   |
|                         |                                     | < 5 m                     | 17               | geluidsscherm als herkenbaar baken                   |
|                         |                                     | < 5 m                     | 14               | akoestische isolatie van bestaande woningen          |
|                         |                                     | < 5 m                     | 13               | akoestische isolatie van appartementsgebouwen        |
|                         |                                     | > 10 m                    | 15               | geluidsscherm als herkenbaar baken (1)               |
|                         |                                     | > 20 m                    | 16               | geluidsscherm als herkenbaar baken (2)               |
|                         |                                     | > 15 m                    | 9                | geluidswal                                           |
|                         | restzone tussen weg en woningen     | > 20 m                    | 21               | bijzondere woningtypologie (4)                       |
|                         |                                     | > 20 m                    | 10               | geluidswal met recreatieve functie                   |
|                         |                                     | > 20 m                    | 4/8              | geluidsscherm als afbakening publieke ruimte (1)/(2) |
|                         | ruimte voor nieuwe ontwikkelingen   | ± 100 m                   | 22               | parkeergarages als scherm                            |
|                         |                                     | ± 100 m                   | 23               | gebouwen als scherm (1)                              |
|                         |                                     | ± 100 m                   | 24               | gebouwen als scherm (2)                              |
|                         |                                     | ± 100 m                   | 18-21            | bijzondere woningtypologie                           |
| <i>infrastructuur</i>   |                                     |                           | 25               | snelwegstation met lokale geluidswering              |
|                         |                                     | op brug                   | 26               | geluidsscherm als deel van brug                      |
|                         |                                     | naast/over weg            | 27               | geluidsscherm als gedeeltelijke overkapping van weg  |
|                         |                                     | tunnel                    | 28               | weg in tunnelvorm                                    |

Figuur 25 Overzicht van mogelijke geluidswerende maatregelen voor vier situaties en het type van directe omgeving (gekoppeld aan beschikbare ruimte). Overgenomen uit [24].

### Voorbeeld 1 - Geluidsscherm als haag (overgenomen uit [24])

**Bron:** ontwerp Robbrecht & Daem in samenwerking met Marleen Goethals, workshop 2

**Situatie:** open ruimte

**Directe omgeving:** grenzend aan tuinen of woonstraten

**Beschikbare ruimte:** < 5m

**Lange of korte termijn:** kort

**Partners:** lokale overheid



*Referentiebeelden: wilgenscherm*



*Referentiebeelden: begroeid scherm*

Op vele plaatsen in Vlaanderen passeert de snelweg als het ware in de achtertuin van de bewoners, of aan de voordeur van de woningen. Vaak vormen slechts enkele bomen of struiken de scheiding tussen de weg en de tuin. De beperkte ruimte tussen de woning en de weg laat op dergelijke plekken enkel de inplanting van een geluidsscherm toe.

Om dit geluidsscherm zo aangenaam mogelijk te maken vanuit de woonomgeving, ligt de keuze voor een 'groen' scherm voor de hand. Zo worden de geluidsschermen als een haag rond de tuin ervaren. Tijdens de workshops zijn er twee interessante types van geluidsschermen aange-reikt die na begroeiing nog amper herkenbaar zijn als scherm:

- Ten eerste zijn er de schermen bestaande uit een isolerende kern met een afwerking van wilgetenen aan beide zijden. Door het planten van deze schermen, komen de wilgetenen terug tot

leven en beginnen deze schermen te groeien tot groene haagstructuren.

- Een ander groen scherm bestaat uit een kern van een speciaal ontwikkeld grondsubstraat dat wordt vastgehouden door een geotextiel binnen een metalen constructie. Deze constructie werkt zowel geluidsisolerend als -absorberend. Na het uitgroeien van de planten ontstaat een volledig begroeide groene, levende muur die nauwelijks als een geluidswerende constructie wordt herkend.

Deze geluidsschermen zijn perfect op korte termijn toepasbaar, en zullen qua budget niet veel meer eisen dan de bestaande geluidsschermen in Vlaanderen.

## Voorbeeld 2 - Geluidswal met recreatieve functie (overgenomen uit [24])

**Bron:** ontwerp uapS, workshop 1

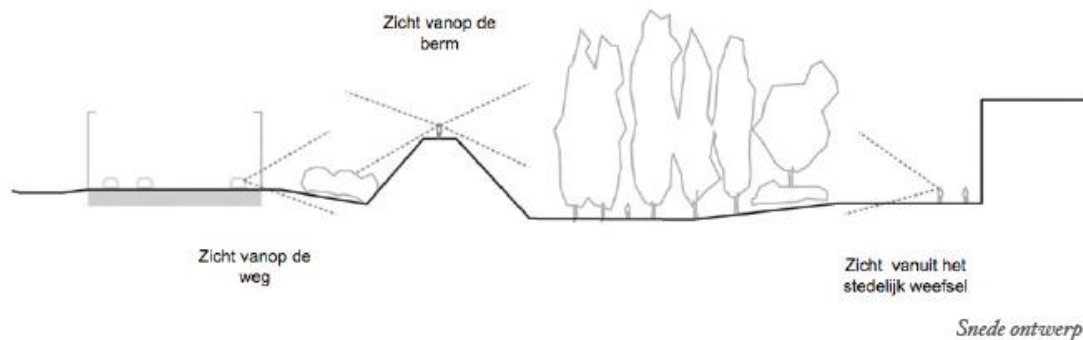
**Situatie:** stedelijk gebied of overgangsgedebied

**Directe omgeving:** restzone tussen weg en woning

**Beschikbare ruimte:** < 20m

**Lange of korte termijn:** lang

**Partners:** lokale overheid



Aan de noordzijde van Antwerpen rijdt men de stad via de Ring binnen langs een dichtbebost landschap. Ter hoogte van Merksem ligt een bufferzone van gemiddeld 100 meter breed tussen de snelweg en het woongebied. Dit gebied wordt vanaf de snelweg ervaren als een kwalitatieve landschappelijke ruimte. Deze zone is ingericht met enkele banken en wandelpaden, maar is tegelijk slecht onderhouden, moeilijk toegankelijk en geen aantrekkelijk groengebied voor de bewoners.

Het woongebied achter de bufferzone ondervindt grote geluidsoverlast van de snelweg. Ondanks de beschikbare ruimte wordt hier geen nieuwe bebouwing voorgesteld als geluidsscherm. Men wenst de bestaande groenzone te bevestigen en te versterken als publieke ruimte. Het is bovendien een biologisch waardevol gebied.

Door middel van nieuwe geluidswallen, die aansluiten op enkele bestaande aarden wallen, wil

men de geluidshinder beperken. Op deze wallen wordt een slingerend fietspad voorzien dat een nieuwe noord-zuidverbinding in het gebied legt, en aansluit op de bestaande straten. Naast de recreatieve functie worden de aarden wallen tevens ingezet om het regenwater van de snelweg of de woonwijk te zuiveren en te laten infiltreren in de bodem (om zo het rioolnetwerk te ontlasten).

In dit project is de geluidswerende maatregel eenvoudig van opzet, en inpasbaar binnen de huidige manier van werken. De geluidswallen maken wel deel uit van een grotere publieke ruimte, en vragen in die zin om een sterke samenwerking met de lokale overheid.

### Algemene inzichten vanuit ontwerpend onderzoek

Uit het proces van het ontwerpend onderzoek zijn verschillende inzichten gekomen wat betreft het ontwerp van geluidswerende materialen. Zo is het gebleken dat elke plek en elke geluidswerende ingreep om een aanpak op maat van de omgeving vraagt. Aanbevelingen en doelstellingen voor een ruimtelijk verantwoord ontwerp werden afgeleid:

- ▼ Zowel binnen de omgeving van de snelweg als binnen de woonomgeving naast de weg is de geluidswerende ingreep goed ingepast
- ▼ De geluidswerende ingreep vormt geen geïsoleerd element maar betekent een functionele en/of ruimtelijke meerwaarde voor de omgeving
- ▼ De geluidswerende ingreep is een geïntegreerd deel van het onderwerp van de weg (zie voorbeeld 3)
- ▼ Ook onderhoud, beheer en duurzaamheid van bepaalde elementen zijn van belang voor de kwaliteit van het ontwerp
- ▼ Het ontwerp moet uiteraard voldoen aan de “technische handleiding voor geluidswerende constructies”

Voor elk van deze doelstellingen staat in het voorbeeldenboek aangegeven hoe dit vertaald kan worden naar concrete geluidsmaatregelen (zie pagina 79-93 van het rapport).

#### **Voorbeeld 3 - inpassing van geluidswerende maatregel in ontwerp van weg (overgenomen uit [24])**

Buitenlandse voorbeelden (zoals in Denemarken) tonen aan dat de ruimtelijke inpassing van het scherm sterk kan verhogen door net aandacht te besteden aan de integratie op dit laagste schaalniveau. De integratie van verlichtingspalen, vangrails of andere veiligheidsmaatregelen in het scherm zorgen voor een belangrijk esthetisch detail. Ook aandacht voor een verzorgde afwerking aan het einde van het geluidsschermen geeft duidelijk een meerwaarde aan het geheel.



*integratie van de verlichting*

#### **Hoe passen bovenstaande maatregelen binnen het WHO-kader?**

Het rapport beschrijft geluidswerende maatregelen die behoren in type B en C van de WHO. Tabel 14 geeft een overzicht van de maatregelen volgens het WHO-kader van *Tabel 8*.

Tabel 14 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader.

| Type maatregel | Categorie maatregel        | Subcategorie maatregel |                                   | Voorbeeld                                 |
|----------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| B              | Overdracht geluid          | -                      | Verandering in pad bron-ontvanger | - Geluidsscherm                           |
|                |                            | -                      | Geluidsisolatie                   | - Akoestische isolatie                    |
|                |                            | -                      |                                   | - Geluidswal                              |
| C              | verandering infrastructuur | -                      | Opening van nieuwe infrastructuur | - Bijzondere woningtypologie              |
|                |                            | -                      |                                   | - Snelwegstation met lokale geluidswering |
|                |                            |                        |                                   | - Geluidsscherm als deel van brug         |

## Eigen reflecties

### Algemeen onderscheid in maatregelen

Zoals hierboven werd aangehaald, maakt men in het voorbeeldenboek een onderscheid tussen 3 groepen van geluidsmaatregelen. Bij de derde groep (geluidswerende maatregelen bij de ontvanger) wordt het voorbeeld “akoestische gevelisolatie van woning” aangehaald. Hoewel dit een goede maatregel is om het geluidsniveau binnen in huis te verminderen, werkt deze maatregel enkel indien alle deuren en ramen gesloten zijn. Indien voor het behouden van een goede binnenlucht kwaliteit de woning natuurlijk geventileerd wordt door het openen van ramen, valt het akoestisch isolerend vermogen weg.

### Voorbeelden

Merk op dat voorbeelden 1 en 2 ook groen integreren. Hierdoor zijn ze niet enkel goed voor geluidsreductie maar ook voor het psychologisch welbevinden. Terwijl voorbeeld 3 enkel iets aan geluid doet.

## 6.3.5 Departement Omgeving - Milieu en Mobiliteit: wat kan je als gemeente doen?<sup>32</sup>

### Waarom dit project? (context)

Om milieuproblemen veroorzaakt door wegverkeer aan te pakken zijn er heel wat mogelijkheden op lokaal niveau. Als hulpmiddel voor gemeentelijke ambtenaren, mobiliteitsbegeleiders en anderen zijn er verschillende instrumenten beschikbaar op de website van Departement Omgeving om zo deze oplossingen maximaal te benutten [25].

### Wie?

Website van Vlaams Departement Omgeving [25].

### Mogelijke maatregelen om blootstelling aan geluidshinder te voorkomen of te beperken

Op de website<sup>33</sup> staan verschillende maatregelen voor gemeentes beschreven. Deze maatregelen zijn onderverdeeld in vijf categorieën, en zijn hieronder samengevat in Tabel 15.

<sup>32</sup><https://www.lne.be/mogelijke-maatregelen-voor-gemeentes>

<sup>33</sup><https://www.lne.be/mogelijke-maatregelen-voor-gemeentes>

Tabel 15 Overzicht van verschillende maatregelen voor gemeentes voor een positieve impact op de luchtkwaliteit en/of het geluidsniveau, overgenomen van Vlaams Departement Omgeving [25].

| Categorie                                                | Mogelijke maatregelen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Autoverkeer ontraden en alternatieven stimuleren         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fietsgebruik stimuleren</li> <li>- Het openbaar vervoer stimuleren</li> <li>- Een aangepaste ruimtelijke planning</li> <li>- Autoluwe binnenstad</li> <li>- Aanpak van doorgaand verkeer</li> <li>- Aangepast parkeerbeleid</li> <li>- Autodelen</li> <li>- E-government</li> </ul>                                                                   |
| Het gebruik van milieuvriendelijke voertuigen stimuleren | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage-emissiezone invoeren</li> <li>- Milieudifferentiatie van parkeertarieven</li> <li>- Elektrische voertuigen stimuleren</li> <li>- Ecoscore toepassen</li> <li>- Roetfilterpremie bij dieselauto's</li> <li>- Een publieke voorbeeldfunctie</li> <li>- Milieuvriendelijke taxi's</li> <li>- Publiek toegankelijke oplaadpunten plaatsen</li> </ul> |
| Groene logistiek                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Doorgaand vrachtverkeer aanpakken</li> <li>- Duurzame stedelijke distributie</li> <li>- Milieuvriendelijke alternatieven stimuleren</li> <li>- Roadmap groene logistiek</li> <li>- Gratis ondersteuning logistieke consulenten</li> <li>- Emissietools gebruiken</li> </ul>                                                                           |
| De snelheid en ritsdynamiek optimaliseren                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voorrangsregeling optimaliseren</li> <li>- Aangepaste weginrichting</li> <li>- Trajectbewaking</li> <li>- Milieuvriendelijk rijden stimuleren</li> <li>- Milieuvriendelijke weginrichting</li> </ul>                                                                                                                                                  |
| De blootstelling verminderen                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aangepast ontwerp van de publieke ruimte</li> <li>- Aangepaste groeninrichting</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                             |

Voor elke categorie van maatregelen vind je op de website een projectfiche terug waarin één maatregel of een combinatie van maatregelen wordt uitgewerkt (zie bijlage A voor de projectfiche over autoluwe gemeente). Voor bepaalde maatregelen vindt je er ook meer informatie terug [25].

### Hoe passen bovenstaande maatregelen binnen het WHO-kader?

Tabel 16 geeft een overzicht van de maatregelen volgens het WHO-kader van Tabel 8.

Tabel 16 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader.

| Type maatregel | Categorie maatregel        | Subcategorie maatregel                                                                                                    | Voorbeeld                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Geluidsbron                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verandering in emissieniveaus</li> <li>- Tijdbeperking op geluidsbron</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Categorie “autoverkeer ontraden en alternatieven stimuleren”</li> <li>- Categorie “gebruik van milieuvriendelijke voertuigen stimuleren”</li> <li>- “de snelheid en rijdynamiek optimaliseren”</li> <li>- Categorie “groene logistiek”</li> </ul> |
| D              | Andere fysieke maatregelen | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Andere veranderingen in woning/buurt</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Categorie “blootstelling” verminderen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                  |

### Eigen reflecties

Merk op dat bovenstaande lijst is opgesteld in opdracht van dienst Lucht. Het aspect geluid is wel meegenomen, maar de focus ligt voornamelijk op verbetering van de luchtkwaliteit.

We willen benadrukken dat de categorie “gebruik van milieuvriendelijke voertuigen stimuleren” voornamelijk betrekking heeft op luchtkwaliteit. Indirect kan dit ook implicaties hebben voor geluid, bv. het invoeren van een lage-emissiezone kan ervoor zorgen dat er minder auto’s in het centrum komen en dat mensen meer met de fiets gaan. Echter het overschakelen naar een elektrische wagen zal voor geluid minder effect hebben aangezien vanaf 40 km/u het rolgeluid doorslaggevend is.

### 6.3.6 Natuurwaardeverkenner<sup>34</sup>

De Natuurwaardeverkenner geeft inzicht in de effecten van groen op de leefomgeving: luchtkwaliteit, waterhuishouding, geluidspereceptie, biodiversiteit en CO<sub>2</sub>-opname.

#### Waarom dit project? (context)

De Natuurwaardeverkenner en de Antwerpse groentool<sup>35</sup>, waarin dezelfde methodologie wordt gebruikt, laat gebruikers toe om voor een gebiedsanalyse te doen om de mogelijke impact van maatregelen van de publieke ruimte inzichtelijk te maken.

#### Wie?

De Natuurwaardeverkenner werd ontwikkeld door VITO en beschreven in [26], voor het geluidsaspect werd beroep gedaan op Timothy Van Renterghem (UGent).

#### Mogelijke maatregelen om blootstelling aan geluidshinder te voorkomen of te beperken

Stedelijk groen biedt de mogelijkheid om maatregelen te treffen om geluidshinder te reduceren.

<sup>34</sup><https://www.natuurwaardeverkenner.be/#/>

<sup>35</sup><https://groentool.antwerpen.be/>

In het rapport [26] worden de effecten van verschillende groenmaatregelen beschreven:

- ▼ Groendak: Een groendak kan nuttig zijn als het dominante geluidspad interageert met groendak, het heeft bijgevolg weinig nut bij open bebouwing maar wel in street canyons. Het geluidsreducerende effect van een groendak hangt sterk af van de dakvorm, bij een zadeldak is meer winst te halen door het plaatsen van een groendak dan bij een plat dak.
- ▼ Wateroppervlakken: Kunstmatige wateroppervlakken (zonder stroming) werken als een perfecte spiegel voor geluidsgolven, hierdoor krijg je stijging van de geluidsniveaus.
- ▼ Bomen: Een enkele bomenrij heeft een licht negatief effect voor het geluidsniveau op plaatsen onder de boomkruin, maar een licht positief effect op plaatsen boven de boomkruin.
- ▼ Struiken en hagen: Struiken hebben vooral een positief effect op het minderen van hogere frequenties door het beperkte gehalte houtige bestanddelen. Significante reductie voor wegverkeer is daarom moeilijk, tenzij de struiklaag zeer dicht is, zoals bv. bij een haag.

Van Renterghem bestudeerde ook perceptie-effecten van groenmaatregelen. Er is een positieve audiovisuele interactie voor groen en vegetatie. Een persoon die blootgesteld is aan hetzelfde geluidsniveau zal zich minder gehinderd voelen wanneer er daadwerkelijk zicht op vegetatie is [27].

### Hoe passen bovenstaande maatregelen binnen het WHO-kader?

Tabel 17 geeft een overzicht van de maatregelen volgens het WHO-kader van Tabel 8.

*Tabel 17 Indeling van maatregelen ter reductie van gezondheidseffecten van geluid volgens WHO-kader*

| Type maatregel | Categorie maatregel         | Subcategorie maatregel                                   | Voorbeelden                                  |
|----------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| B              | Overdracht geluid           | - Verandering in pad bron-ontvanger<br>- Geluidsisolatie | - Groendak<br>- Bomen<br>- Struiken en hagen |
| D              | Andere fysische maatregelen | - Andere veranderingen in woning/buurt                   | - Zicht op groen                             |

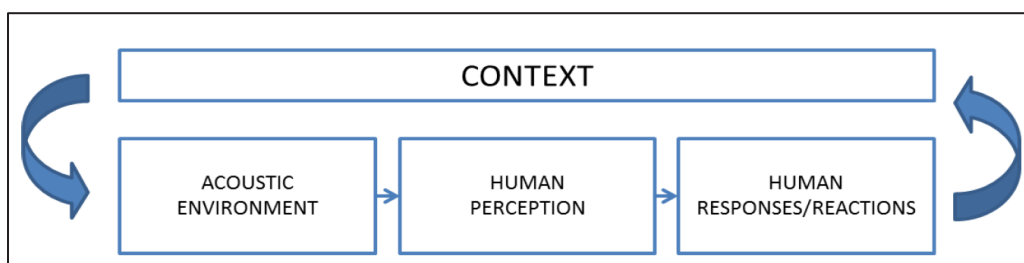
### Eigen reflecties

Zoals eerder reeds aangegeven, is groen niet enkel goed voor geluidsreductie maar ook voor het psychologisch welbevinden. Binnen de categorie “overdracht geluid” ontbreekt de maatregel van het ontvlechten van fiets- en voetpaden. Door een grotere afstand te voorzien met de rijstroken voorzien voor autoverkeer, wordt de blootstelling kleiner.

## HOOFDSTUK 7. SOUNDSCAPE

### 7.1 WAT IS EEN SOUNDSCAPE

Het concept soundscape (of geluidslandschap in het Nederlands) is ontwikkeld naar analogie met de term “landscape”. De term werd al in 1969 gebruikt maar werd in 1977 gedefinieerd [28] en gepopulariseerd door de Canadese componist R.M. Schafer als “een omgeving van geluid waarbij de nadruk ligt op de manier waarop die omgeving wordt ervaren en geïnterpreteerd door een persoon of gemeenschap” [29]. De Internationale Organisatie voor Standaardisatie (ISO 12913-1:2014) definieerde in 2014 soundscape als “de akoestische omgeving zoals gepercipieerd of ondervonden en/of begrepen door een persoon of een groep van personen, in zijn context”<sup>36</sup>. Uit deze definitie blijkt dat soundscapes inherent subjectief en contextafhankelijk zijn. Een soundscape is dus niet hetzelfde als een akoestische omgeving omdat een soundscape refereert naar een perceptie terwijl een akoestische omgeving een fysiek fenomeen is maar beide fenomenen worden wel beïnvloed door de context (Figuur 26)[30].



Figuur 26 Elementen in de “perceptuele opbouw” van een soundscape. Overgenomen van ISO 2014<sup>37</sup>.

Doorheen de jaren werd geluid vaak gezien als lawaai (“noise”). Internationale beleidsmakers zoals de WHO focussen in hun geluidsbeleid dan ook op het reduceren van geluidsniveaus, maar dit leidt niet altijd tot een betere levenskwaliteit [30]. Hierdoor wordt de multidisciplinaire aanpak van een soundscape om een akoestische omgeving te beheren steeds meer relevant, mede omdat een soundscape rekening houdt met de manier waarop mensen de akoestische omgeving waarnemen en beleven [30]. Tabel 18 geeft een overzicht van de verschillen tussen het beheer van omgevingsgeluid en het beheer van een soundscape.

Tabel 18 Overzicht van de verschillen tussen het beheer van omgevingsgeluid en van een soundscape, overgenomen uit [31].

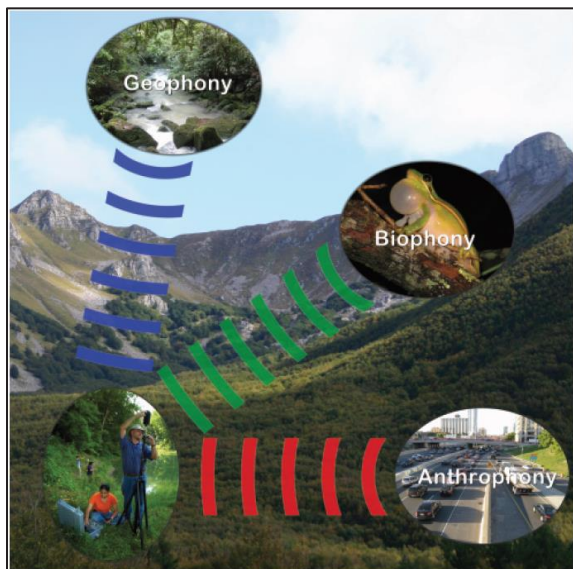
| Beheer van omgevingsgeluid                                       | Beheer van soundscape                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geluid wordt beheerd als <i>verspilling</i>                      | Geluid waargenomen als <i>redmiddel</i>                                                                                                                 |
| Focus op geluiden van <i>ongemak of onbehaaglijkheid</i>         | Focus op <i>voorkeursgeluiden</i>                                                                                                                       |
| De humane respons is gerelateerd aan het geluidsniveau           | De humane respons is vaak niet gerelateerd aan het geluidsniveau                                                                                        |
| Wordt gemeten door het <i>integreren</i> van alle geluidsbronnen | Vereist het maken van <i>onderscheid</i> tussen geluidsbronnen                                                                                          |
| Wordt beheerd door het <i>reduceren</i> van geluidsniveaus       | Wordt beheerd door het <i>maskeren</i> en/of door het <i>reduceren</i> van ongewenste geluiden en/of door het <i>introduceren</i> van gewenste geluiden |

<sup>36</sup><https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12913:-1:ed-1:v1:en>

De akoestische omgeving bestaat uit natuurgeluiden, diergeluiden en geluiden gemaakt door de mens. De verstoring van de akoestische omgeving leidt tot geluidsvervuiling (“noise pollution”). Soundscape neemt een top-downmethode aan waarbij er wordt nagegaan hoe de volledige omgeving kan aangepast worden om geluidsvervuiling te reduceren [32]. Anderzijds kan met behulp van soundscaping nagegaan worden welke omgeving het best past bij een individu, gebaseerd op de persoonlijke voorkeur en de gemoedstoestand [32]. Dit komt later nog aan bod (Optimalisatie van een soundscape).

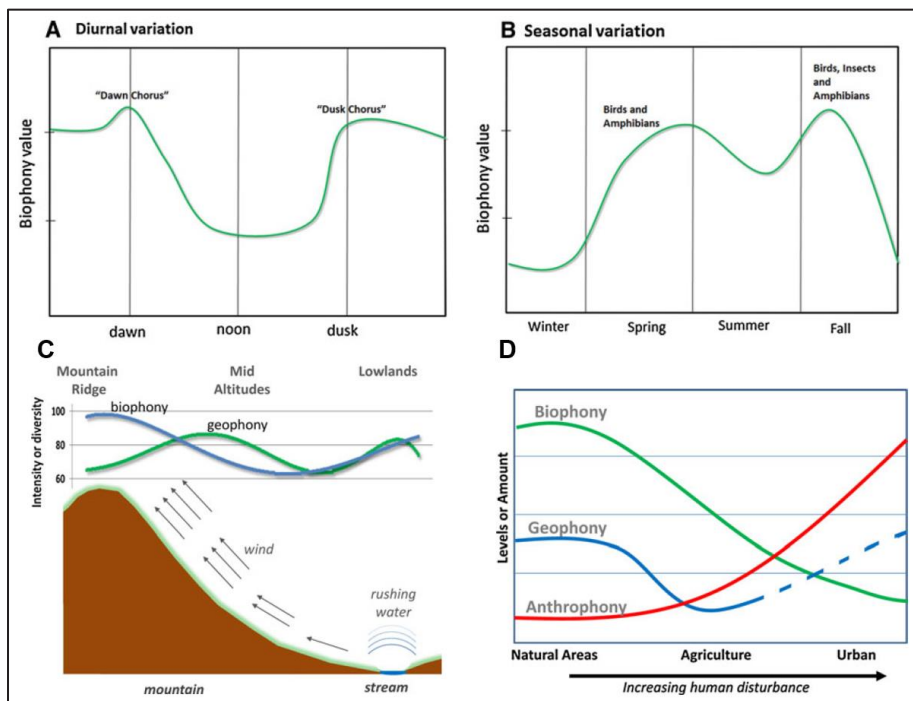
## 7.2 GELUIDSRONNEN VAN EEN SOUNDSCAPE

Een soundscape is een verzameling van geluiden die variëren in tijd en ruimte en afkomstig kunnen zijn van drie geluidsbronnen; geofonie, biofonie en antropofonie (Figuur 27). Geofonie omvat geluiden afkomstig van de fysieke omgeving van de aarde: wind, water, onweer, beweging van de ruimte, het weer etc. Biofonie is de verzameling van geluiden geproduceerd door alle organismen op een bepaalde locatie in een bepaald tijdsbestek. Antropofonie is het resultaat van geluiden gemaakt door mens zoals; muziek, stemgeluid, geluid van de industrie, transport, etc. [33].



Figuur 27 geluidsbronnen in een soundscape. Figuur overgenomen van [34].

De drie geluidsbronnen zijn niet altijd gelijkwaardig aangezien de soundscape een dynamisch gegeven is als gevolg van variaties in het dag/nacht ritme, de seizoenen, de hoogte op aarde of de omgeving (Figuur 28). Hierdoor kan afwisselend de ene geluidsbron meer op de voorgrond treden dan de andere bronnen maar kan er ook afwisseling optreden tussen de verschillende bronnen.



Figuur 28 Variatie in soundscapes als gevolg van (A) dag/nachtritme, (B) seizoenen, (C) hoogte of (D) omgeving. Figuur overgenomen van [33] en aangepast.

### 7.3 PERCEPTIE VAN EEN SOUNDSCAPE - KWADRANTENMODEL

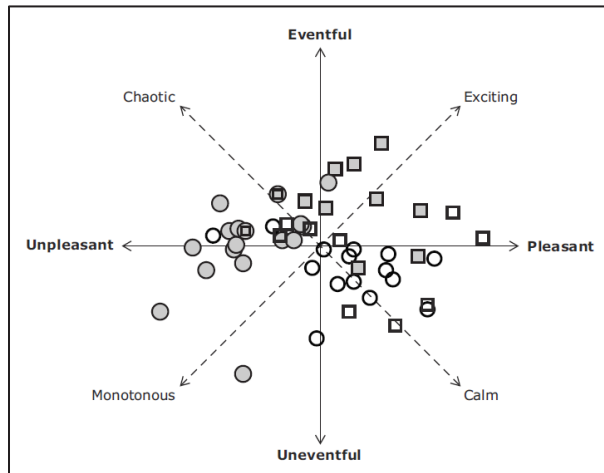
Om de perceptie van een soundscape te bestuderen, heeft Axelsson et al. (2010) een kwadrantenmodel ontwikkeld om de eigenschappen van een soundscape te meten volgens twee primaire orthogonale dimensies: *eventfulness* en *pleasantness* (Figuur 29) [35]. *Eventful* duidt op een soundscape die levendig en dynamisch is met veel prikkels en *pleasant* staat voor een soundscape die aangenaam en comfortabel aanvoelt<sup>37</sup>.

Beide primaire assen of dimensies kunnen ook gecombineerd worden waardoor de sub dimensies *exciting* en *calm* ontstaan. *Exciting* staat voor "een expressieve en opwindende soundscape die de nieuwsgierigheid prikkelt" en *calm* is een soundscape met een kalm of stil karakter<sup>38</sup>. De combinatie van de primaire dimensies leidt tot verschillende sub dimensies die op hun niveau ook weer orthogonaal op elkaar staan. Bijgevolg hebben een *exciting* soundscape en *calming* soundscape eenzelfde niveau van *pleasantness* gemeen maar verschillen op het niveau van *eventfulness*.

Het kwadrantenmodel toont aan dat technologische geluiden zoals verkeersgeluiden, worden waargenomen als onaangenaam (*unpleasant*, gevulde cirkels in Figuur 29). De resultaten voor natuurlijke geluiden zijn minder éénduidig. De meeste natuurlijke geluiden domineren in de aangename (*pleasant*) dimensie maar sommige natuurlijke geluiden bevinden zich in de onaangename (*unpleasant*) dimensie (open vierkantjes in Figuur 29). Menselijke geluiden worden meestal waargenomen als levendig (*pleasant*, gevulde vierkantjes in Figuur 29).

<sup>37</sup><https://www.acusticare.be/soundscapes-en-hun-benutting>

De promotie van menselijke geluiden, zoals speeltuinen of terrasjes, leidt tot een toename in de levendigheid van een aangename soundscape wat dan weer resulteert in het ontstaan van een opwindende soundscape. Omgekeerd, een vermindering in menselijke geluiden leidt tot het ontstaan van een kalme soundscape.



*Figuur 29 Kwadrantenmodel voor perceptie van een soundscape volgens twee primaire orthogonale dimensies: levendig (eventfulness) en aangenaam (pleasantness). Symbolen stellen de dominante geluidscategorieën voor: technologische geluiden (gevulde cirkels), natuurlijke geluiden (open vierkantjes), menselijke geluiden (gevulde vierkantjes) en niet-dominante geluiden (open cirkels). Figuur overgenomen van [35].*

Samengevat, de geluidswaarneming is niet 2D maar multidimensionaal waarbij er meerdere criteria naast *pleasantness* bestaan en die zelf ook een invloed hebben op onze geluidswaarneming. Bovendien worden geluiden vooral beoordeeld op basis van het gevoel of beleving en niet op basis van abstracte of waarneembare eigenschappen.

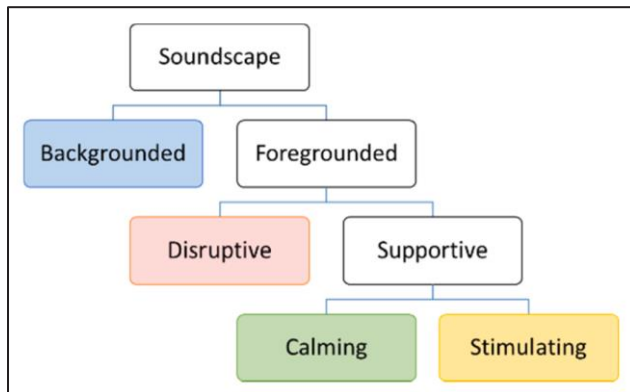
## 7.4 HIËRARCHISCHE CLASSIFICATIE VAN STEDELIJKE SOUNDSCAPES

Stedelijke omgevingen bestaan uit meerdere open ruimtes en elke ruimte heeft zijn eigen karakteristieke soundscape waarbij de soundscape bijdraagt aan de perceptie van deze stedelijke omgeving door het uitlokken van gedachten, emoties of gedrag bij mensen die aanwezig zijn in een soundscape. Traditioneel wordt geluid in deze publieke ruimtes gezien als negatief en ongewenst (bv. overlast van verkeersgeluid) en wordt er getracht om geluid zoveel mogelijk te reduceren. Geluid in publieke ruimtes kan echter ook gunstig gepercipieerd worden omdat geluid kan leiden tot een positief effect op de gemoedstoestand of tot het uitlokken van een goede herinnering of ervaring (bv. het geluid van een fontein).

Daarom is er is nood aan een duidelijke beschrijving en classificatie van de impact van een soundscape op de publieke open ruimte. Het kwadrantenmodel, zoals hierboven beschreven, is niet ideaal omdat emotionele concepten mogelijks overlappen en bijgevolg in hetzelfde kwadrant van het model terecht komen. Om deze overlapping te vermijden en onderscheid te kunnen maken tussen soundscapes, is een hiërarchische classificatie voor stedelijke soundscapes ontwikkeld (Figuur 30) [36].

In de eerste stap worden soundscapes ingedeeld in voorgrond- of achtergrondsoundscapes, op basis van de invloed op de omgeving, variërend van geen invloed (achtergrond) tot een sterke invloed (voorgrond) waarbij het geluid leidt tot het gewaar worden van de akoestische omgeving.

In de tweede stap wordt een onderscheid gemaakt of geluidsomgevingen verstorend of ondersteunend worden waargenomen. Versturende geluidsomgevingen kunnen leiden tot ergernissen. Ondersteunende geluidsomgevingen daarentegen kunnen op verschillende manieren bijdragen tot de algemene omgevingsbeleving. In de derde stap worden ondersteunende soundscapes nog onderverdeeld in kalmerend (reduceren van opwinding) of stimulerend (verhogen van opwinding) [36]. Echter zoals het VMM-rapport beschrijft: “de perceptie van een soundscape hangt niet enkel af van de geluiden zelf, maar ook van de bredere context, het gebruik van de ruimte en de verwachtingen van de gebruikers van die ruimte”<sup>38</sup>.



*Figuur 30 Overzicht van het voorstel voor de hiërarchische classificatie van stedelijke soundscapes. Overgenomen van [36].*

Er wordt verondersteld dat dit classificatiesysteem sterk gerelateerd is aan de geluidsomgeving en minder gevoelig is aan subjectieve verschillen ten gevolge van humane perceptie. Daarom lijkt dit systeem meer geschikt dan voorgaande systemen voor het classificeren van soundscapes, mede omdat het systeem ook de algemene appreciatie van een omgeving includeert [36].

## 7.5 INVLOED VAN AUDIOVISUELE INTERACTIE OP DE BELEVING VAN EEN SOUNDSCAPE

Het persoonlijke audiovisuele systeem heeft een belangrijke invloed op de beleving of waarneming van een soundscape. Het feit of proefpersonen al dan niet zicht hebben op vegetatie door een raam heeft wel degelijk een invloed op zelf gerapporteerde ergernissen voor geluid afkomstig van snelwegverkeer [37]. Ten tweede werd aangetoond dat de waardering van het wandelen over een brug beïnvloed wordt door het al dan niet aanwezig zijn van een visueel (opdringerige) geluidsbarrière langs de brug [37]. Het mag duidelijk zijn dat op een individueel niveau het visuele systeem een belangrijke invloed heeft op het auditieve systeem en omgekeerd. Deze persoonlijke audiovisuele interactiefactor kan verschillen in perceptie van de omgeving tussen personen verklaren en onderzoekers houden dit best in hun achterhoofd wanneer ze een soundscape onderzoeken of ontwerpen [37].

<sup>38</sup> [https://www.milieurapport.be/milieuthemas/geluids-geur-lichthinder/themabeschrijving-omgevingsgeluid-2018\\_twr.pdf](https://www.milieurapport.be/milieuthemas/geluids-geur-lichthinder/themabeschrijving-omgevingsgeluid-2018_twr.pdf)

## 7.6 EFFECT VAN EEN SOUNDSCAPE OP DE PUBLIEKE GEZONDHEID EN LEVENSKWALITEIT

In recente literatuur werden de negatieve effecten van geluid en geluidsvervuiling (“noise pollution”) op de publieke gezondheid al uitgebreid beschreven<sup>39</sup>. Op basis hiervan wordt verondersteld dat toegang tot of blootstelling aan akoestische omgevingen met een hoge kwaliteit een positief effect kan hebben op de publieke gezondheid en levenskwaliteit, mogelijks dankzij een versterkend of herstellend effect dat de gezondheid en het welzijn promoot [30]. Kang et al. (2016) maakt een onderscheid tussen twee types van een versterkend effect [30]:

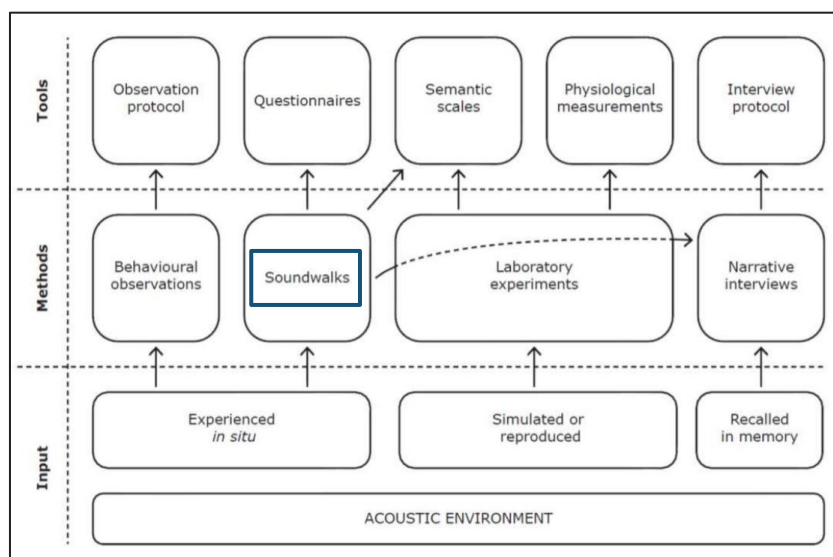
- ▼ Type 1 herstel duidt op een akoestische omgeving met hoge kwaliteit die leidt tot een direct herstel. Epidemiologisch bewijs omtrent associaties tussen gebieden met hoge akoestische kwaliteit, zoals groene gebieden, wildernis of water, en de gezondheid, is helaas gelimiteerd.
- ▼ Type 2 herstel omvat de beschikbaarheid tot een stille ruimte of toegang tot groene ruimte in de nabije omgeving. Toegang tot een stille ruimte dichtbij huis of thuis leidt tot minder ergernissen en hinder en tot een lagere bloeddruk en een verbeterde slaapkwaliteit. De nood voor een stille ruimte is groter voor mensen die in luidruchtige omstandigheden leven of voor diegenen die overgevoelig zijn voor geluid [30]. Studies tonen aan dat blootstelling aan natuurlijke geluiden in het park, het bos of de stad, of op de werkplek, positieve effecten heeft op de gemoedstoestand, waargenomen levenskwaliteit en het algemeen welzijn [30].

Tenslotte blijkt dat positieve soundscapes geassocieerd zijn met een sneller lichamelijk herstel van stress, d.w.z. minder sympathische en parasympatische activatie uitgelokt door omgevingsfactoren, en met een betere zelf gerapporteerde gezondheid [38]. Een soundscape heeft wel degelijk een effect op de algemene gezondheid waarbij een positieve soundscape de negatieve effecten van geluidsvervuiling kan tegengaan.

## 7.7 EVALUATIE VAN EEN SOUNDSCAPE

Een spectrogram is een algemeen gebruikt visueel akoestisch middel om geluid te meten maar een soundscape bestaat echter uit multiple facetten en kan daarom niet eenvoudig gemeten worden. Bijgevolg is een spectrogram niet voldoende om een soundscape te karakteriseren. ISO 2014 heeft beslist dat er, bij het meten, beoordelen of evalueren van een soundscape, ook rekening moet gehouden worden met de humane perceptie van de soundscape. Om een soundscape en zijn perceptie te kunnen meten, worden psycho-akoestische parameters gebruikt. Deze parameters verbinden fysieke stimuli met de “gehoorsensatie” van geluid. Voorbeelden van psycho-akoestische parameters zijn luidheid, scherpte en ruwheid van het geluid en schommelingen in het geluid. Deze parameters laten de gebruiker toe om een akoestische omgeving in detail te meten waarbij zowel de fysieke omgeving (het geluid) als de waarneming hiervan wordt beschreven [30].

Zoals al vermeld werd, is het belangrijk dat de perceptie van de soundscape ook gemeten wordt. Typische methoden om geluidspceptie te beoordelen zijn: geluidswandelingen (soundwalks), labo-experimenten, gedragsobservaties en gesprekken of interviews [39]. Vaak worden er meerdere methoden tegelijkertijd gebruikt of worden sommige methoden vaker gebruikt, afhankelijk van de wijze waarop de perceptie geanalyseerd wordt [30]. Figuur 31 geeft een overzicht omtrent de methoden en hulpmiddelen om de perceptie van een soundscape te meten.



Figuur 31 Overzicht van de methoden en hulpmiddelen gebruikt voor soundscape-perceptieanalyse. Overgenomen van [39].

### 7.7.1 Geluidswandeling

De geluidswandeling (soundwalk) is de meest toegepaste methode om een soundscapeperceptie te evalueren. Bij een geluidswandeling gaan deelnemers te voet in stilte op weg waarbij ze kritisch luisteren naar de akoestische omgeving en vervolgens het geluid beoordelen (goed of slecht) op basis van een vragenlijst, evaluatieformulier of interview (Figuur 32). Men moet er wel rekening mee houden dat een soundscape persoons- en plaats afhankelijk is. Een voorbeeld hiervan is dat het geluid van spelende kinderen als aangenaam wordt waargenomen in een park maar daarom niet noodzakelijkerwijze ook als goed wordt waargenomen in een woonwijk, of dat het geluid van spelende kinderen als ontspannend wordt waargenomen door een gezin maar daarom niet noodzakelijkerwijze door een (kleuter)juf of onthaalmoeder die al de hele dag spelende kinderen heeft gehoord en op dat moment toe is aan rust.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Overall, how would you describe the present surrounding sound environment?</b></p> <p>Very good    Good    Neither good    Bad    Very bad<br/>                                         nor bad</p> <p><input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/></p> | <p><b>How loud is it here?</b><br/>Mark your impression at any location on the scale below.</p> <p> <input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/>    <input type="checkbox"/><br/> not at all    slightly    moderately    very    extremely </p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figuur 32 Voorbeeldvragen gebruikt in een soundwalk vragenlijst. Overgenomen van<sup>40</sup>.

In het verleden heeft men geprobeerd om dezelfde vragenlijst te maken voor heel Europa. Maar een “one size fits all” aanpak is niet mogelijk omdat de selectie van de woorden voor de vragenlijst zeer delicaat is, bijgevolg kan de betekenis en het gewicht van bepaalde woorden in de ene taal niet adequaat vertaald worden in de volgende taal<sup>39</sup>. Een vragenlijst voor een soundwalk wordt dus best met de grootste zorg opgesteld.

<sup>40</sup>[https://euracoustics.org/news/ea-newsletter/2018/October/SOUNDSOFMYPLACE.pdf/at\\_download/file](https://euracoustics.org/news/ea-newsletter/2018/October/SOUNDSOFMYPLACE.pdf/at_download/file)

De resultaten van een geluidswandeling zijn belangrijk voor stedenplanners en architecten om de stedelijke akoestische omgeving te begrijpen wanneer zij beslissingen maken om steden te ontwerpen [30] [39]. Hierbij zouden voorspellende modellen voor de perceptie van de akoestische omgeving van pas kunnen komen maar deze modellen moeten echter nog ontwikkeld worden<sup>39</sup>.

### 7.7.2 Citizen-science binnen soundscaping

Om een soundscape te meten, maken onderzoekers de laatste jaren steeds meer gebruik van citizen-science waarbij de gewone burger vrijwillig meewerkt aan het analyseren van soundscapes in zijn eigen buurt. Hierbij kunnen grote datasets op een relatief gemakkelijke manier verkregen worden. Voorbeelden van dergelijke citizen-science projecten zijn:

- 1) Parijs: opstellen van stedelijke indicatoren voor geluidskwaliteit, gebaseerd op perceptuele en akoestische data<sup>41</sup>:
  - ▼ Cart\_ASUR-project (2012-2016): waarbij zowel akoestische als perceptuele data werden verzameld door 60 deelnemers op 30 locaties met behulp van hun smartphone, met als resultaat 3409 individuele relevante data.
  - ▼ GRAFIC-project (2013-2017): verzameling van perceptuele data met behulp van een vragenlijst en akoestische data met behulp van een mobiele sensor, met als resultaat 556 individuele data.
- 2) WAVES – UGent<sup>42</sup>: onderzoek van een soundscape in het Zuidpark omtrent hoe toegevoegde natuurlijke geluiden de beleving van het Zuidpark beïnvloeden. De installatie in het Zuidpark is elke dag bruikbaar tussen 9 en 21 uur. Een volledige sessie duurt 5 à 10 minuten. Elke bezoeker van het park kan zelfstandig via een smartphone-app deelnemen.
- 3) HUSH City – TU Berlin<sup>43</sup>: project om stiltegebieden in kaart te brengen en te evalueren in je eigen buurt met behulp van een smartphone-app.
- 4) Citizen Science – Center for Global Soundscapes<sup>44</sup>: de ontwikkeling van een globale kaart met soundscapes om te onderzoeken hoe mensen in verbinding staan met soundscapes. Met behulp van een app kunnen burgers een soundscape opnemen en uploaden in een globaal archief. Het doel is om de grote diversiteit aan geluiden die op de aarde voorkomen, te kunnen documenteren. Eveneens laat dit archief ook toe om na te gaan hoe deze geluiden over tijd veranderen.

## 7.8 OPTIMALISATIE VAN EEN SOUNDSCAPE

Soundscapes kunnen aangepast worden door bepaalde ingrepen, zoals de reductie of het maskeren van ongewenste geluiden en de introductie van gewenste geluiden, zoals vermeld in Tabel 18, waardoor de soundscape meer “pleasant” wordt om in te vertoeven en mensen hun favoriete omgeving kunnen ontdekken. Het is hierbij van groot belang dat eerst de huidige situatie goed in kaart wordt gebracht en er vervolgens gekeken wordt naar de wensen en behoeftes van de betrokken partijen, om tot een optimale en gezonde soundscape te komen.

<sup>41</sup>[https://urban-sound-symposium.org/slides/107\\_Catherine\\_Lavandier.pdf](https://urban-sound-symposium.org/slides/107_Catherine_Lavandier.pdf)

<sup>42</sup>[https://www.ugent.be/nl/actueel/neem\\_deel\\_aan\\_een\\_soundscape\\_experiment\\_in\\_het\\_zuidpark.htm](https://www.ugent.be/nl/actueel/neem_deel_aan_een_soundscape_experiment_in_het_zuidpark.htm)

<sup>43</sup><https://scistarter.org/hush-city>

<sup>44</sup><https://centerforglobalsoundscapes.org/citizen-science/>

Het menselijk oor reageert op contrasten en dit feit kan gebruikt worden om ervaringen of effecten met betrekking tot een soundscape te bereiken of aan te passen. Bijvoorbeeld; een park lijkt veel rustiger en kalmer wanneer dit park omgeven is door een drukke stedelijke omgeving. Dankzij de bestaande variatie in soundscapes kunnen ze elkaar versterken wanneer contrasterende soundscapes worden samengebracht en kunnen mensen onderzoeken in welke soundscape ze het liefst vertoeven [32].

### 7.8.1 Reductie van ongewenste geluiden

Een eerste actie om een soundscape aangenaam om te vertoeven te maken, is het reduceren van de geluidsblootstelling aangezien dit geassocieerd is met negatieve gezondheidseffecten. We vermelden hieronder een aantal maatregelen uit [32] en kaderen binnen welke WHO-maatregelencategorie (Tabel 8) ze passen:

- ▼ Vegetatie om effectief de overdracht van geluid te beperken maar tegelijkertijd verbetert vegetatie ook de visuele aanblik van een soundscape (audiovisuele invloed) (WHO-type B);
- ▼ Geluidsschermen (WHO-type B);
- ▼ Gebouwen als een scherm want gebouwen zijn groter en hoger dan een geluidsscherm (WHO-type B);
- ▼ Verandering in topografie zoals het gebruik van bermen langs een weg of het verlagen van het wegooppervlak (WHO-type D);
- ▼ Vermindering van bronactiviteit zoals het beperken van wegverkeervolumes, een daling in maximale toegelaten snelheid, stiller wegdek zoals fluisterasfalt, ... (WHO-type A);
- ▼ Wegnemen van de activiteiten die het ongewenste geluid produceren (WHO-type C);
- ▼ Gebruik van materialen met een betere geluidsabsorptiekwaliteit (WHO-type B).

### 7.8.2 Introductie van gewenste geluiden

Om ongewenste geluiden te overstemmen of maskeren, kunnen ook anderzijds gewenste geluiden geïntroduceerd worden, al dan niet in combinatie met methodes om ongewenste geluiden te reduceren zoals hierboven beschreven [32]:

- ▼ Geluidmaskering: het ene geluid wordt geïntroduceerd met het doel om de impact van een ander geluid te reduceren of de focus te verleggen. Hiervoor wordt meestal water, vegetatie of luidspreker geluiden gebruikt:
  - ▲ Materialen waarbij water gebruikt wordt; fontein, beekjes, rivier, watervallen, watergordijnen, etc. Water kan zowel gebruikt worden voor het maskeren van geluid als voor het opwekken van een positieve visuele ervaring.
  - ▲ Materialen waarbij vegetatie gebruikt wordt; als de wind door de vegetatie waait, wordt er een rustig geluid gecreëerd maar dit effect is afhankelijk van de aanwezigheid van wind.
  - ▲ Materialen die geluid maken wanneer erover gewandeld wordt zoals gravel paadjes of een brug van hout. Voor de persoon die wandelt is dit geluid interactief en kan gezien worden als een interactie tussen de bezoeker en het landschap.
  - ▲ Luidsprekers die natuurgeluiden aan de achtergrond toevoegen, of bv. aangename voetgangerssignalen bij groen licht aan zebrapad.
- ▼ Visuele maskering: het visueel verbergen van ongewenste geluiden. Zoals eerder vermeld, speelt het audiovisuele systeem een grote rol bij de perceptie van geluid.

- ▼ Geluidssculptuur en “urban furniture”. Bij een geluidssculptuur wordt het toegevoegde geluid geïntegreerd in een fysieke sculptuur om zo een gecombineerde ervaring te creëren. Voorbeelden hiervan zijn: een plek om je smartphone in te pluggen, toestellen die verhalen vertellen, (interactieve) muziekinstrumenten, etc. Met “urban furniture” wordt aangepast meubilair bedoeld, zoals zitbankjes met muziek of stoelen (bv. Een “ball chair”) die in bomen worden gehangen, al dan niet met een geluidsspreker waarbij bezoekers hun eigen muziek kunnen op afspelen. Op deze manier wordt een persoonlijke soundscape gecreëerd die afgeschermd is van de stedelijke omgeving. Het nadeel hiervan is dat andere bezoekers een andere persoonlijke soundscape verkiezen; ze hebben bijvoorbeeld een andere muzieksmaak of horen op dat moment liever geen muziek, waardoor de ene bezoeker als het ware wordt lastiggevallen door de soundscape van de andere.
- ▼ Biotoop design: door de aanleg van geschikte biotopen worden vogels en dieren aangetrokken die ‘natuurgeluiden’ maken en dit wordt als aangenaam ervaren door bezoekers. Maar ook visueel wordt dergelijke biotoop als aangenaam ervaren.
- ▼ Het aanleggen van gebieden die humane activiteiten aantrekken, zoals een speeltuin, kiosk of een terras, en deze activiteiten hebben een positieve invloed op de perceptie van een soundscape voor een groot deel van de bevolking maar helaas niet automatisch voor iedereen.
- ▼ Resonantie en reflectie: strategieën waarbij gewenste geluiden versterkt worden. Bijvoorbeeld; een resonerende holte onder een houten terras waardoor het stapgeluid versterkt wordt of een wand achter een waterfontein waardoor het geluid van het vallende water in de richting van de luisteraar wordt gereflecteerd.

Ongewenste geluiden kunnen op verschillende manieren gereduceerd of gemaskeerd worden. Zo toonde de studie van De Coensel et al. (2011) aan dat de luidheid van wegverkeergeluid gereduceerd kan worden met behulp van een fontein. Het toevoegen van bv. vogelgeluid resulteert in een significante toename in de perceptie van aangenaamheid en levendigheid (*pleasantness* en *eventfulness*) van deze soundscape gedomineerd door wegverkeer. De conclusie van deze studie is dat wanneer men een verbetering in de kwaliteit van een soundscape wil bereiken, maatregelen op meerdere niveaus moeten inspelen en niet enkel mogen focussen op een reductie in de luidheid van ongewenste geluiden, aangezien de kwaliteit van een soundscape wordt beïnvloed door alle geluiden die men in de soundscape hoort [40].

## 7.9 URBAN LANDSCAPES: PLANNING EN DESIGN

Het beheer en planning van soundscapes bij het ontwerpen van een ruimte is essentieel. Zo incorporeren ontwerpers vandaag de dag al visuele aspecten en verlichting in het design van een ruimte, maar de soundscape wordt vaak nog vergeten of genegeerd. Zelfs wanneer verwacht wordt dat geluid geen grote invloed zal hebben, moet de geluidservaring van de mensen die de plek gaan gebruiken, zo aangenaam mogelijk zijn, aangezien deze geluidservaring in grote mate bijdraagt aan de algemene appreciatie en kwaliteit van de ruimte. Daarom houdt de ontwerper best rekening met welke geluidsbronnen goed overeenkomen met de verwachtingen van de gebruiker maar ook welke geluiden van belang zijn en dus hoorbaar moeten zijn. Het is belangrijk dat de ontwerper de menselijke luisteraar/waarnemer centraal zet in zijn ontwerp en dat de ontwerper geluidsperspectie wel degelijk beschouwt als een meting die van belang is. Op basis hiervan kan het ontwerp van het akoestisch karakter van de ruimte gepland en geoptimaliseerd worden [32].

Het definiëren van het akoestisch karakter van een plek vereist het in kaart brengen van zowel de fysieke als perceptuele kenmerken. De planning van een soundscape impliceert het plannen van de fysieke kenmerken van de omgeving om zo een specifieke akoestische uitkomst te bereiken en om de gewenste perceptuele uitkomst te ondersteunen. Hierbij worden dominante geluiden (gewenst of ongewenst) en temporele en geografische variaties geïntegreerd in het plan. Uiteindelijk kunnen verschillende maatregelen getroffen worden om de soundscape optimaal te beheren zoals; maatregelen om geluid te controleren, ongewenste geluiden te reduceren, elimineren of maskeren en/of door het introduceren van voorkeursgeluiden. De geïntroduceerde geluiden worden wel verwacht te correleren met de ontworpen plek en met de menselijke activiteiten, zodat er een algemene samenhang ontstaat [32]. Figuur 33 geeft een overzicht van de stappen voor het akoestisch ontwerp voor een buitenruimte en toont een voorbeeld van een urban landscape design waarbij een waterval en groene wand het buitengeluid reduceren.



Figuur 33 Overzicht van stappen voor akoestisch ontwerp van een buitenruimte, overgenomen van [31], en een voorbeeld van een urban landscape design waarbij een waterval en groene wand het buitengeluid reduceren.

### 7.9.1 Voorbeelden van soundscape toepassingen

In België en Nederland staat soundscaping nog in zijn kinderschoenen. Maar in het buitenland wordt soundscaping al wel toegepast. In het artikel van Kang et al. (2016) worden volgende voorbeelden van soundscape toepassingen beschreven [32]:

- 1) Nauener Plats, Berlijn, Duitsland – *Remodelling for young and old*
  - ▼ Er werd een wand van stenen rond een park geplaatst om bezoekers af te schermen van het wegverkeersgeluid. Verder werden er nog “audio-eilanden” geplaatst, waarbij mensen naar muziek kunnen luisteren. Als gevolg van de interventie wordt de humane blootstelling aan laagfrequent wegverkeersgeluid verminderd en kunnen mensen luisteren naar geluiden die ze graag horen, zodat ze kunnen ontsnappen uit het drukke geluid van de stad.
- 2) Brighton & Hove, UK – West Street Story, West Street Tunnel en Vally Gardens
  - ▼ Bij het West Street Story project werd een audio-installatie in een uitgaansbuurt geplaatst. Het resultaat was een beter gedrag van voorbijgangers en er was minder nood aan aanwezigheid van de politie in het gebied.

- ▼ Bij het West Street Tunnel project werden geluiden in een voetgangerstunnel afgespeeld waardoor er minder kattenkwaad werd uitgehaald in de tunnel en het veiligheidsgevoel voor passanten toenam.
  - ▼ Bij het Valley Gardens project werden soundscape analyses uitgevoerd om een beter beheer van de akoestische omgeving te verkrijgen. Dankzij deze interventie voelden bewoners zich veiliger, hadden ze minder last van geluidsvervuiling en ontstond er een betere sociale cohesie.
- 3) Sheffield, UK – waterfonteinen en een geluidsmuur
- ▼ De incorporatie van fonteinen en een stalen geluidsmuur in het stedelijk design verbeterde de perceptie van de akoestische omgeving. De geluidsmuur dempt het geluid van de auto's en het vallende water heeft een rustgevend effect.
- 4) Malmö, Zweden – arbor with an improved soundscape
- Geluidsbarrières en luidsprekers, die bosgeluiden afspelen, werden geïnstalleerd rond een plein in de stad. De studie concludeert dat de meest stille akoestische omgeving toch niet altijd wordt waargenomen als de beste omgeving en dat zorgvuldig uitgekozen geluiden nuttig kunnen zijn om toe te voegen aan het ontwerp van een soundscape.
- 5) National Park Service, USA – *soundscape policy*
- ▼ Deze vereniging van parken heeft een uitgebreid soundscapebeleid ontwikkeld voor de bescherming en het beheer van de akoestische omgeving van hun parken. Dit beleid erkent het belang van het behoud van de akoestische omgeving voor zowel het verbeteren van de ervaringen van bezoekers als voor het beschermen van communicatie tussen dieren. Het beleid omvat een variëteit aan strategieën om de soundscape te behouden; zoals het meten van akoestische referentieomstandigheden en het beperken van geluiden gemaakt door de mens.

### 7.9.2 Stilteplekken

Naast het plannen en het beheer van een soundscape, kan er ook geopteerd worden om stilteplekken of -gebieden in te richten, dit werd besproken in sectie 6.3.2.

## REFERENTIES

1. WHO European Centre for Environment and Health *Environmental Noise Guidelines for the European Region*; 2018;
2. European Union *Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise (END)*; 2002;
3. EEA(European Environment Agency); Braubach, M.; Jacobs, D.E.; Ormandy, D.; REC; Umweltbundesamt; Joseph, W.S.; Kephelopoulou, S.; Paviotti, M.; Anfosso-Lédée, F.; et al. *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*; 2014; Vol. 122; ISBN 9789279252815.
4. B. Beccrglund, T. Lindvall, D.S. *Guidelines for community noise WHO*; 1999;
5. WHO European Centre for Environment and Health *Night noise guidelines for Europe*; 2009;
6. Omgeving, V.D. *Expertenopdracht Stratenclusters*; 2018;
7. Dijkema, M.; Koeman, T.; Odink, J.; van der Zee, S.; Zuurbier, M.; Aerts, F.; van Buggenum, S.; Elders-Meijerink, M.; Fischer, P.; van den Hout, K.; et al. *GGD-richtlijn medische milieukunde: luchtkwaliteit en gezondheid*; 2018;
8. Milieumaatschappij, V. *Actualisatie geluidshinderindicatoren 2018*; 2018;
9. Lauwaet, D.; Poelmans, L.; Schillemans, L. *Actualisatie kaartmateriaal en GIS-analyse luchtverontreiniging, omgevingslawaai en hittestress in functie van het ruimtelijk beleid*; 2019;
10. Babisch, W.; Dutilleul, G.; M. Paviotti, J.; Backman, A.; Gergely, B.; McManus, B.; Coelho, B.; Hinton, J.; Kephelopoulou, S. *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*; 2010; Vol. 11; ISBN 9789292131401.
11. van Kamp, I. *Study on methodology to perform environmental noise and health assessment*; 2018;
12. van Kempen, E.; Casas, M.; Pershagen, G.; Foraster, M. WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: A summary. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 1–59.
13. Janssen, S.A.; Vos, H.; Eisses, A.R.; Pedersen, E. A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J. Acoust. Soc. Am.* **2011**, *130*, 3746–3753.
14. Kuwano, S.; Yano, T.; Kageyama, T.; Sueoka, S.; Tachibanae, H. Social survey on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Eng J.* **2014**, *62*, 6.
15. Clark, C.; Head, J.; Stansfeld, S.A. Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: A six-year follow-up of the UK RANCH cohort. *J. Environ. Psychol.* **2013**, *35*, 1–9.
16. Bolin, K.; Bluhm, G.; Eriksson, G.; Nilsson, M.E. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: Exposure and health effects. *Environ. Res. Lett.* **2011**, *6*.
17. van Kamp, I.; van den Berg, F. Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. *Acoust. Aust.* **2018**, *46*, 31–57.
18. Schäffer, B.; Schlittmeier, S.J.; Pieren, R.; Heutschi, K.; Brink, M.; Graf, R.; Hellbrück, J. Short-term annoyance reactions to stationary and time-varying wind turbine and road traffic noise: a laboratory study. *J. Acoust. Soc. Am.* **2016**, *139*, 2949–2963.
19. Antwerpen, S. Stad Antwerpen. Beoordelingskader voor scholen en kinderdagverblijven houdt rekening met luchtkwaliteit en geluids hinder. Available online: <https://www.antwerpenmorgen.be/projecten/beoordelingskader-milieukwaliteit/over>.
20. Vlaams Instituut Gezond Leven, ; Stad, A. Beoordelingskader luchtkwaliteit en geluidshinder bij planning van scholen en kinderdag verblijven. Available online: [https://www.gezondleven.be/files/20180917\\_Toelichting\\_bok\\_studiedagGPR.pdf](https://www.gezondleven.be/files/20180917_Toelichting_bok_studiedagGPR.pdf).
21. Antwerpen, S. Toelichtingsnota: 5.5.2 Algemene ruimtelijke kwaliteit en milieukwaliteit. 2016. Available online: [https://www.antwerpen.be/docs/Stad/Stadsvernieuwing/Bestemmingsplannen/RUP\\_11002\\_214\\_1001\\_7\\_00001/RUP\\_11002\\_214\\_10017\\_00001\\_0061Algemeneruimteli\\_tn.html](https://www.antwerpen.be/docs/Stad/Stadsvernieuwing/Bestemmingsplannen/RUP_11002_214_1001_7_00001/RUP_11002_214_10017_00001_0061Algemeneruimteli_tn.html).
22. Maatschappij, V.L. STeRio - Stilte en Rust.
23. Omgeving, D. *Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen*; 2018;
24. AWW *Geluidswerende maatregelen*; 2013;
25. Depart, V. Mogelijke maatregelen voor gemeentes. Available online: <https://www.lne.be/mogelijke-maatregelen-voor-gemeentes>.
26. Hendrix, R.; Liekens, I.; De Nocker, L.; Vranckx, S.; Janssen, S.; Lauwaet, D.; Brabers, L.; Broekx, S.

- Waardering van ecosysteemdiensten in een stedelijke omgeving : een handleiding*; 2018;
27. Van Renterghem, T. Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. *Urban For. urban Green*. **2019**, *40*, 133–144.
  28. Southworth, M. The Sonic Environment of Cities. *Environ. Behav.* **1969**, *1*, 49–70.
  29. R.M., S. *The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world*; Books, D., Ed.; Rochester, 1977;
  30. Kang, J.; Aletta, F.; Gjestland, T.T.; Brown, L.A.; Botteldooren, D.; Schulte-Fortkamp, B.; Lercher, P.; van Kamp, I.; Genuit, K.; Fiebig, A.; et al. Ten questions on the soundscapes of the built environment. *Build. Environ.* **2016**, *108*, 284–294.
  31. Lex Brown, A. A review of progress in soundscapes and an approach to soundscape planning. *Int. J. Acoust. Vib.* **2012**, *17*, 73–81.
  32. Cerwén, G.; Kreutzfeldt, J.; Wingren, C. Soundscape actions: A tool for noise treatment based on three workshops in landscape architecture. *Front. Archit. Res.* **2017**, *6*, 504–518.
  33. Pijanowski, B.C.; Farina, A.; Gage, S.H.; Dumyahn, S.L.; Krause, B.L. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landsc. Ecol.* **2011**, *26*, 1213–1232.
  34. Pijanowski, B.C.; Villanueva-Rivera, L.J.; Dumyahn, S.L.; Farina, A.; Krause, B.L.; Napoletano, B.M.; Gage, S.H.; Pieretti, N. Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. *Bioscience* **2011**, *61*, 203–216.
  35. Axelsson, Ö.; Nilsson, M.E.; Berglund, B. A principal components model of soundscape perception. *J. Acoust. Soc. Am.* **2010**, *128*, 2836–2846.
  36. Sun, K.; De Coensel, B.; Filipan, K.; Aletta, F.; Van Renterghem, T.; De Pessemer, T.; Joseph, W.; Botteldooren, D. Classification of soundscapes of urban public open spaces. *Landsc. Urban Plan.* **2019**, *189*, 139–155.
  37. Sun, K.; Sanchez, G.M.E.; De Coensel, B.; Van Renterghem, T.; Talsma, D.; Botteldooren, D. Personal audiovisual aptitude influences the interaction between landscape and soundscape appraisal. *Front. Psychol.* **2018**, *9*.
  38. Aletta, F.; Oberman, T.; Kang, J. Associations between positive health-related effects and soundscapes perceptual constructs: A systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 1–15.
  39. Aletta, F.; Kang, J.; Axelsson, Ö. Soundscape descriptors and a conceptual framework for developing predictive soundscape models. *Landsc. Urban Plan.* **2016**, *149*, 65–74.
  40. Coensel, B. De; Vanwetswinkel, S.; Botteldooren, D. Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise. *J. Acoust. Soc. Am.* **2011**, *129*, EL148–EL153.

## BIJLAGE A: VOORBEELD AUTOLUWE GEMEENTE

Op de website <https://www.lne.be/mogelijke-maatregelen-voor-gemeentes> staan verschillende maatregelen voor gemeentes beschreven. Deze maatregelen zijn onderverdeeld in 5 categorieën (zie Tabel 15). Voor elke categorie van maatregelen vind je op de website een projectfiche terug waarin één maatregel of een combinatie van maatregelen wordt uitgewerkt. In deze bijlage kan de projectfiche over de maatregel “autoluwe gemeente” teruggevonden worden. Deze is letterlijk overgenomen van de website [25].

**STRATEGISCHE DOELSTELLING: DE LOKALE LEEFKWALITEIT VERBETEREN**

**OPERATIONELE DOELSTELLING: HET AUTOVERKEER ONTRADEN EN ALTERNATIEVEN STIMULEREN**

### ACTIE: HET INRICHTEN VAN EEN AUTOLUW CENTRUM

#### BESCHRIJVING VAN HET PROJECT

De gemeente wil de luchtkwaliteit verbeteren en de geluidshinder reduceren in de gemeente door een brongerichte aanpak. Hierbij wil de gemeente de voertuigintensiteiten in bepaalde knelpuntstraten doen dalen waardoor de verkeersemisseries afnemen, de luchtkwaliteit verbetert en de geluidshinder afneemt.

De gemeente zal daartoe het autoverkeer in het centrum terugdringen door éénrichtingsverkeer in te voeren in bepaalde drukke straten en door een totaalpakket aan maatregelen die het fiets- en voetgangersverkeer moeten bevorderen. Zo worden fietsenstallingen geplaatst op de belangrijkste openbare bestemmingen (station, bibliotheek, winkelcentrum, markt) en gratis graveersessies georganiseerd om fietsdiefstal tegen te gaan. Met de scholen worden afspraken gemaakt om het woon-schoolverkeer duurzamer te laten verlopen. Er wordt een fiets- en voetpoolsysteem ingevoerd en een schoolroutekaart opgesteld.

#### EFFECTIVITEIT VAN HET PROJECT

Voorafgaand aan de invoering van het project had de gemeente graag meer inzicht gekregen in de effectiviteit van hun project.

De gemeente heeft daartoe eerst de lokale knelpunten in kaart gebracht met behulp van de handleiding “integratie van milieuaspecten in het gemeentelijke mobiliteitsplan”.

Uit de knelpuntanalyse die door het departement LNE<sup>45</sup> is uitgevoerd blijkt dat er 3 potentiële knelpuntstraten in de gemeente voorkomen:

- ▼ Grote Markt
- ▼ Stationsstraat
- ▼ Grote Steenweg

<sup>45</sup>De gemeente heeft de lijst met potentiële knelpuntlocaties opgevraagd via [lucht.hinder. gezondheid@lne.vlaanderen.be](mailto:gezondheid@lne.vlaanderen.be)

Via het LNE-rekeninstrument werd de NO<sub>2</sub>-concentratie en het geluidsniveau in deze 3 potentiële knelpuntstraten berekend. Omdat de gemeente zelf geen gegevens heeft over de verkeersintensiteiten en snelheden, heeft ze met het Vlaams Verkeerscentrum een overeenkomst afgesloten om gebruik te kunnen maken van gemodelleerde verkeersgegevens voor hun gemeente.

### 1) Grote Markt

| Inputgegevens |                                                                     |                                                            | resultaten                                          |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|               | A                                                                   | B                                                          |                                                     |
| 1             |                                                                     | beginsituatie                                              | NO <sub>2</sub> -concentratie: 48 µg/m <sup>3</sup> |
| 2             |                                                                     |                                                            |                                                     |
| 3             | OMGEVINGSFACTOREN                                                   |                                                            |                                                     |
| 4             | locatie (gemeente)                                                  | gemeente                                                   | L <sub>den</sub> : 72 dB(A)                         |
| 5             | afstand waarnemer tot de as van de weg (m)                          | 5                                                          |                                                     |
| 6             | aanwezige wegverharding                                             | asfalt (DAB, SMA)                                          | L <sub>night</sub> : 63 dB(A)                       |
| 7             | verhouding breedte van de weg en hoogte van de aanpalende bebouwing | bebouwing langs beide zijden, wegbreedte < 3x gebouwhoogte |                                                     |
| 8             | Komen er bomen voor langs de weg?                                   | hier en daar bomen of geen bomen                           |                                                     |
| 9             |                                                                     |                                                            |                                                     |
| 10            | VERKEERSGEGEVENS                                                    |                                                            |                                                     |
| 11            | aantal personenwagens/uur                                           | 1400                                                       |                                                     |
| 12            | aantal vrachtwagens/uur                                             | 0                                                          |                                                     |
| 13            | tijdstip tellingen                                                  | 17u-18u                                                    |                                                     |
| 14            | snelheidstype                                                       | normaal stadsverkeer                                       |                                                     |
| 15            | (km/u)                                                              | 50                                                         |                                                     |
| 16            | (toegelaten) snelheid vrachtwagens (km/u)                           | 50                                                         |                                                     |
| 17            | Is er soms filevorming?                                             | geen file                                                  |                                                     |

### 2) Stationsstraat

| Inputgegevens |                                                                     |                                                            | resultaten                                            |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|               | A                                                                   | B                                                          |                                                       |
| 1             |                                                                     | beginsituatie                                              | NO <sub>2</sub> -concentratie: 53,1 µg/m <sup>3</sup> |
| 2             |                                                                     |                                                            |                                                       |
| 3             | OMGEVINGSFACTOREN                                                   |                                                            |                                                       |
| 4             | locatie (gemeente)                                                  | gemeente                                                   | L <sub>den</sub> : 73 dB(A)                           |
| 5             | afstand waarnemer tot de as van de weg (m)                          | 5                                                          |                                                       |
| 6             | aanwezige wegverharding                                             | asfalt (DAB, SMA)                                          | L <sub>night</sub> : 64 dB(A)                         |
| 7             | verhouding breedte van de weg en hoogte van de aanpalende bebouwing | bebouwing langs beide zijden, wegbreedte < 3x gebouwhoogte |                                                       |
| 8             | Komen er bomen voor langs de weg?                                   | hier en daar bomen of geen bomen                           |                                                       |
| 9             |                                                                     |                                                            |                                                       |
| 10            | VERKEERSGEGEVENS                                                    |                                                            |                                                       |
| 11            | aantal personenwagens/uur                                           | 1200                                                       |                                                       |
| 12            | aantal vrachtwagens/uur                                             | 50                                                         |                                                       |
| 13            | tijdstip tellingen                                                  | 17u-18u                                                    |                                                       |
| 14            | snelheidstype                                                       | normaal stadsverkeer                                       |                                                       |
| 15            | (km/u)                                                              | 50                                                         |                                                       |
| 16            | (toegelaten) snelheid vrachtwagens (km/u)                           | 50                                                         |                                                       |
| 17            | Is er soms filevorming?                                             | geen file                                                  |                                                       |

### 3) Grote Steenweg

| inputgegevens |                                                                     |                                                                  | resultaten                                            |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|               | A                                                                   | B                                                                |                                                       |
| 1             |                                                                     | beginsituatie                                                    | NO <sub>2</sub> -concentratie: 46,2 µg/m <sup>3</sup> |
| 2             |                                                                     |                                                                  |                                                       |
| 3             | OMGEVINGSFACTOREN                                                   |                                                                  |                                                       |
| 4             | locatie (gemeente)                                                  | gemeente                                                         | L <sub>den</sub> : 74 dB(A)                           |
| 5             | afstand waarnemer tot de as van de weg (m)                          | 15                                                               |                                                       |
| 6             | aanwezige wegverharding                                             | asfalt (DAB, SMA)                                                | L <sub>night</sub> : 65 dB(A)                         |
| 7             | verhouding breedte van de weg en hoogte van de aanpalende bebouwing | bebouwing langs één zijde, wegbreedte < 6x gebouwhoogte          |                                                       |
| 8             | Komen er bomen voor langs de weg?                                   | hier en daar bomen of geen bomen                                 |                                                       |
| 9             |                                                                     |                                                                  |                                                       |
| 10            | VERKEERSGEGEVENS                                                    |                                                                  |                                                       |
| 11            | aantal personenwagens/uur                                           | 2400                                                             |                                                       |
| 12            | aantal vrachtwagens/uur                                             | 150                                                              |                                                       |
| 13            | tijdstip tellingen                                                  | 17u-18u                                                          |                                                       |
| 14            | snelheidstype                                                       | buitengeweg                                                      |                                                       |
| 15            | (km/u)                                                              | 70                                                               |                                                       |
| 16            | (toegelaten) snelheid vrachtwagens (km/u)                           | 70                                                               |                                                       |
| 17            | Is er soms filevorming?                                             | file tijdens een klein deel van de ochtend- of avondspits (< 1u) |                                                       |

Op basis van deze cijfers blijkt dat op de 3 gedetecteerde locaties de berekende NO<sub>2</sub>-concentratie hoger is dan 40 µg/m<sup>3</sup> en het geluidsniveau (L<sub>den</sub>) hoger is dan 70 dB(A).

De eerste 2 knelpunten bevinden zich in het centrum. In deze 2 knelpuntstraten wordt éénrichtingsverkeer ingevoerd. Het derde knelpunt betreft een toegangsweg waarlangs 2 scholen gelegen zijn. Met deze scholen op de toegangsweg worden afspraken gemaakt om het woon-schoolverkeer te verduurzamen.

De gemeente heeft geen concrete cijfers over de mogelijke impact van het project. Met behulp van de LNE-handleiding en op basis van de standaardeffecten op de voertuigintensiteiten kan de gemeente wel een ruwe inschatting maken.

De gemeente verwacht dat de voertuigintensiteiten in de centrumstraten door de invoering van het éénrichtingsverkeer en door het stimuleren van alternatieven met 35 % zullen dalen en het personenverkeer langs de invalswegen met 2 % zal dalen (door het fietsgebruik te stimuleren).

Via aanpassing van de voertuigintensiteiten in het LNE-rekeninstrument kan de impact van de maatregel op de NO<sub>2</sub>-concentratie en het L<sub>den</sub>-niveau berekend worden. Dit levert volgend resultaat op:

## 1) Grote Markt

| Inputgegevens |               |                       | resultaten                          |
|---------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------|
| A             | B             | C                     |                                     |
| 1             | beginsituatie | situatie na maatregel | <b>NO<sub>2</sub>-concentratie:</b> |
| 2             |               |                       | voor = 48 µg/m <sup>3</sup>         |
| 3             |               |                       | na = 39,2 µg/m <sup>3</sup>         |
| 4             |               |                       | verschil = 8,8 µg/m <sup>3</sup>    |
| 5             |               |                       | <b>L<sub>den</sub>:</b>             |
| 6             |               |                       | voor = 72 dB(A)                     |
| 7             |               |                       | na = 70 dB(A)                       |
| 8             |               |                       | verschil = 2 dB(A)                  |
| 9             |               |                       | <b>L<sub>night</sub>:</b>           |
| 10            |               |                       | voor = 63 dB(A)                     |
| 11            |               |                       | na = 61 dB(A)                       |
| 12            |               |                       | verschil = 2 dB(A)                  |

## 2) Stationsstraat

| Inputgegevens |               |                       | resultaten                          |
|---------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------|
| A             | B             | C                     |                                     |
| 1             | beginsituatie | situatie na maatregel | <b>NO<sub>2</sub>-concentratie:</b> |
| 2             |               |                       | voor = 53,1 µg/m <sup>3</sup>       |
| 3             |               |                       | na = 43,1 µg/m <sup>3</sup>         |
| 4             |               |                       | verschil = 10 µg/m <sup>3</sup>     |
| 5             |               |                       | <b>L<sub>den</sub>:</b>             |
| 6             |               |                       | voor = 73 dB(A)                     |
| 7             |               |                       | na = 71 dB(A)                       |
| 8             |               |                       | verschil = 2 dB(A)                  |
| 9             |               |                       | <b>L<sub>night</sub>:</b>           |
| 10            |               |                       | voor = 64 dB(A)                     |
| 11            |               |                       | na = 63 dB(A)                       |
| 12            |               |                       | verschil = 1 dB(A)                  |

### 3) Grote Steenweg

| Inputgegevens |                                                                     |                                                                  | resultaten |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------|
| A             | B                                                                   | C                                                                |            |
|               | beginsituatie                                                       | situatie na maatregel                                            |            |
| 1             |                                                                     |                                                                  |            |
| 2             |                                                                     |                                                                  |            |
| 3             | OMGEVINGSFACTOREN                                                   |                                                                  |            |
| 4             | locatie (gemeente)                                                  | gemeente                                                         |            |
| 5             | afstand waarnemer tot de as van de weg (m)                          | 15                                                               |            |
| 6             | aanwezige wegverharding                                             | asfalt (DAB, SMA)                                                |            |
| 7             | verhouding breedte van de weg en hoogte van de aanpalende bebouwing | bebouwing langs één zijde, wegbreedte < 6x gebouwhoogte          |            |
| 8             | Komen er bomen voor langs de weg?                                   | hier en daar bomen of geen bomen                                 |            |
| 9             |                                                                     |                                                                  |            |
| 10            | VERKEERSGEGEVENEN                                                   |                                                                  |            |
| 11            | aantal personenwagens/uur                                           | 2400                                                             |            |
| 12            | aantal vrachtwagens/uur                                             | 150                                                              |            |
| 13            | tijdstip tellingen                                                  | 17u-18u                                                          |            |
| 14            | snelheidstype                                                       | buitenweg                                                        |            |
| 15            | (km/u)                                                              | 70                                                               |            |
| 16            | (toegelaten) snelheid vrachtwagens (km/u)                           | 70                                                               |            |
| 17            | Is er soms filevorming?                                             | file tijdens een klein deel van de ochtend- of avondspits (< 1u) |            |
| 18            | schalingsfactor personenwagens                                      | 1                                                                |            |
| 19            | schalingsfactor vrachtwagens                                        | 1                                                                |            |

**NO<sub>2</sub>-concentratie:**  
 voor = 46,2 µg/m<sup>3</sup>  
 na = 46 µg/m<sup>3</sup>  
 verschil = 0,2 µg/m<sup>3</sup>  
**L<sub>den</sub>:**  
 voor = 74 dB(A)  
 na = 73 dB(A)  
 verschil = 1 dB(A)  
**L<sub>night</sub>:**  
 voor = 65 dB(A)  
 na = 65 dB(A)  
 verschil = 0 dB(A)

Hieruit en aan de hand van het significantiekader uit de handleiding van LNE blijkt dat via het invoeren van het autoluwe centrum de NO<sub>2</sub>-concentratie in het centrum in belangrijke mate daalt. De impact op het geluidsniveau is er eerder beperkt. De impact langs de toegangswegen is verwaarloosbaar voor luchtkwaliteit en geluid.

#### ONDERSTEUNENDE INSTRUMENTEN

[Knelpuntanalyse \(pdf, 1.4MB\)](#)

[Rekentool lucht en geluid \(xls, 1.4MB\)](#)

[Milieubeoordeling mobiliteitsmaatregelen \(pdf, 113kB\)](#)

<http://www.mobienvlaanderen.be/vademecums/schoolroutes/schoolroutes.pdf>

<http://www.fietspoolen.be/>

#### VOORBEELDEN

<http://www.lne.be/themas/milieu-en-mobiliteit/gebiedsgerichte-aanpak/lokale-luchtkwaliteit/mogelijke-maatregelen/20130618-praktijkvoorbeelden.pdf>

<http://www.mobienvlaanderen.be/vademecums/brochure-fietsenstallingen.pdf>