

VLAAMSE
MILIEUMAATSCHAPPIJ



Geluidshinder

Evaluatie van de MIRA indicatorset

Luc Dekoninck, Dick Botteldooren

Vakgroep Informatietechnologie – Groep Waves
Universiteit Gent

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,
Milieurapport Vlaanderen**

April 2020

5.1.2	Methodologie.....	57
5.1.3	Indicatorfiche	58
6	Impactindicatoren.....	59
6.1	Introductie van leefomgevingskwaliteit voor geluid (LG).....	59
6.1.1	Rationale	59
6.1.2	Vorstel van een impactindicatorset als antwoord op bovenstaande bekommernissen	60
6.1.3	Besluit.....	63
6.2	Indicator ‘Gerapporteerde hinder in Vlaanderen’ (SLO)	64
6.2.1	Rationale	64
6.2.2	Indicatorfiche	64
6.3	Leefomgevingskwaliteit voor wegverkeer (LG-weg).....	65
6.3.1	Rationale	65
6.3.2	Een ruimtelijk model voor hinder en slaapverstoring door wegverkeer	66
6.3.3	Gebiedsdekkende geluidskaart: te implementeren verbeteringen.....	67
6.3.4	Indicatorfiche	70
6.4	Leefomgevingskwaliteit voor luchtverkeer (LG-Lucht)	71
6.4.1	Rationale	71
6.4.2	Een gebiedsdekkende blootstelling voor luchtvaart op basis van open data	71
6.4.3	Een ruimtelijk model voor hinder en slaapverstoring door luchtverkeer.....	73
6.4.4	Technologische opties en mogelijke synergiën	74
6.4.5	Indicatorfiche	75
6.5	Leefomgevingskwaliteit voor spoorverkeer (LG-Spoor)	76
6.5.1	Rationale	76
6.5.2	Indicatorfiche	77
6.6	Leefomgevingskwaliteit voor andere bronnen	78
6.6.1	Rationale	78
6.6.2	KMO & Industrie	78
6.6.3	Burengeluid	78
6.6.4	Besluit.....	78
6.7	Gezondheidsimpact via DALY.....	79
6.7.1	Rationale	79
6.7.2	DALY toepassingen op basis van de MIRA geluidskaart voor wegverkeer	79
6.7.3	Besluit.....	80
7	Implementatietraject en budgettering	81
7.1	Volgende stappen	81
7.2	Taken en budget per voorgestelde indicator.....	83
Bijlagen	85



INHOUDSTAFEL FIGUREN

Figuur 1: Overzicht van de voorgestelde indicatorset omgevingslawaai.....24

Figuur 2: Links: Samenstelling van de geluidsemissie van personenwagens op de Europese markt in functie van de snelheid; Rechts: illustratie van de invloed van hybride voertuigen (electric vehicle mode, EV) op de geluidsemissie in functie van de snelheid.29

Figuur 3: Motorgeluid en rolgeluid voor medium-zwaar vervoer.....30

Figuur 4: Overzicht van de toename van de rolgeluidsemissie per jaar voor lichte voertuigen (LV) en zware voertuigen (HV).31

Figuur 5: Rolgeluidskaat (A en R wegen) op basis van CPX-metingen (bron: Geluidsactieplan voor de belangrijkste wegen).33

Figuur 6: Rolgeluidskaat tot en met secundaire wegen op basis van Mobisense (2019, testfase met een 10-tal voertuigen).....33

Figuur 7: Voorbeeld van de indicator voor 2017 en 2019 op basis van de CPX-metingen met als referentie de gemiddelde CPX-meting in 2017.34

Figuur 8: Vergelijking van verschillende methodes voor het bepalen van de index: A-gewogen emissie op basis van CPX op de primaire wegen; gemiddelde over afwijking per band op basis van CPX op de primaire wegen; gemiddelde over afwijkingen per band op basis van opportunistische aanpak Mobisense voor alle wegen t.e.m. secundaire wegen.35

Figuur 9: GAM-model Wetteren 1993-2019, splines voor de continue variabelen.....39

Figuur 10: Tijdsverloop van de jaarlijkse offset ten opzichte van de referentie in het model (64.9 dB).40

Figuur 11: Invloed van het versnellen van voertuigen bij lage snelheid op de geluidsemissie volgens verschillende modellen.42

Figuur 12: Distributie van de maximale geluidsniveaus van voorbijrijdende voertuigen (statistical pass-by) langs een doorgangsweg per voertuigcategorie.43

Figuur 13: Evolutie van de vliegtuiggecorrleerde events (L₁₀, L₅₀ en L₉₀ van de L_{max}) in Diegem (42-02), indicatief voor de vertrekken vanop Brussels Airport voor vier periodes: etmaal (00-24), dag en avond (07-23), nacht (23-07) en de operationele nacht (23-06).49

Figuur 14: Evolutie van de vliegtuiggecorrleerde events in Erps-Kwerps (43-02), indicatief voor de landingen op Brussels Airport voor vier periodes: etmaal (00-24), dag en avond (07-23), nacht (23-07) en de operationele nacht (23-06).....50

Figuur 15: Gemiddelde geluidsemissie per as (pass-by meting) per goederentrein in de meetlocatie 'Luchtbal, Antwerpen' (bron Infrabel).....53

Figuur 16: Overgang van de hinderindicatoren naar een geïntegreerd impactmodel voor hinder en slaapverstoring.60

Figuur 17: Concept MIRA model om de hinder door wegverkeer gebiedsdekkend te voorspellen.66

Figuur 18: Aantal vliegtuigevents met L_{max}>50 dB(A) over 24 uur (maandag 15 juli 2019).72

Figuur 19: Aantal vliegtuigevents met L_{max}>50 dB(A) tijdens de nacht (23u-07u) (maandag 15 juli 2019).73

Figuur 20: Voorbeeld uit de lokale gezondheidsindicator.....80



INHOUDSTAFEL TABELLEN

Tabel 1: Type milieu-indicatoren volgens OESO.....	21
Tabel 2: Selectiecriteria voor milieu-indicatoren volgens OESO.....	21
Tabel 3: Overzicht van de bestaande en nieuwe indicatoren met bijhorende beslissing door het evaluatieproces (wegverkeer en luchtverkeer).....	27
Tabel 4: Overzicht van de bestaande en nieuwe indicatoren met bijhorende beslissing door het evaluatieproces (spoorverkeer, stiltegebieden, hinder en blootstelling).....	28
Tabel 5: Voorbeeld van een indicator gebaseerd op een absolute drempel, afgeleid uit de standaardrapporten van Departement Omgeving voor de meetpost Diegem, indicator 'Percentage van de events met $L_{max,1sec} > 85$ dB(A)'.....	48
Tabel 6: Overzicht van de taken voor de ontwikkeling en actualisatie van de nieuwe en vernieuwde indicatoren.....	83
Tabel 7: Ruwe schatting van de kostprijs voor bijkomende ontwikkeling van de voorgestelde indicatorset en terugkerende kost.....	84



SAMENVATTING

Probleemstelling

De huidige MIRA indicatorset voor het milieuthema geluidshinder werd niet meer aangepast sinds de eeuwwisseling. Daardoor houdt hij onvoldoende rekening met de nieuwste bevindingen op het vlak van impact van geluid op de volksgezondheid, de nieuwe rekenmethodes in het kader van de rapportering van strategische geluidsbelastingkaarten in het kader van de Europese Richtlijn Omgevingslawaaier (RO) (END Richtlijn 2002/49/EG)¹, het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek (SLO)² van de Vlaamse overheid, en technologische evoluties op het vlak van dataverzameling en -verwerking (bv. *Internet of Things*, *Citizen Science* ...). Bovendien blijken een aantal indicatoren niet heel gevoelig aan geluidshinderbeleid en bepaalde trends in de maatschappij (trends in wagenpark, mobiliteitsafwikkeling en snelheidsbeperkingen, keuzes wegdekken, onderhoud van wegen en spoorwegen, stimulatie keuzes banden, herinrichting woonkernen ...).

Het traject naar een nieuwe indicatorset

Het onderzoekstraject dat geleid heeft tot het onderstaande ecosysteem van indicatoren omvatte drie fasen: een analyse van de huidige indicatorset³, een explorerende fase, en een consolidatie tot een nieuwe indicatorset (shortlist van geluidshinderindicatoren).

De *analyse* van de huidige indicatorset gebeurde in de vorm van een SWOT-analyse (sterkten, zwakten, opportuniteiten, bedreigingen) waarbij de conformiteit met OESO-criteria voor goede milieu-indicatoren als leidraad werd genomen. Deze analyse bevestigde onder meer de beperkte gevoeligheid van sommige indicatoren en expliciteerde de opportuniteiten geboden door nieuwe dataverzamelingstechnieken. Deze informatie is samengebracht in bijlage A.

De *explorerende fase* werd geïnspireerd en gevoed door vakliteratuur en de inbreng van een brede groep van belanghebbende instanties en hun (geluids)experten, namelijk het Agentschap Zorg en Gezondheid (AZG), de departementen Omgeving (dOMG) en Mobiliteit en Openbare Werken (dMOW), en vertegenwoordigers van grote centrumsteden, spoorwegen en luchthavens (tijdens een brainstormsessie in oktober 2019). De resultaten van deze exploratie werden gebundeld tot een longlist van mogelijke (ver)nieuw(d)e indicatoren waarvan een analyse werd uitgevoerd op vlak van beschikbare gegevensbronnen, gevoeligheid en rapporteringsvorm. Deze informatie is samengebracht in bijlages B (brainstormsessie) en C (longlist).

Voor het *consolideren* en omzetten van de longlist naar een shortlist van prioritaire indicatoren (verder het 'Vlaams ecosysteem van indicatoren omgevingsgeluid' genoemd) werd begin januari 2020 een beroep gedaan op de opdrachtgever (de VMM), het Agentschap Zorg en Gezondheid en het departement Omgeving. Tijdens dit overleg kwamen een aantal aandachtspunten naar voor die belangrijk waren bij de prioritering tot de shortlist en de verdere uitwerking van de nieuwe indicatorset:

- 1 De blootstellingsindicatoren die in de milieurapportering door MIRA gerapporteerd worden, hebben als belangrijk voordeel dat ze gebiedsdekkend zijn, maar hun relatie tot de strategische blootstellingskaarten (die in het kader van de RO worden gerapporteerd) moet duidelijker worden (er is een zekere overlap tussen beide).

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>

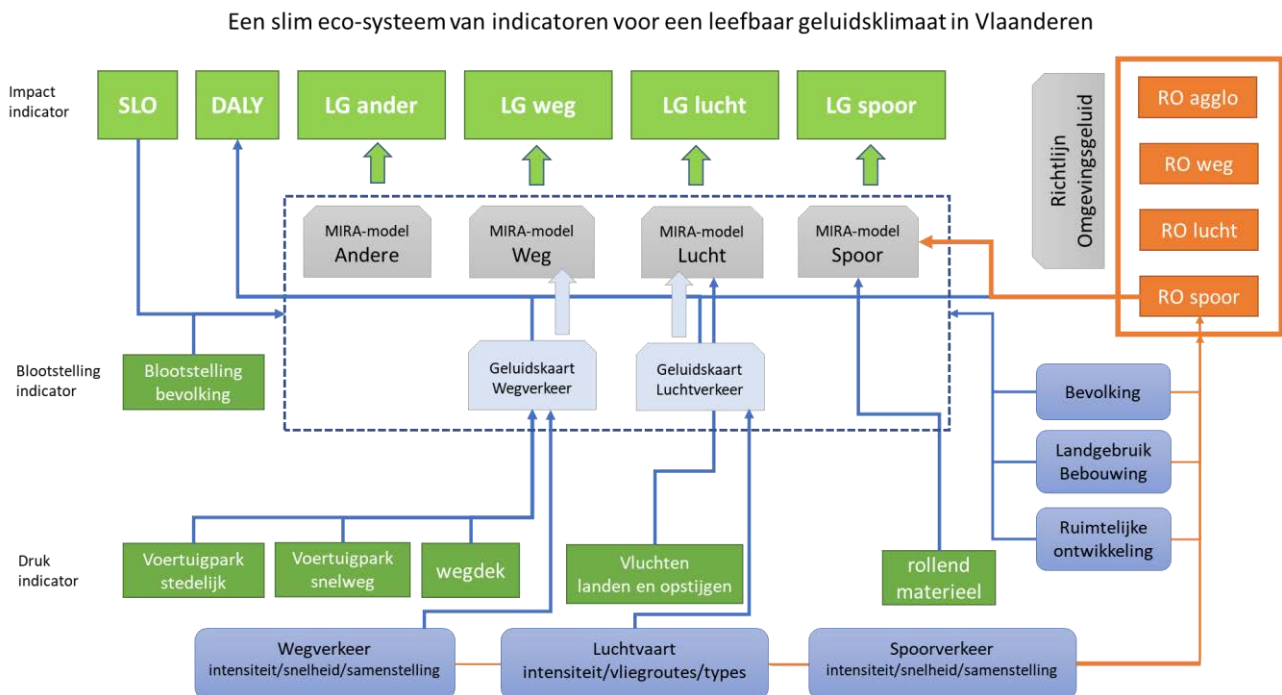
² <https://omgeving.vlaanderen.be/schriftelijk-leefomgevingsonderzoek-slo-4-2018>

³ <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/geluids-geur-lichthinder#toc-indicators>

- 2 In de recentste MIRA actualisaties (2016-2018) werd verwezen naar aangepaste milieubeleidsdoelstellingen in Vlaanderen (het traject van de MINA-plannen werd na 2015 immers niet verdergezet) waardoor er geen kwantitatieve referentiewaarde meer is voor de bestaande blootstellingsindicatoren in de milieurapportering door MIRA.
- 3 Indicatoren die de impact op de volksgezondheid en leefomgevingskwaliteit weerspiegelen, zouden een belangrijke meerwaarde vormen, meer bepaald gebiedsdekkende en ruimtelijk gespecificeerde indicatoren voor ontbreken van hinder en slaapverstoring en dit voor weg-, lucht- en spoorverkeer. De complementariteit met het SLO dient wel gewaarborgd te worden.
- 4 Responsindicatoren worden reeds opgenomen in de geluidsactieplannen, en dienen dus niet expliciet opgenomen te worden in de milieurapportering over geluidshinder door MIRA.
- 5 (Gemeten) drukindicatoren zijn interessant omwille van hun gevoeligheid aan (lokaal) geluidshinderbeleid en bepaalde ruimtelijke trends onder meer.
- 6 De nieuwe indicatoren worden best in een breder Digitaal Vlaanderen-kader geplaatst.

Het Vlaams ecosysteem van indicatoren voor omgevingsgeluid

In de voorgestelde indicatorset (shortlist) worden drukindicatoren (Pressure), blootstellingsindicatoren (State) en impactindicatoren (Impact) weerhouden. Drijvende krachten (Driving forces) komen onder meer reeds in bepaalde MIRA indicatoren voor de sectoren aan bod. Respons indicatoren (Response) komen in de geluidsactieplannen voor wegverkeer, spoorverkeer en luchtvaart en voor de belangrijkste agglomeraties reeds voldoende aan bod.



Figuur: Overzicht van de voorgestelde indicatorset omgevingslawaai.

Hierna komen de druk-, blootstellings- en impactindicatoren samengevat aan bod. In deze studie zijn voor elke (ver)nieuw(d)e indicator de argumentatie ervoor, voorbeelden van mogelijke uitwerking en een indicatorfiche met methodebeschrijving opgenomen. Voor tal van indicatoren is verdere ontwikkeling nodig, vooraleer ze kunnen bepaald of berekend en vervolgens geactualiseerd worden.

Drukindicatoren (P)

Drukindicatoren zijn gevoeliger aan beleid dat gericht is op (het verhogen van) milieu-efficiëntie van maatschappelijke activiteiten. Gemeten drukindicatoren hebben daarenboven het voordeel dat ook trends en (beleids)responses gedetecteerd kunnen worden die niet in modellen (kunnen) vevat zitten. De reeds vermelde technologische evoluties maken het meten van dergelijke indicatoren op een voldoende grote schaal mogelijk.

Wegverkeer: Rolgeluidsemissie van de wegdekken in Vlaanderen

Omwillen van het stiller worden van motoren neemt het aandeel van rolgeluid in de totale geluidsemissie van personenwagens gestadig toe. Rolgeluid wordt bepaald door de band (breedte, loopvlaktextuur, hardheid) en de effectieve rijnsnelheid, maar ook door de keuze van weg(oppervlak)type en de onderhoudstoestand van de wegen.

Om het beleid rond dit laatste op te volgen, wordt deze indicator toegevoegd. De technologie om deze indicator te bepalen, wordt sinds enkele jaren ingezet door het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) op de snelwegen en primaire wegen, maar recent zijn ook alternatieve gebiedsdekkende methodes ontwikkeld en gecommmercialiseerd.

Wegverkeer: Evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot op snelwegen

Een vergelijkbare indicator werd in het verleden reeds opgenomen in de milieuraapportering door MIRA. Voor het bepalen van de trend in geluidsemissie van voertuigen in de typische omstandigheden voor snelwegen (snelheid en samenstelling wagenpark) werden metingen gebruikt die uitgevoerd werden door het departement Omgeving. Daarbij is het belangrijk dat de invloed verwijderd wordt van het lokale wegdek op basis van de meting van rolgeluidsemissie (zie vorige indicator). Daarnaast is het ook aan te raden om het meetnetwerk naar andere snelwegen uit te breiden. Hoewel homologatiewaarden voor geluidsemissie van voertuigen op Europees niveau bepaald worden, kan deze indicator toch een beeld geven van de impact van regionaal beleid rond internalisering van externe kosten, stimulatie van stille banden, enz.

Wegverkeer: Evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot op lokale en secundaire wegen

Verkeer op lokale en secundaire wegen heeft een andere samenstelling en een andere snelheid dan verkeer op autosnelwegen. Bovendien zijn geluidspieken van individuele luidruchtige voertuigen belangrijker voor de ervaring van hinder en slaapverstoring. Deze indicator monitort de distributie van de geluidspieken en moet bepaald worden door een nieuw uit te rollen meetnetwerk, bijvoorbeeld gekoppeld aan *Smart City*-initiatieven. Meer nog dan de vorige indicator zal deze indicator gevoelig zijn voor lokaal en regionaal beleid.

Luchtverkeer: Gemeten evolutie van de geluidsemissie van individuele vliegbewegingen per luchthaven

De indicator geeft een beeld van de typische geluidsemissie van de ingezette vliegtuigvloot. Doordat de indicator gebaseerd is op metingen is hij gevoelig voor alle parameters die de geluidsemissie van vliegtuigen kunnen bepalen (meteorologische condities, gewicht, effectief gevlogen procedure ...).



Spoorverkeer: Gemeten evolutie van de geluidsemisatie van goederentransport in Vlaanderen

Wagons voor goederentransport worden vaak grensoverschrijdend ingezet. Infrabel monitort de emissie van deze wagons. De indicator beschouwt de distributie van emissies, en is gevoelig voor de intensiteit waarmee geremedieerd wordt aan de emissie van de luidste wagons. Trends zullen sneller zichtbaar worden dan in een geaggregeerde blootstellingsindicator die ook beïnvloed wordt door het aantal treinen, de toestand van de sporen, afscherming en afstand tot de dichtste woningen.

Spoorverkeer: Gemeten evolutie van de geluidsemisatie van passagierstreinen in Vlaanderen

De variatie in passagierstreinen is minder groot dan deze in goederenvervoer. Het grootste deel van het rollend materieel is eigendom van de NMBS. Bovendien worden specifieke treinstellen ingezet op specifieke trajecten en uren. Door echter een aantal monitoringsstations te combineren, kan toch een beeld bekomen worden van de trends in geluidsemisatie van individuele treinstellen.

Blootstellingsindicatoren (S)

Deze indicatoren kwantificeren de blootstelling ter hoogte van de meest belaste gevel van woningen. De berekende blootstelling die volgt uit de strategische geluidsbelastingkaarten berekend volgens de RO, wordt voor de volledigheid in het ecosysteem opgenomen. Maar de berekende blootstelling wordt niet binnen de milieurapportering over omgevingsgeluid door MIRA gerapporteerd. Daarnaast wordt een gebiedsdekkende gemeten geluidsblootstellingsindicator op basis van Citizen Science voorgesteld.

Alle bronnen: Evolutie van de geluidsblootstelling aan de woningen in Vlaanderen

Doordat het om een meting gaat, zitten alle geluidsbronnen en alle mogelijke trends vervat in deze indicator: ruimtelijke evoluties, evoluties in de samenleving, evoluties in de geluidsbronnen, enz. Deze indicator werd ontwikkeld ter vervanging van de bestaande indicator die de geluidsblootstelling aan 250 woningen in Vlaanderen gedurende korte tijd en met een lange tussenpauze meet. Het wordt mogelijk om dekkingsgraad en langetermijn trendanalyse te verzoenen door gebruik te maken van nieuwe meettechnologie, nieuwe meetmethodes met inbreng van de burger en doorgedreven data-analyse.

Impactindicatoren (I)

De impactindicatoren staan bovenaan in het ecosysteem (Figuur 1). Omwille van de volledigheid wordt de gerapporteerde hinder en slaapverstoring, zoals bekomen uit het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek (SLO), opgenomen in de indicatorset (althoewel deze volledig wordt bepaald buiten de milieurapportering voor geluidshinder door MIRA).

Alle bronnen: Gerapporteerde hinder en slaapverstoring uit het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek

Daarnaast worden berekende impactindicatoren voor verschillende bronnengroepen voorgesteld. Conceptueel wordt het accent verlegd van potentieel ernstige hinder naar kwaliteit van de leefomgeving, geoperationaliseerd als 'Aandeel van de bevolking dat niet matig, ernstig of extreem gehinderd en niet ernstig slaapverstoord is door geluid' van een bepaalde geluidsbron. Deze groep van drie indicatoren kregen de naam:

Wegverkeer: Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle leefomgeving voor wegverkeer woont

Luchtverkeer: Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle leefomgeving voor luchtverkeer woont

Spoorverkeer: Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle leefomgeving voor spoorverkeer woont



Deze keuze differentieert de indicator van de blootstelling uit de RO, en maakt in eenzelfde beweging de overgang naar de nieuwe vorm en formulering van de Vlaamse milieubeleidsdoelstellingen (verbetering van omgevingskwaliteit).

De kwaliteit van de leefomgeving op vlak van geluid wordt berekend op basis van een gebiedsdekkende blootstelling in combinatie met bijkomende ruimtelijke parameters en de gerapporteerde hinder en slaapverstoring uit het SLO.

De voorgestelde berekeningsmethode maakt deze indicatoren gevoelig aan de werkelijke evoluties zoals opgevolgd in de drukindicatoren, de ruimtelijke context, de bevolkingsdichtheid en de werkelijke respons van de bevolking in Vlaanderen. Impliciet wordt hierdoor de blootstellingseffect (dosis-effect) relatie die in de vroegere berekening van het 'Aantal potentieel ernstig gehinderden door geluid' gebruikt werd, na elke vijfjaarlijkse SLO-bevraging geactualiseerd.

Omdat naast L_{den} en L_{night} ook bijkomende karakteristieke grootheden in de modellen worden gebruikt, kunnen nieuwe mechanistische inzichten (zoals het belang van geluidspieken of audiovisuele interactie) in het ontstaan van hinder en slaapverstoring meegenomen worden. Verwerken van de nieuwste inzichten in effecten van geluid op de mens was een van de aanleidingen voor deze evaluatie. De modellering zorgt voor een geografische dekking, ook tussen de plaatsen van de SLO-bevraging.

De onderliggende gebiedsdekkende blootstellingskaarten voor wegverkeersgeluid blijven beschikbaar voor andere toepassingen. Ook de tussentijdse resultaten zoals een gebiedsdekkende bepaling van slaapverstoring en geluidshinder zijn beschikbaar voor de andere toepassingen (zoals DALY's, gezondheidsonderzoeken in het kader van biomonitoring, e.d.).

De ruimtelijke indicatoren per geluidsbron kunnen worden gecombineerd tot een algemeen ruimtelijke leefomgevingskwaliteit voor alle bronnen van verkeersgeluid. Uitbreidingen naar industrie & KMO of burengeluid worden op dit ogenblik niet weerhouden bij gebrek aan geografische informatie die dergelijke modellen kan voeden.

Implementatietraject en potentiële synergieën

De effectieve implementatie van de volledige voorgestelde indicatorset vereist eerst nog belangrijke ontwikkelingen.

Beide indicatoren voor het opvolgen van de evolutie van de geluidsemisatie van voertuigen voor wegverkeer vereisen de aankoop en het onderhoud van meetapparatuur, en impliceert dus eveneens een significante initiële kost. Bij de overige drukindicatoren is er voornamelijk een terugkerende inspanning nodig.

De indicator 'Evolutie van de geluidsblootstelling aan de woningen in Vlaanderen' vraagt een belangrijke investering in hardware, die jaarlijks voor een deel terug zal komen, en brengt een jaarlijks terugkerende kost mee voor data-analyse.

De impactindicatoren 'Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle leefomgeving voor wegverkeer (enz.) woont' vereisen nog een belangrijke ontwikkeling, in het bijzonder op het vlak van automatisatie en modelvorming, vooraleer ze geïmplementeerd kunnen worden. De jaarlijks terugkerende kost is van dezelfde grootteorde als de kost voor het bepalen van de huidige indicator 'Aantal potentieel ernstig gehinderden door ...'.



Gezien de vrij hoge kostprijs van de voorgestelde overgang naar een nieuw ecosysteem van indicatoren voor omgevingsgeluid is het wellicht nodig om synergieën met andere ontwikkelingen te onderzoeken. Deze synergieën kunnen zowel op het vlak van wetenschappelijk lopend onderzoek als op beleidsvlak gevonden worden. Het coördineren van de verschillende initiatieven rond omgevingsgeluid en de lopende ontwikkelingen in het kader van *Smart Cities* en het dataplatform in ontwikkeling van het Vlaams Planbureau voor Omgeving (VPO) bieden eveneens mogelijkheden.

Besluit

De evaluatie van de huidige MIRA indicatorset bevestigde de nood aan het wijzigen van de indicatorset en de bijbehorende reken- en meetmethodes. De indicatoren moeten onder andere gevoeliger gemaakt worden aan de beleidsmaatregelen op zowel Europees, Belgisch, Vlaams als lokaal beleidsniveau. De nadruk ligt nog meer op gebiedsdekkende en ruimtelijk gedetailleerde oplossingen. De impact-indicatoren worden omgevormd naar een kwaliteitsindicator conform met de nieuwe algemene formulering van de omgevingskwaliteitsdoelstellingen in Vlaanderen. De rapportering wordt duidelijk verschillend van de rapportering van blootstelling volgens de Europese Richtlijn Omgevingslawaaai. De indicatoren voeden de discipline gezondheid met zowel geluidshinder als slaapverstoring. Dit voorstel van indicatorset levert een uniform en consistent ecosysteem van indicatoren op waarbij de werkelijke evolutie van de geluidsemisseries, blootstelling van de bevolking en de impact op de bevolking worden gerapporteerd met innovatieve technieken. Een traject voor implementatie illustreert de haalbaarheid en de mogelijkheden tot synergieën met andere initiatieven. De implementatie en periodieke actualisatie van deze MIRA indicatorset kan een belangrijke bijdrage leveren aan het onderbouwen, voeren en opvolgen van (overheids)beleid gericht op de realisatie van een gezond geluidsklimaat.



SUMMARY

Problem statement

The current indicator set of MIRA (the State of the Environment Report (SOER) of Flanders) for the theme of environmental noise has not been adapted since 2000. Hence, this indicator set does not sufficiently take into account the most recent findings regarding the impact of noise on public health, the new calculation methods used to report strategic noise maps in the context of the EU Noise Directive (2002/49/EC)⁴, the 'Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek (SLO)' (the 'Written Environmental Survey') of the Flemish public authorities, and technological evolutions regarding data collection and analysis (e.g. *Internet of Things*, *Citizen Science* ...). Moreover, various indicators do not seem to be very responsive to noise policies and certain societal trends (trends in the car park, traffic management and speed reductions, choice of road surfaces, maintenance of roads and railways, the redesign of urban areas ...).

The trajectory to a new indicator set

The research trajectory that led to the eco-system of indicators below encompassed three phases: an *analysis* of the current indicator set⁵, an *exploratory* phase, and a *consolidation* to a new indicator set (shortlist of noise indicators).

The *analysis* of the current indicator set was done in the form of a SWOT analysis (strengths, weaknesses, opportunities, threats) during which conformity with the OECD criteria for good environmental indicators was established. This analysis confirmed among others the limited responsiveness of some indicators and made the opportunities explicit offered by new data collection technologies. This information is put together in annex A.

The *exploratory phase* was inspired and fed by the scientific literature and the input of a broad group of stakeholding bodies and their (noise) experts, i.e. the Agency for Care and Public Health (AZG), the departments Environment (dOMG) and Mobility and Public Works (dMOW), and representatives of big agglomerations, railways and airports (during a brainstorm session in October 2019). The results of this exploration were grouped into a longlist of possible (re)new(ed) indicators which were analysed for available data sources, sensitivity and reporting format. This information is put together in annexes B (brainstorm session) and C (longlist).

For the *consolidation* and conversion of the longlist to a shortlist of priority indicators (further called the 'Flemish eco-system of environmental noise indicators') the following institutions were called upon early January 2020: the Flanders Environment Agency (VMM), the Agency for Care and Public Health and the department Environment. During this meeting various points of attention were put forward that were important in the prioritisation to the shortlist and the further elaboration of the new indicator set:

- 1 The exposure indicators that are reported in environmental reporting by the SOER team have the important advantage of being area-wide, but their relation to the strategic noise maps (reported in the context of the EU Noise Directive) needs to be clarified (there is a degree of overlap between the two).

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>

⁵ <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/geluids-geur-lichthinder#toc-indicators>

- 2 In the context of the most recent MIRA indicator updates (2016-2018) reference was made to new environmental policy goals in Flanders (the trajectory of the so-called 'MIRA plans' was not continued after 2015). As a result, there was no quantitative reference value anymore for the existing exposure indicators in the environmental reporting by the SOER team.
- 3 Indicators that reflect the impact on public health and environmental quality would have considerable added value, more precisely area-wide and spatially differentiated indicators for noise annoyance and sleep disturbance and this for road, air and railway traffic. Complementarity with the SLO Survey must be guaranteed.
- 4 Response indicators are included in the noise action plans, and therefore do not need to be explicitly included in the environmental reporting by the SOER team.
- 5 (Measured) pressure indicators are interesting among others because of their sensitivity to (local) noise policies and certain spatial and societal trends.
- 6 Ideally, the new indicators are situated in a wider Digital Flanders context.

The Flemish eco-system of environmental noise indicators

The proposed indicator set (shortlist) comprises pressure indicators, exposure indicators and impact indicators. Driving forces are among others yet covered in certain MIRA sectoral indicators. Response indicators are sufficiently included in the noise action plans for road, air and railway traffic and for the big agglomerations.

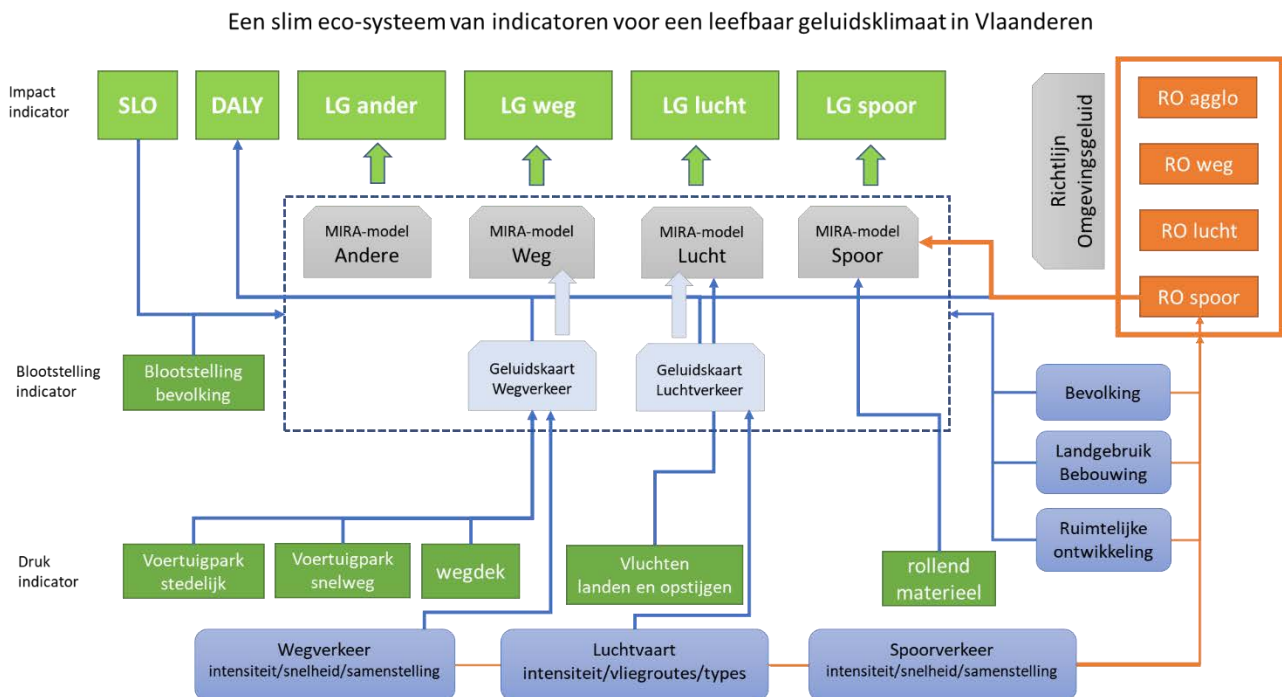


Figure: Overview of the proposed indicator set for environmental noise.

The pressure, exposure and impact indicators are summarised below. In this study, the rationale, examples of elaboration and an indicator sheet are included for each (re)new(ed) indicator. Many of the indicators require further development, before they can actually be determined or calculated and then be updated.



Pressure indicators (P)

Pressure indicators are more sensitive to policies aimed at (improving) environmental efficiency of societal activities. Moreover, measured pressure indicators have the advantage that trends and (policy) responses can be detected that are not (cannot be) captured in models. The already mentioned technological evolutions enable measuring such indicators on a sufficiently large scale.

Road traffic: Rolling sound emission of road surfaces in Flanders

Because of quieter engines the proportion of rolling sound in the total sound emission of passenger cars has steadily increased. Rolling sound is determined by the breadth of tyres (breadth, surface texture, hardness) and the actual driving speed, but also by the choice of road (surface) type and the state of maintenance of the roads.

This indicator is added to follow up on policies for the latter. Over the last years the technology to determine this indicator has been adopted by the Agency Roads and Traffic (AWV) on highways and primary roads, but alternative area-wide methods have recently been developed and commercialised.

Road traffic: Evolution of sound emission by the vehicle fleet on highways

A similar indicator was included in the SOER by the MIRA team in the past. To determine the trend in sound emission by vehicles in the typical circumstances of highways (speed and composition of the vehicle park) measurements were carried out by the department Environment. It is hereby important that the influence of the local road surface is excluded from the measurement of the one of rolling sound emission (see previous indicator). Besides, we advise to extend the measurement network to other highways. Although homologation values for sound emission of vehicles is determined at the European (policy) level, this indicator can yet show the impact of regional policy on internalisation of external costs, stimulation of uptake of quieter tyres, etc.

Road traffic: Evolution of sound emission by the vehicle fleet on local and secondary roads

Traffic on local and secondary roads has a different composition than traffic on highways. Moreover, sound peaks from noisy individual vehicles are more important in experiencing annoyance and sleep disturbance. This indicator monitors the distribution of sound peaks and must be determined by means of a new to be developed measurement network, i.e. coupled to *Smart City* initiatives. This indicator will be more sensitive to local and regional policies than the previous one.

Air traffic: Measured evolution of noise emission of individual flight movements per airport

This indicator shows the typical noise emission of the used airplane fleet. Because this indicator is based on measurements it is sensitive to all parameters that can determine noise emissions of airplanes (meteorological conditions, weight, effectively used flight procedure, etc.).

Railway traffic: Measured evolution of noise emission of freight trains in Flanders

Wagons for freight transport are often used crossing national borders. Infrabel monitors the emissions of these wagons. The indicator assesses the distribution of emissions, and is sensitive to the intensity with which the noise emissions of the loudest wagons are remedied. Trends will be more visible than in an aggregated exposure indicator that is also influenced by the number of trains, the state of the railway tracks, shielding and distance to the nearest dwellings.



Railway traffic: Measured evolution of noise emission of passenger trains in Flanders

The variation in passenger trains is smaller than in freight transport. The largest part of the rolling material is the property of the NMBS (Belgium’s national railway operator). Moreover, specific wagons are used on specific trajectories and hours. By combining a number of monitoring stations it is possible though to get an idea of the trends in noise emission of individual train wagons.

Exposure indicators (S)

These indicators quantify the exposure at the noisiest facade of dwellings. The calculated exposure that follows from the strategic noise maps calculated in the context of the EU Noise Directive is included in the eco-system for reasons of completeness. But the calculated exposure is not reported in the context of the reporting on environmental noise by the SOER team.

Beside this, an area-wide measured noise exposure indicator is presented on the basis of Citizen Science.

All emission sources: Evolution of noise exposure at dwellings in Flanders

Because this involves a measurement, all sources of noise and all possible trends are included in this indicator: spatial evolutions, evolutions in society, evolutions in sources of noise, etc. This indicator was developed to replace the existing indicator that measures noise exposure at 250 dwellings in Flanders during short time intervals and with long time intervals in between. It becomes possible to reconcile area coverage and long term trend analysis by means of new measurement technology, new measurement methods with citizen (science) input and intensive data analysis.

Impact indicators (I)

The impact indicators figure above in the eco-system (see Figuur 1). For reasons of completeness, the reported noise annoyance and sleep disturbance as obtained from the SLO Survey, are included in the indicator set (although this is entirely determined outside of the environmental reporting for noise by the SOER team).

All emission sources: Reported annoyance and sleep disturbance as obtained from the SLO

Besides this, the calculated impact indicators for the different sources of noise are presented. Conceptually, the focus is changed from potentially severe annoyance from noise to environmental quality, operationalised as ‘Proportion of the population that is not mildly, severely or extremely hindered and not severely sleep-disturbed because of noise’ by a specific source of noise. This group of three indicators is named as follows:

Road traffic: Proportion of the population that lives in a qualitative living environment for road traffic
Air traffic: Proportion of the population that lives in a qualitative living environment for air traffic
Railway traffic: Proportion of the population that lives in a qualitative living environment for railway traffic

This choice sets the indicator apart from the exposure reported in the context of the EU Noise Directive, and evolves at once according to the new format and formulation of the Flemish environmental policy goals (improvement of environmental quality).



The quality of the living environment is calculated on the basis of an area-wide exposure in combination with additional spatial parameters and the reported annoyance and sleep disturbance from the SLO Survey. The presented calculation method renders these indicators sensitive to the real evolutions as monitored in the pressure indicators, the spatial context, the population density and the real response of the population in Flanders. The exposure-effect (dosis-effect) relation that was previously used, is implicitly updated after each 5-yearly SLO Survey.

Because apart from L_{den} and L_{night} additional characterising measures are used in the models, new mechanistic insights (like the importance of sound peaks or audiovisual interaction) in the occurrence of annoyance and sleep disturbance can be included. Processing of the newest insights on the effects of noise on human beings was one of the reasons for this evaluation. The modelling exercise provides for geographical area coverage, also in between the locations covered by the SLO Survey.

The underlying area-covering exposure maps remain available for other applications. Also the intermediate results from determining the noise annoyance and sleep disturbance are available for the other applications (like DALY's, public health studies in the context of biomonitoring, etc.).

The spatial indicators for each source of noise can be combined into a general, spatially defined indicator for quality of the living environment for all sources of traffic noise. Extensions to industry and small & medium enterprises or noise from neighbours is not withheld at present due to a lack of geographical information to feed such models.

Implementation trajectory and potential synergies

The actual implementation of the entire proposed indicator set first requires considerable further developments.

Both indicators for the follow-up of the evolution of noise emission by road vehicles require the purchase and maintenance of measurement equipment, and hence implies a significant initial cost. For the other pressure indicators, there is mostly the need for a recurrent effort.

The indicator 'Evolution of the noise exposure at dwellings in Flanders' requires a considerable investment in hardware, which will partly be recurrent every year, and involves a recurrent cost for data analysis.

The impact indicators 'Proportion of the population that lives in a qualitative living environment for road traffic (and other sources)' require a considerable development, particularly regarding automatisisation and model building, before these can be actually implemented. The yearly recurrent cost is of the same magnitude as the cost for determining the present indicator 'Number of potentially severely impacted people from noise'.

Given the fairly high cost of the proposed transition to a new eco-system of noise indicators, it will likely be necessary to look for synergies with other developments. These synergies can be found in the realm of current scientific research as well as in the policy domain. The coordination of the different initiatives on noise and the current developments in the context of *Smart Cities* and the data platform under development at the 'Vlaams Planbureau voor Omgeving' (VPO – Flemish Planning Bureau for Environment) also offer opportunities.

Conclusion

The evaluation of the current MIRA indicator set confirmed the need for changing the set and the calculation and measurement methods that are part of it. The indicators must be made more sensitive to policy measures at the European, Belgian, Flemish and local policy levels.



The focus lies more on area-wide and spatially detailed solutions. The impact indicators are transformed into an indicator for environmental (sound) quality in accordance with the new general formulation of the environmental quality goals in Flanders. This reporting becomes clearly distinct from the reporting of noise exposure according to the EU Noise Directive. The indicators feed into the health discipline with attention to both public health and sleep disturbance.

This proposal of indicator set provides a uniform and consistent eco-system of indicators in which the actual evolution of noise emissions, exposure of the population and the impact on the population are reported with innovative techniques. A trajectory for implementation illustrates the feasibility and possibilities for realising synergies with other initiatives.

The implementation and periodic update of this MIRA indicator set can provide an important contribution to supporting, implementing and monitoring (public) policies aimed at realising a healthy sound climate.



1 Inleiding

De set van indicatoren die in de MIRA rapportering over geluidshinder gebruikt is geworden (kortweg 'indicatorset'), werd vastgelegd rond de eeuwwisseling. Sindsdien is deze set omwille van tal van redenen verkleind. Een grondige evaluatie en herziening van de gereduceerde indicatorset zoals die de laatste jaren geactualiseerd is geworden⁶, drong zich op om de volgende redenen:

- Technologische evoluties zowel op het vlak van dataverzameling als op het vlak van de verwerking ervan openen nieuwe mogelijkheden om indicatoren te definiëren en op te volgen die beter aansluiten bij de OESO-richtlijnen voor goede indicatoren.
- De rapportering van strategische geluidsbelastingskaarten en geluidsblootstelling in navolging van de Europese Richtlijn Omgevingslawaai (EC 2002/49/EG inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai⁷) bevat vergelijkbare informatie als de MIRA rapportering: communicatie van twee verschillende getalwaarden voor de blootstelling aan geluid van wegverkeer en luchtvaart kan voor verwarring zorgen bij het brede publiek. De complementariteit van de MIRA indicatoren moet verduidelijkt worden via de keuze van wat gerapporteerd wordt.
- Het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek (SLO-enquêtes) wordt op regelmatige basis (om de vijf jaar) herhaald en de relatie van deze resultaten tot de indicatorset moet verduidelijkt worden⁸.
- De modellen die gebruikt worden voor het berekenen van de geluidskaarten die aan de basis liggen van de indicatorset dienen aan de huidige stand van kennis aangepast te worden.
- Er zijn nieuwe inzichten met betrekking tot de effecten van geluid op mensen (hinder, slaapverstooring, gezondheid) die in de indicatorset vevat moeten worden.
- De gevoeligheid van de huidige indicatoren voor het gevoerde beleid is in bepaalde gevallen beperkt. Een opwaardering van de geluidsdrukindicatoren met name kan overwogen worden om hieraan te verhelpen.

Om aan deze vragen tegemoet te komen, werd door de VMM een project '**Geluidshinder – actualisatie indicatoren 2019 en evaluatie MIRA indicatorset**' (Bestek nr. VMM/ALMC/MIRA/2019/03) uitgeschreven. Het tweede deel van dit project ('perceel 2') omvat de evaluatie en herziening die aan bod komt in dit rapport.

⁶ De huidig gebruikte set omvat de volgende indicatoren (zie <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/geluids-geur-lichthinder#toc-indicators>):

- Geluidsblootstelling aan wegverkeer
- Geluidsblootstelling aan vliegverkeer
- Geluidsbelasting Brussel-Nationaal Luchthaven (Brussels Airport)
- Potentieel ernstig gehinderden door geluid
- Hinder door geluid, geur en licht (via het SLO)

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>

⁸ Resultaten uit de SLO-enquête worden nu geïntegreerd in het berekend percentage potentieel ernstig gehinderden wat tot enige onduidelijkheid kan leiden.

1.1 Algemeen kader voor milieu-indicatoren en selectie van indicatoren

De selectie en evaluatie van de indicatoren houdt rekening met gestandaardiseerde kaders voor dergelijke toepassingen.

- MIRA categoriseert de indicatoren volgens het DPSIR-schema: Driving Forces (Drijvende krachten), Pressure (Druk), State (Toestand), Impact (Impact) and Response (Respons). We blijven de indicatoren volgens deze structuur presenteren.
- De OESO beschrijft in een referentiepapier een aantal richtlijnen voor het ontwerpen, meten en gebruik van indicatoren⁹. Dit document lag in het verleden aan de basis van de definitie van de bestaande MIRA indicatoren.

Deze typering en de selectiecriteria bieden bijkomende ondersteuning bij het evalueren van bestaande indicatoren en het identificeren van nieuwe indicatoren. In onderstaande tabellen worden de types en selectiecriteria overgenomen uit het OESO-rapport zodat er in de volgende secties eenvoudig kan naar worden gerefereerd.

Type van indicators	
Fundamentele milieu-indicatoren (Core Environmental Indicators, CEI)	Opvolgen van evoluties en van milieukwaliteit en milieuprestaties
Sleutel milieu-indicatoren (Key Environmental Indicators, KEI)	Informereren van de burgers, signalen voor beleids-makers
Sectoriele milieu-indicatoren (Sectorial Environmental Indicators, SEI)	Promoten van integratie en duurzaam management
Opvolgen vooruitgang in duurzame ontwikkeling (Monitoring Progress Towards Sustainable development, DEI)	Ontkoppelen van druk en groei

Tabel 1: Type milieu-indicatoren volgens OESO.

Selectie criteria	
Beleidsrelevantie en toepasbaarheid (Policy Relevance and Utility)	Representatief beeld Eenvoudig en trend in de tijd Responsief Basis voor internationale vergelijking Nationale reikwijdte of relevante regionale trend op nationaal niveau Drempel- of referentiewaarden
Analytische degelijkheid (Analytical soundness)	Theoretisch en wetenschappelijk gefundeerd Internationale consensus over geldigheid Relatie met economische modellen en voorspellingen
Meetbaarheid (Measurability)	Directe beschikbaarheid of beschikbaar binnen een aanvaardbare kosten-baten Adequaat gedocumenteerd Actualisatie op geregelde tijdstippen met betrouwbare procedures

Tabel 2: Selectiecriteria voor milieu-indicatoren volgens OESO.

⁹ <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>

1.2 Overzicht van het project, rapport en de bijlages

Voorliggend document vat de resultaten van het project samen. Dit verslag is geen chronologisch verslag van het traject om tot dit voorstel te komen, maar introduceert de finaal voorgestelde nieuwe indicatorset als een consistent geheel. In de bijlages is de achtergrondinformatie beschikbaar over het traject dat tot dit voorstel heeft geleid.

Het project volgde een vooropgestelde methodiek bestaande uit de volgende stappen:

- 1 Er wordt een SWOT-analyse van de huidige indicatoren uitgevoerd in het licht van de bovenstaande OESO-criteria voor indicatoren. De details van de SWOT-analyse zijn beschikbaar in bijlage A.
- 2 Op een brainstormsessie met de belangrijkste betrokkenen wordt de SWOT-analyse besproken en aangevuld. De brainstormsessie wordt gevolgd door zowel geïnteresseerden in de Vlaamse administraties als door toeleveranciers van data vanuit de verschillende sectoren (wegverkeer, luchtverkeer en spoorverkeer) en uit verschillende onderdelen van de administratie (verkeerscentrum, Agentschap Mobiliteit en Openbare Werken, Agentschap zorg en Gezondheid, e.d.). Er werden ook vertegenwoordigers gevraagd vanuit de agglomeraties vanwege de relatie met de rapportering binnen de EU Richtlijn Omgevingslawaai. De resultaten, verslag en conclusies worden samengevat in bijlage B.
- 3 Op basis van de brainstormsessie en de bestudeerde literatuur werd een longlist van mogelijke nieuwe of gewijzigde indicatoren opgesteld en samengevat in bijlage C.
- 4 Tijdens een vergadering op 8 januari 2020 met vertegenwoordigers van het Departement Omgeving en de VMM werd op basis van de longlist een shortlist van prioritair aan te passen of nieuwe indicatoren opgesteld. Het pad naar dit voorstel was vrij dynamisch met belangrijke kruisbestuiving doorheen de verschillende geluidsthema's waardoor dit niet eenvoudig is weer te geven. Er werden eveneens verschillende suggesties voor verdere uitwerking meegegeven aan de opdrachthouders. Het verslag van deze vergadering is beschikbaar in bijlage D.

De nieuwe indicatorset, die uit bovenstaand traject volgt (de shortlist), wordt samengebracht in een gestructureerd geheel, omschreven als 'het Vlaams ecosysteem van indicatoren voor omgevingsgeluid'. De naamkeuze weerspiegelt de ambitie om een volledig kader te scheppen voor de rapportering over het milieuthema geluidshinder in Vlaanderen, inclusief de rapportering in de context van de EU Richtlijn Omgevingslawaai, het SLO en de rapportering van DALY (disability adjusted life years) in een bredere milieucontext. Responsindicatoren die de geluidsactieplannen opvolgen zijn zo specifiek dat ze hier niet opgenomen worden.

Ecosysteem verwijst tevens naar de interactie en samenhang tussen de verschillende indicatoren die elkaar wederzijds voeden. De drukindicatoren geven voeding aan de modellen die uiteindelijk tot impact indicatoren leiden. Het SLO stuurt het ecosysteem bij door de modellen periodiek te verbeteren. Deze structuur wordt uitgewerkt in hoofdstuk 2. Om de relatie tussen de bestaande en de nieuwe indicatoren te duiden wordt de overgang van de huidige indicatoren naar dit nieuwe voorstel voorgesteld in hoofdstuk 3. De indicatoren zelf worden uitgewerkt volgens het DPSIR kader (Hoofdstuk 4 tot 6). In hoofdstuk 7 wordt het implementatietraject, budget en potentiële synergieën beschreven.

2 Het Vlaams ecosysteem van indicatoren voor omgevingsgeluid

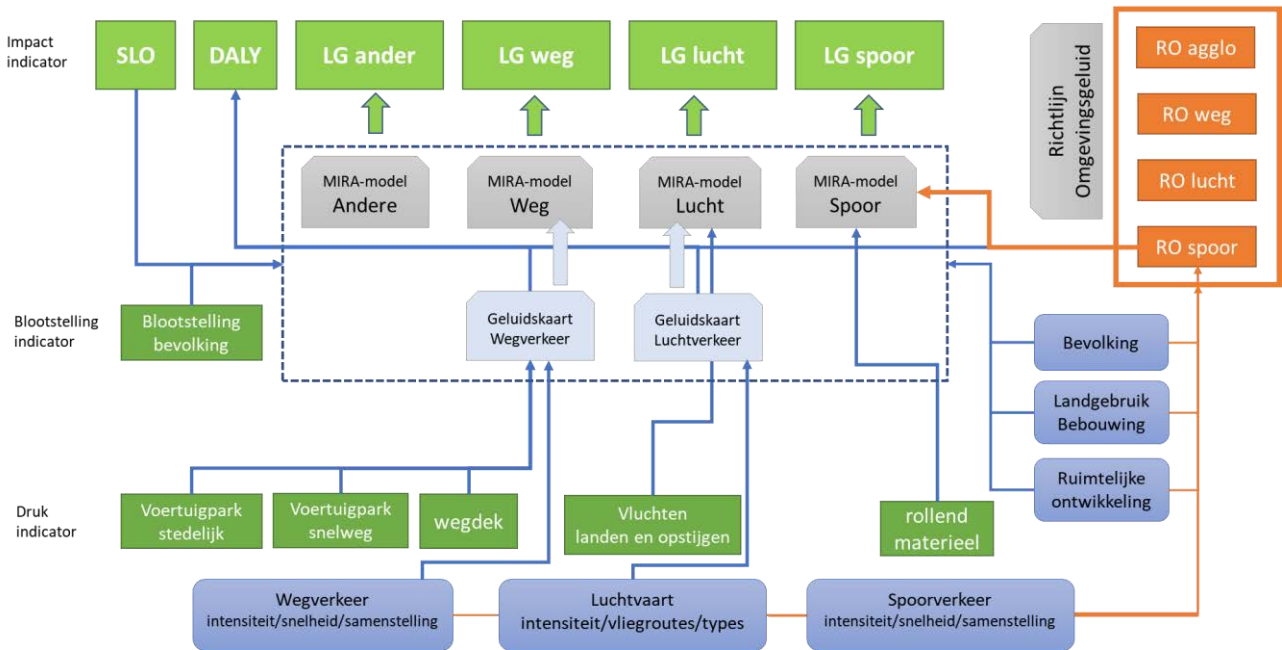
Het voorgestelde ecosysteem van indicatoren komt tegemoet aan de verzamelde vragen uit de SWOT-analyse, de brainstormsessie en de reductie van de longlist naar de shortlist. In het bijzonder, maar niet exclusief:

- a. Duidelijkheid ten opzichte van blootstellingsindicatoren die in het kader van de Richtlijn Omgevingslawaai (RO) worden gerapporteerd (zie *sectie 0*);
- b. Een vraag naar impactindicatoren: leefomgevingskwaliteit en gezondheid;
- c. Indicatoren met grotere gevoeligheid voor trends en beleidsmaatregelen die een invloed hebben op omgevingsgeluid, zoals de geluidsactieplannen, maar ook mobiliteitsplannen en ruimtelijke structuurplannen.

In onderstaande figuur wordt een overzicht gegeven van de voorgestelde indicatorset en de onderlinge verbanden tussen gegevens, rapportering in het kader van de Richtlijn Omgevingslawaai (RO), het SLO en de MIRA indicatoren. Externe gegevens zijn in het blauw aangeduid en voeden zowel de MIRA indicatoren (groen) als de indicatoren die in het kader van de RO worden berekend (oranje). De MIRA indicatoren voor de leefomgevingskwaliteit met betrekking tot geluid (LG) zijn bovenaan voorgesteld en geven het meest complete en gebiedsdekkende beeld van het thema. Deze indicatoren worden berekend aan de hand van modellen die specifiek binnen MIRA ontwikkeld worden (grijze blokjes met afgeronde hoek). Voor wegverkeer en luchtverkeer worden ze gevoed met een berekening van een gebiedsdekkende geluids-blootstellingskaart. De geluidskaarten blijven ook beschikbaar voor toepassingen buiten de MIRA indicatoren, maar ze worden niet expliciet gerapporteerd. Gemeten drukindicatoren en blootstellings-indicatoren worden in donkergroen voorgesteld. Net als de externe gegevens voeden zij eveneens de rekenmodellen.



Een slim eco-systeem van indicatoren voor een leefbaar geluidsklimaat in Vlaanderen



Figuur 1: Overzicht van de voorgestelde indicatorset omgevingslawaai.

In de huidige MIRA rapportering worden vooral blootstellingsindicatoren gebruikt, waar mogelijk gebiedsdekkend. Via de Richtlijn Omgevingslawaai worden binnen een strikt kader (vastgelegd rekenmodel, gekozen indicator L_{den} en L_{night}) vijfjaarlijks eveneens blootstellingsindicatoren berekend voor de agglomeraties, de belangrijke hoofdwegen, hoofdspoorwegen en luchthavens¹⁰. Deze informatie is niet gebiedsdekkend, omdat niet alle bronnen worden meegenomen (buiten de grote agglomeraties) en omdat niveaus onder de door de EU vastgelegde minimumdrempel (55 dB) niet in rekening worden genomen. Ook de methodologie voor de beide berekeningen is niet identiek.

In theorie is de geluidskarteringsmethode die voor de Europese Richtlijn Omgevingslawaai wordt gebruikt ook toepasbaar voor het berekenen van de gebiedsdekkende blootstellingskaarten die in MIRA worden gebruikt. In de praktijk verhindert de kostprijs van een dergelijke berekening een regelmatige update. De meerwaarde van de gebiedsdekkende kaarten wordt desondanks door de betrokkenen erkend, en wordt eveneens bevestigd door de verschillende trajecten waarbij de gebiedsdekkende geluidskaarten worden toegepast (bv. Agentschap Zorg en Gezondheid, Stedelijke indicatoren). Er werd eveneens overwogen om de beide sets gebiedsdekkende geluidskaarten te berekenen volgens het MIRA-model voor de kleinere agglomeraties en lagere orde-wegen en spoorwegen die niet onder de RO vallen en die dan samen te voegen met de RO-kaarten, maar dit bleek zeer moeilijk door verschillende rekenroosters, ondergrenzen voor berekende niveaus, enz. Bovendien zijn ook de frequenties van de herberekeningen niet compatibel (5-jaarlijks voor RO, jaarlijks voor MIRA).

¹⁰ Agglomeraties is een stedelijk gebied met meer dan 100.000 inwoners, een belangrijke weg telt meer dan 3 miljoen passages per jaar, een belangrijke spoorweg meer dan 30.000 passages per jaar en een belangrijke luchthaven meer dan 50.000 vliegbewegingen.

De communicatie van geluidsblootstellingsinformatie afkomstig van deze twee verschillende bronnen (RO en MIRA) naar de belanghebbenden kan tot verwarring leiden. Om dit te verhelpen wordt voorgesteld om de gebiedsdekkende kaarten en blootstellingscijfers die berekend worden in het MIRA proces niet te rapporteren in de vorm van blootstelling, maar te integreren in een leefomgevingskwaliteitsindicator. Hiermee wordt aan bekommernis (a) tegemoetgekomen.

Omdat nu ook gebruik gemaakt wordt van impactindicatoren, komen deze indicatoren ook tegemoet aan bekommernis (b). Dit geeft eveneens de mogelijkheid om op een meer directe manier de impactindicatoren te vergelijken en te combineren met de resultaten van de SLO-enquêtes. Aan elke Leefomgevingskwaliteit Geluids (LG) indicator wordt een rekenmodel gekoppeld dat rekening houdt met de drijvende krachten (violet in de figuur) en een aantal indicatoren die de voertuigen karakteriseren.

Om ook aan de bekommernis (c) tegemoet te komen, zijn een aantal indicatoren opgenomen die rechtstreeks gebaseerd zijn op metingen.

Wegverkeersgeluid omvat een component rolgeluid die door de combinatie van band en wegdek wordt bepaald, en een component motorgeluid die bij moderne voertuigen enkel bij heel lage snelheden en voor zwaar vervoer dominant blijft. Wat het voertuig betreft, wordt daarom een indicator voor verkeer op lokale en secundaire wegen (lage snelheid en weinig zwaar verkeer) en een indicator voor snelwegverkeer (hoge snelheid en veel zwaar verkeer) voorzien. Ook voor de toestand van het wegdek (slijtage en keuze wegdek) is een indicator toegevoegd.

Spoorverkeersgeluid wordt hoofdzakelijk bepaald door het rolgeluid (met de uitzondering van hogesnelheidstreinen waar ook aerodynamisch geluid een rol speelt), en dus door de toestand van het wiel en de rail. Omdat rails regelmatig bijgeslepen worden, concentreren we ons hier op de toestand van het rollend materieel.

Ter karakterisering van de vliegtuigvloot wordt eveneens een indicator toegevoegd die de distributie van geluidspieken door individuele vliegtuigen (landen/opstijgen) in kaart brengt.

Al deze indicatoren beschouwen voertuigen en infrastructuur in gebruik, en zijn daardoor complementair met de homologatiewaarden voor voertuigen of emissiefactoren voor nieuwe wegdekken.

Een laatste set van indicatoren meet rechtstreeks de blootstelling (*exposure monitoring*) en de impact van geluidshinder (SLO). Deze vullen enerzijds de berekende indicatoren aan voor geluidsbronnen die moeilijk in modellen te vatten zijn (recreatie, industrie ...), en laten anderzijds toe om de modellen te valideren.

In de voorgestelde indicatorset (shortlist) worden drukindicatoren (*Pressure*), blootstellingsindicatoren (*State*) en impactindicatoren (*Impact*) weerhouden. Maatschappelijke activiteiten (*Driving forces*) komen onder meer reeds in MIRA-indicatoren voor de sectoren aan bod. Responsindicatoren (*Response*) komen in de geluidsactieplannen voor wegverkeer, spoorverkeer en luchtvaart en voor de belangrijkste agglomeraties reeds voldoende aan bod.



3 Overzicht van de overgang van de huidige naar de (ver)nieuw(d)e indicatoren

De lijst met indicatoren doorheen de historiek van MIRA is vrij uitgebreid. Een beperkte set wordt geactualiseerd. Voor elk van deze indicatoren, ongeacht recente actualisaties, wordt een SWOT-analyse uitgevoerd (zie *bijlage A*). In de brainstormsessie werden ideeën en wensen verzameld bij de verschillende deelnemende actoren (zie *bijlage B*). Deze informatie werd in een longlist van te onderzoeken aanpassingen samengebracht (zie *bijlage C*). In januari 2020 werd in een kleinere werkgroep, de longlist gereduceerd tot een shortlist waarvoor een gedetailleerde analyse is uitgevoerd. Het verslag van deze bespreking, die het ecosysteem van indicatoren vorm hebben gegeven, is beschikbaar in *bijlage D*. Deze acties worden in de hierna volgende tabellen gestructureerd weergegeven. Op deze manier worden – voor alle indicatoren – de opeenvolgende beslissingen in het evaluatieproces verduidelijkt. In het project werden acties opgenomen om, indien voldoende informatie beschikbaar was, de significantie, bruikbaarheid en validiteit van de nieuwe indicatoren te verifiëren. De nieuwe indicatoren worden in de tabellen weergegeven onder de bestaande indicatoren met een korte omschrijving.



			Behouden	Wijziging	Nieuwe indicator	Sectie
Wegverkeer						
Bestaande indicator						
	Aandeel van de bevolking blootgesteld aan LAeq,dag, steekproef			wordt vervangen door	Citizen Science Monitoring	5.1
	Aandeel van de bevolking blootgesteld aan Lden, geluidskaart > 65 dB(A)	Rapportering via RO		wordt vervangen door	Impact indicator wegverkeer	6.3
	Aandeel van de bevolking blootgesteld aan LAeq, dag, geluidskaart > 65 dB(A)	Rapportering via RO		wordt vervangen door	Impact indicator wegverkeer	6.3
	Gewogen verkeersdichtheid (A, N en gemeente)			wordt niet meer gerapporteerd		
	Meetnet ANNE - typische geluidsemissie door verkeer op snelwegen			wordt opgenomen in	Druk indicator voertuigpark snelwegen	4.4
	Gemiddelde gehomologeerde geluidsemissie van nieuw verkochte wagens per brandstoftype			wordt vervangen door	Druk indicator voertuigpark steden	4.5
	Aantal kilometer geluidsschermen			wordt niet meer gerapporteerd		
Nieuwe druk indicator						
	Rolgeluidsemissie van de wegdekken in Vlaanderen.				kwaliteit van het wegdek (meerdere opties)	4.3
	Evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot op snelwegen.				voertuigvloot snelwegen en hoofdwegen	4.4
	Evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot op lokale wegen.				voertuigvloot lokale wegen	4.5
Nieuwe impact indicator						
	Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle leefomgeving voor wegverkeer woont				Leefkwaliteit op basis van niet gehinderd en niet slaapverstoorde inwoners	5.1
Vliegverkeer						
Bestaande indicator						
	Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorrleerde nachtelijke geluidsemissies per maand boven Laeq, 1sec, max>75 dB(A)			wordt vervangen door	Druk-indicator opstijgende en landende vliegtuigen	4.1
Nieuwe druk indicator						
	Gemeten evolutie van de geluidsemissie van de vliegbewegingen per luchthaven				Evolutie van de distributie van LAmx,events	4.1
Nieuwe impact indicator						
	Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle leefomgeving voor luchtverkeer woont			Nieuwe gebied dekkende indicator	Leefkwaliteit op basis van niet gehinderd en niet slaapverstoorde inwoners	6.4

Tabel 3: Overzicht van de bestaande en nieuwe indicatoren met bijhorende beslissing door het evaluatieproces (wegverkeer en luchtverkeer).



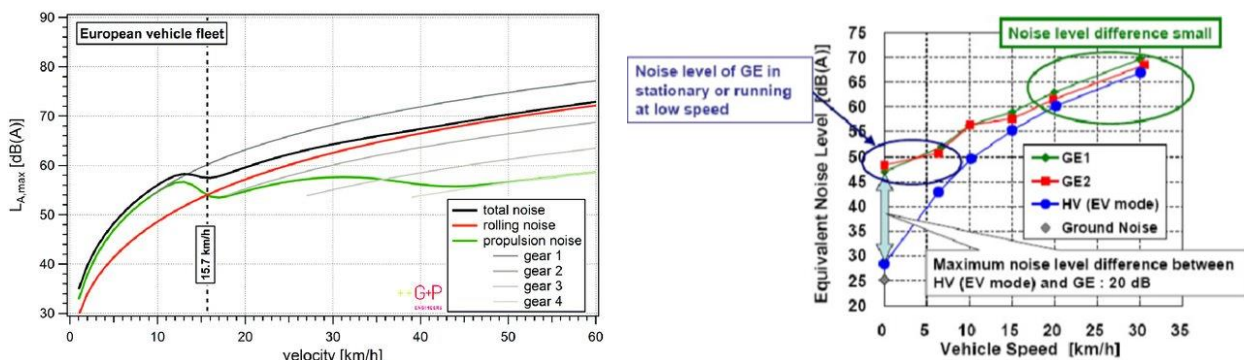
4 Drukindicatoren (P – Pressure, gemeten)

Deze sectie bundelt de drukkindicatoren waarbij de focus op metingen van de druk op het thema wordt gelegd. Een meetreeks heeft het voordeel dat ze een reële wijziging van een bepaald aspect in de geluidsproblematiek kan documenteren die onafhankelijk is van de te verwachten gemodelleerde trends op basis van een aantal aannames. Voor de verschillende geluidsbronnen kunnen geschikte meetbare indicatoren worden gedefinieerd. Deze indicatoren zijn van het type ‘Monitoring Progress Towards Sustainable development (DEI)’ (OESO-categorisering). Hun belangrijkste eigenschap is dat ze toelaten de ont koppeling tussen activiteiten – vaak economische groei – en de werkelijke geluidsemisatie van de geluidsbron te kwantificeren. Metingen capteren de werkelijkheid onafhankelijk van de restricties van modellen op basis van externe gegevens, en kunnen op die manier ook de effectiviteit en efficiëntie van de beleidsmaatregelen helpen evalueren.

4.1 Wegverkeer: wegdek

4.1.1 Rationale

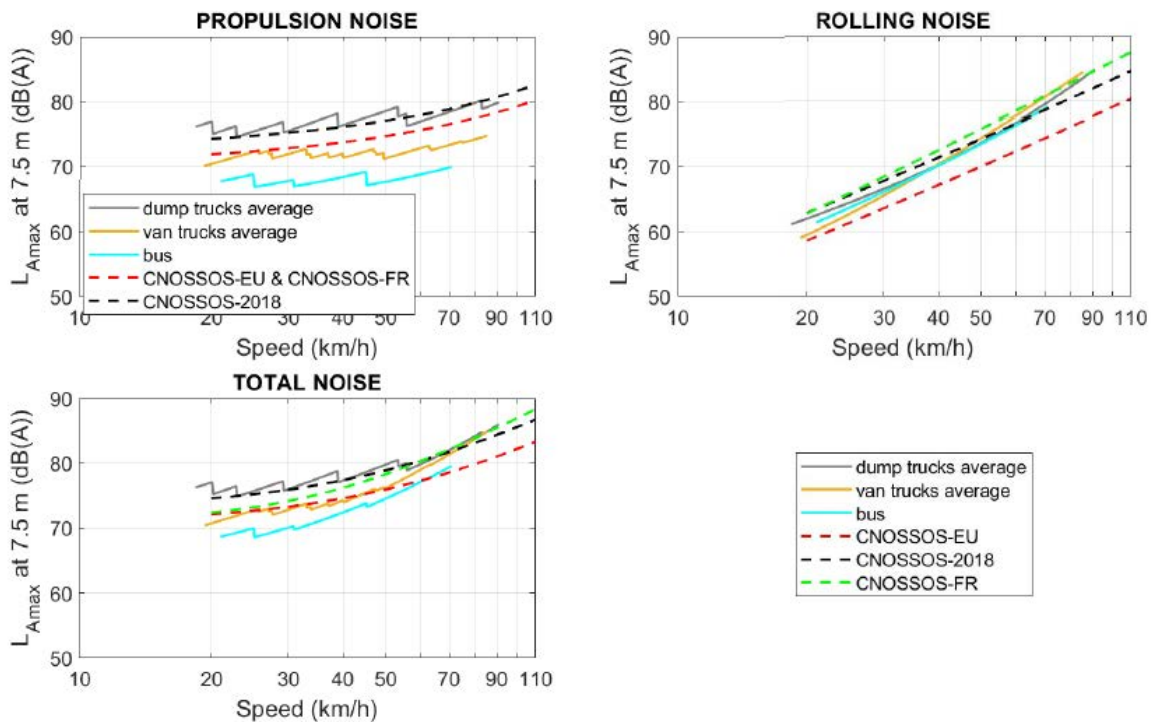
Wegverkeersgeluid wordt enerzijds veroorzaakt door de motor van de voertuigen, anderzijds door het rollen van de banden op het wegdek (rolgeluid). Doordat onder impuls van de geluidsemisatievoorwaarden van de EC en de autonome evolutie naar hybride en elektrische voertuigen (en ‘ontdieselijken’), het motorgeluid van personenwagens de laatste jaren aanzienlijk gedaald is, wordt het rolgeluid relatief steeds belangrijker (Figuur 2). In tegenstelling tot een aantal decennia geleden geldt dit nu ook voor wegen waar de toegelaten snelheid laag is. Voor (medium) zware voertuigen ligt de balans nog iets anders (Figuur 3) maar ook op de hoofdwegen waar de toegelaten snelheid 90 km/u is, levert het rolgeluid de grootste bijdrage tot de totale geluidsemisatie.



Figuur 2: Links: Samenstelling van de geluidsemisatie van personenwagens op de Europese markt in functie van de snelheid¹¹; Rechts: illustratie van de invloed van hybride voertuigen (electric vehicle mode, EV) op de geluidsemisatie in functie van de snelheid¹².

¹¹ Erik BÜHLMANN and Sebastian EGGER, Internoise 2017

¹² Ulf Sandberg, Luc Goubert and Piotr Mioduszewski, ICA 2010



Figuur 3: Motorgeluid en rolgeluid voor medium-zwaar vervoer¹³.

De interactie van de band en het wegdek is vrij complex. Zowel de constructie van de banden als de toestand van het wegdek spelen een belangrijke rol. Het positieve effect van een band mag niet simpelweg opgeteld worden bij het positieve effect van een geluidsvriendelijk wegdek. Het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) voert jaarlijks CPX-metingen uit en heeft op basis daarvan een overzicht beschikbaar gemaakt van de typische geluidsemisiefactoren voor rolgeluid op wegdekken die in Vlaanderen gangbaar zijn¹⁴. Wegdektypes worden voor de belangrijkste wegen opgeslagen in een wegdekkendatabank¹⁵. Op basis van deze informatie kunnen geluidskarten desgewenst verfijnd worden.

Wegdekken – en in het bijzonder poreuze wegdekken – zijn echter ook onderhevig aan veroudering en slijtage. In een rapport van 2014 van een studie uitgevoerd binnen het QUESTIM- programma van CEDR wordt een overzicht gegeven van gemeten toenames van rolgeluid in verschillende Europese landen (Figuur 4). Het rapport besluit dat er een grote verscheidenheid is in veroudering en dat deze bepaald wordt door het type oppervlak, klimaat en weer, gebruik van de weg, enz. Het is niet ongebruikelijk om binnen eenzelfde conditie een variatie met een factor 2 te vinden in de mate van veroudering per jaar. Technisch zijn er verschillende redenen voor de toename van de geluidsemissie: opvullen van de holtes in poreuze wegdekken door vuil¹⁶, en het verlies aan steentjes en ontstaan van barstjes en uiteindelijk putten bij alle wegdekken zijn de belangrijkste factoren.

¹³ Pallas, M. A., & Le Bellec, A. (2019, September). Determination of a noise emission model for French medium-heavy vehicles. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 259, No. 5, pp. 4079-4090). Institute of Noise Control Engineering.

¹⁴ <https://wegenverkeer.be/geluidsbepalingen-aan-de-bron>

¹⁵ De wegdekkendatabank omvat enkel de gewestwegen en is niet altijd up-to-date zodat volgens AWV toch best de voorkeur gegeven wordt aan rechtstreeks gebruiken van de CPX-metingen.

¹⁶ Dit is de belangrijkste reden waarom AWV geen poreus asphalt meer gebruikt op de hoofdwegen.



Onderstaande indicator wordt voorgesteld om zowel de keuze van het wegdek als de onderhoudstoestand ervan in kaart te brengen. Op deze manier kan deze oorzaak van ont koppeling tussen toenemende verkeersintensiteit en geluidsemissie opgevolgd worden.

Surface type	source	Slope [dB/yr]	
		LV's	HV's
1L-PAC 0/16	NL	0,62	0,20
	ES	0,30	
1L-PAC 0/8-0/11	D	0,31	0,06
	F	0,41 / 0,19	0,00
	DK	0,65	0,09
1L-PAC 0/6	F	0,14	[0,00]
2L-PAC 0/8	NL	0,38	0,36
	ES	0,52	
TSL 0/6 semi open	NL	0,33	0,41
	F	0,60/ 0,67	-
SMA 0/14	UK	0,48	0,33
SMA 0/8 - 0/11	UK	0,58	0,35
	DK	0,35	0,10
	NL	< 0,1	
SMA 0/6	UK	0,60	0,29
	DK	0,48	0,18
HRA 0/20	UK	0,25	0,12
Exposed concrete	UK	0,22	0,09
2L-PC (porous concrete)	NL	0,16	0,12
DAC 0/8-0/11	DK	0,53	0,04
	F	0,12	0,00
DAC 0/16	NL	0,10	0,05
	F	0,11	0,04

Figuur 4: Overzicht van de toename van de rolgeluidsemissie per jaar voor lichte voertuigen (LV) en zware voertuigen (HV)¹⁷.

De indicator kan gebaseerd worden op de CPX-metingen die jaarlijks door AWW worden uitgevoerd. CPX-metingen zijn gestandaardiseerd¹⁸ en daardoor heel reproduceerbaar. Bovendien worden de metingen nu reeds jaarlijks uitgevoerd, zodat de bijkomende kost voor het afleiden van de indicator beperkt is. Er zijn echter ook enkele nadelen: (1) er wordt enkel op het rechter rijvak van de A- en R-hoofdwegen gemeten, en gemeentewegen worden niet meegenomen (4.1.2); en (2) er werden enkele kritieken geformuleerd met betrekking tot de representativiteit van de gebruikte band¹⁹ en de extrapolatie naar andere snelheden dan de referentiesnelheid van 80 km/u²⁰. Omdat als indicator voor een index ten opzichte van een referentiejaar gekozen wordt, is nadeel (2) hier minder belangrijk.

In de periode 2017-2019 werd het ICON- project MobiSense (grant No. HBC.2017.0155), met steun van IMEC en Flanders Innovation & Entrepreneurship (VLAIO) uitgevoerd. Hierbij wordt de invloed van het wegdek op de rolgeluidsemissie bepaald aan de hand van metingen in voertuigen die rondrijden om een andere reden dan het meten van geluid. Hierdoor wordt een veel grotere dekkingsgraad bekomen. Enkel op wegen waar te weinig verkeer is, worden resultaten niet frequent up-to-date gebracht. Metingen gebeuren bij de typische rijnsnelheid op de betreffende wegsegmenten, wat een van de bekommernissen met betrekking tot de validiteit van CPX-metingen wegneemt. De methode is niet gestandaardiseerd, maar

¹⁷ <https://www.cedr.eu/wpfb-file/cedr-questim-wp2-d2-2-report-on-acoustic-aging-final-pdf/>

¹⁸ ISO 11819-2:2017 Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2: The close-proximity method

¹⁹ Licitra, G., Teti, L., Cerchiai, M., & Bianco, F. (2017). The influence of tyres on the use of the CPX-method for evaluating the effectiveness of a noise mitigation action based on low-noise road surfaces. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55, 217-226.

²⁰ Skov, R. S. H. (2016, August). Analysis and comparison of methods, CPX and SPB, for measuring noise properties of road surfaces. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 253, No. 6, pp. 1998-2008). Institute of Noise Control Engineering.



ook hier zorgt het gebruik van een index ervoor dat een offset in de metingen minder belangrijk is dan de trend. Deze innovatieve aanpak wordt nu verder uitgerold.

Grootschalige vergelijking met CPX metingen op het detail van de wegsegmenten is nog niet gepubliceerd, maar de vergelijking van Figuur 5 en Figuur 6 geeft wel een eerste beeld van de vergelijkbaarheid van de resultaten (voor bespreking zie 4.1.2). Het grootste nadeel is, dat deze metingen niet worden uitgevoerd, en er dus een bijkomende kost nodig is om deze indicator te realiseren²¹.

De voorgestelde index moet toelaten om de trend in de rolgeluidsemissie ten gevolge van de toestand van het wegdek in kaart te brengen. Daartoe zijn nog twee bijkomende stappen nodig: (1) het samenvoegen van het spectrum tot een eengetalswaarde – het geluidslabel van de weg; en (2) het aggregeren van de informatie op alle wegen tot enkele getallen.

- 1 De eengetalswaarde moet relevant zijn voor de geluidsimmissie in de buurt. Geavanceerde methodes proberen de wegdekken te classificeren met het oog op een verbetering van impact²². De A-gewogen geluidsemissie nabij de band geeft een goede indicatie voor immissie in de directe omgeving van de weg, omdat er kan van uitgegaan worden dat de geluidsverzwakking op die afstand onafhankelijk is van de frequentie. Op grotere afstand en binnenshuis zal het laagfrequente deel van het verkeersgeluid relatief sterker doorwegen in het waargenomen A-gewogen geluidsdrukkniveau. Daarom zou men ook kunnen argumenteren om de index ten opzichte van het referentiejaar voor elke octaafband afzonderlijk te berekenen om dan een gemiddelde van de afwijkingen te bepalen binnen een bepaald frequentiebereik. Het gestandaardiseerd wegverkeersgeluidsspectrum dat bij meting van geluidsisolatie gebruikt wordt²³ heeft een 5 dB bandbreedte van 400 tot 2500 Hz wat als leidraad gebruikt kan worden bij de keuze van het frequentieinterval. Deze laatste aanpak geeft een grotere spreiding tussen de wegen (zie sectie 4.1.2).
- 2 Voor elk wegsegment dat bemeten wordt door de gekozen methode bekomt men een eengetalswaarde voor de afwijking van de rolgeluidsemissie ten opzichte van de gemiddelde waarde in het referentiejaar. Om al deze informatie in een indicator samen te vatten wordt een statistische analyse over alle wegdekken uitgevoerd. De 10-percentiel waarde geeft dan een evolutie van de ‘luidruchtigste wegdekken’, de 90-percentiel waarde een evolutie van de ‘stilste wegdekken’.

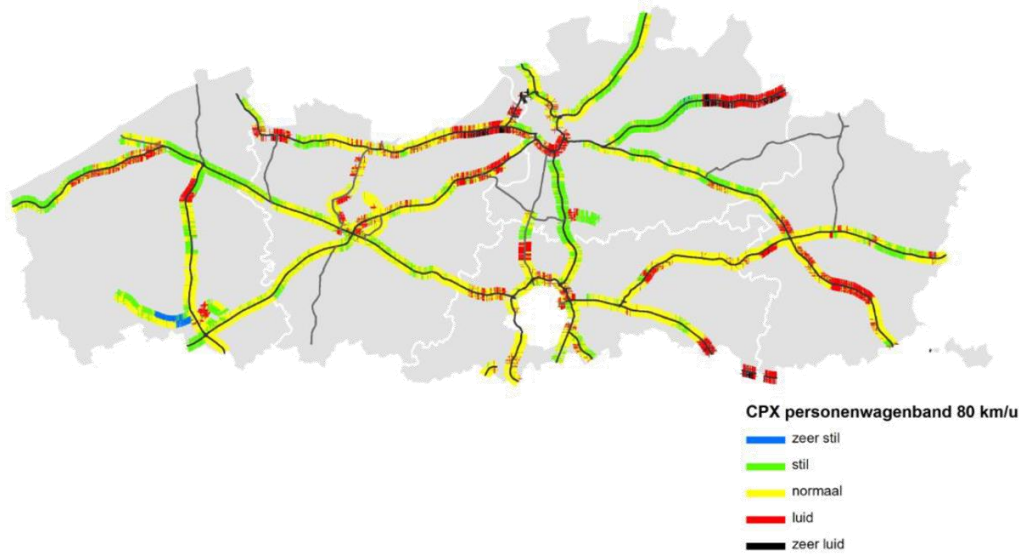
4.1.2 Voorbeeld van uitwerking

Ter illustratie van de dekkingsgraad van de metingen wordt in Figuur 5 de rolgeluidskaart op basis van CPX-metingen getoond. Figuur 6 toont de resultaten bekomen in het Mobisense project, tot en met de secundaire wegen. De projectpartners waren in Gent, Brugge, en Antwerpen gelokaliseerd wat de focus op enkele provincies verklaart. Uitbreiding van het aantal voertuigen kan een volledige dekking van Vlaanderen opleveren.

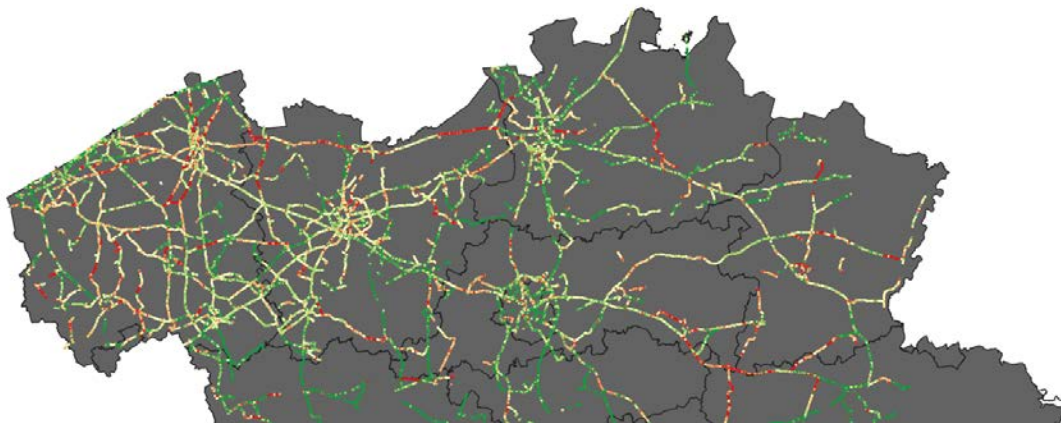
²¹ De Mobisense aanpak wordt gecommmercialiseerd door ASAsense (www.asasense.com). (www.asasense.com).

²² Paulo, J. P., Coelho, J. B., & Figueiredo, M. A. (2010). Statistical classification of road pavements using near field vehicle rolling noise measurements. The Journal of the Acoustical Society of America, 128(4), 1747-1754.

²³ EN 1793-3



Figuur 5: Rolgeluidkaart (A en R wegen) op basis van CPX-metingen (bron: Geluidsactieplan voor de belangrijkste wegen).

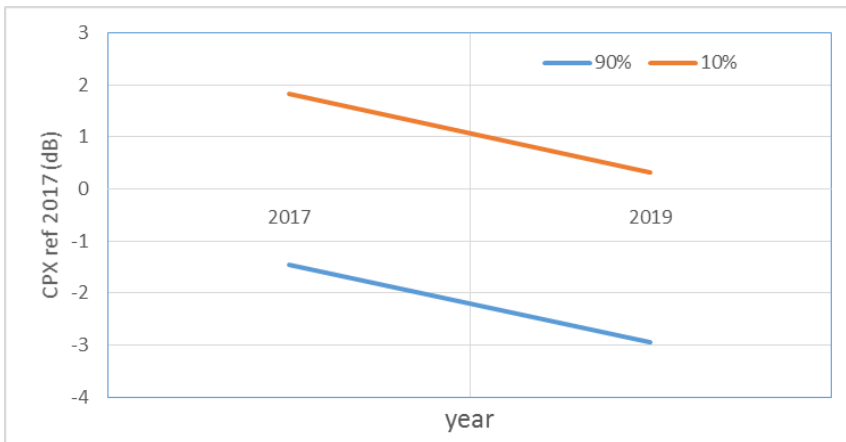


Figuur 6: Rolgeluidkaart tot en met secundaire wegen op basis van Mobisense (2019, testfase met een 10-tal voertuigen).

Ter illustratie werd de indicator – versie op basis van CPX-metingen van het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (dMOW) – berekend voor 2017 en 2019, en weergegeven als index ten opzichte van het jaar 2017 in Figuur 7. Het verschil tussen de percentielwaarden blijft vrij gelijkaardig, maar er is een belangrijke trend in het gemiddelde. Voor een deel is dit te verklaren door het gevoerde beleid, maar voor een deel ook door de onzekerheid op de CPX metingen²⁴. Een correctie die op de CPX-metingen toegepast wordt compenseert voor het harder worden van de band over de tijd. Deze zou de onverwachte trend deels kunnen verklaren (spreiding op de band na correctie wordt ingeschat op 0,3 dB²⁴). Bij de rapportering van de indicator door MIRA is een bespreking van dit soort mogelijke verklaringen voor vastgestelde trends uiteraard noodzakelijk.

²⁴ Van Blokland, G. (2016, August). Uncertainty in the CPX-method (ISO 11819-2/3) and its implications for pavement evaluation. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 253, No. 5, pp. 2998-3007). Institute of Noise Control Engineering.



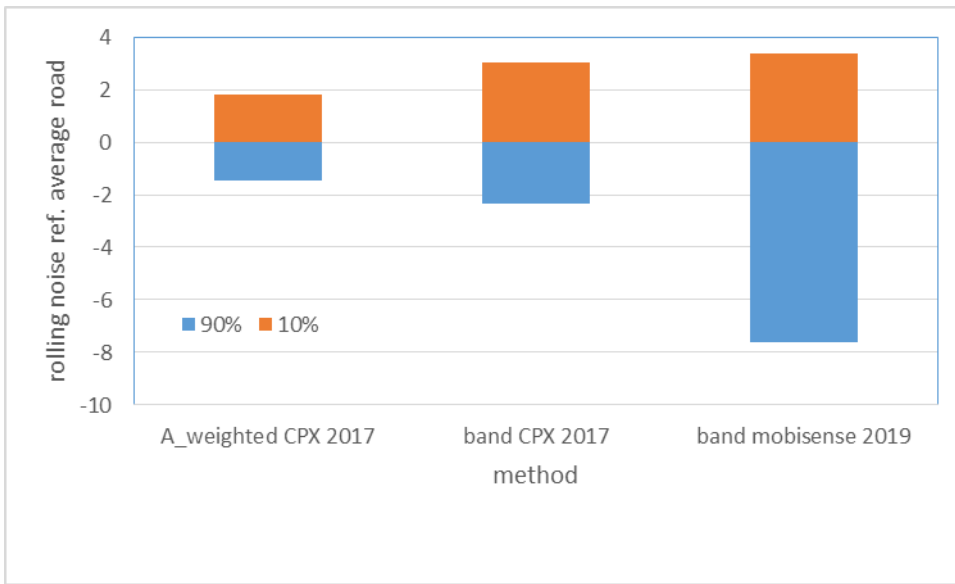


Figuur 7: Voorbeeld van de indicator voor 2017 en 2019 op basis van de CPX-metingen met als referentie de gemiddelde CPX-meting in 2017.

Om de verschillende opties voor het bepalen van de indicator te illustreren tonen we in Figuur 8 de indicatorwaarde (10 % luidste wegdekken en 10 % stilste wegdekken) voor verschillende berekeningsmethodes.

Wanneer de indicator beperkt wordt tot de hoofdwegen die door CPX bemeten zijn, en de indicator wordt gebaseerd op een globaal A-gewogen niveau voor de referentieband, dan is het verschil tussen de percentielwaarden eerder beperkt. Wordt de indicator berekend per frequentieband gevolgd door een uitmiddeling over de frequenties tussen 400 en 2000 Hz, dan wordt het verschil tussen de percentielwaarden groter als gevolg van de grotere spreiding in de CPX-data bij lage frequenties. Wanneer tenslotte gebruik gemaakt wordt van de opportunistische meetmethode, Mobisense, die meer gebiedsdekkend is, dan wordt het verschil tussen de percentielwaarden nog groter. De lagere waarden die bij deze laatste variant van de indicator te zien zijn, kunnen niet vergeleken worden met de indicatoren gebaseerd op CPX, omdat de referentietoestand – de gemiddelde emissie in 2017 – ook verschilt. Wanneer ook de gemeentewegen meegenomen worden dan verhoogt het verschil tussen stilste en luidste wegdekken tot 10 dB, ondanks de correctie voor de rijsnelheid. Dit is niet onverwacht omdat men op gemeentewegen regelmatig klinkers en kasseien in de dorpskern of op verkeersplateaus gebruikt en deze geven (na snelheidscorrectie) een hogere rolgeluidsemissie. Bij de rapportering van deze indicator in MIRA zullen spatiale analyses toelaten om de trends te bespreken en te analyseren.





Figuur 8: Vergelijking van verschillende methodes voor het bepalen van de index: A-gewogen emissie op basis van CPX op de primaire wegen; gemiddelde over afwijking per band op basis van CPX op de primaire wegen; gemiddelde over afwijkingen per band op basis van opportunistische aanpak Mobisense voor alle wegen t.e.m. secundaire wegen.



4.1.3 Indicatorfiche

Methodefiche indicator	
Naam	Rolgeluidsemissie van de wegdekken in Vlaanderen
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	Percentielwaarden over alle wegen van het vlak bij de band gemeten rolgeluid op belangrijkste wegen in Vlaanderen.
Eenheid	Decibel ten opzichte van een zichtjaar
Dekking	Secundaire en belangrijker wegen indien gebaseerd op Mobisense, rechter rijvak van A&R wegen indien gebaseerd op CPX.
Sector	Wegverkeer
Basisjaar	2019 (te bepalen)
Frequentie	Jaarlijks
Beschikbaarheid	
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
<p>De indicator is gebaseerd op:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metingen van het rolgeluid in een beperkt wagenpark dat om andere redenen op de Vlaamse wegen rijdt (of CPX-metingen op de hoofdwegen bij ontstentenis hiervan). • Samenvatting van de spectrale metingen tot een relevante eengetalswaarde. • Statistische verwerking van de index ten opzichte van een zichtjaar over alle gemeten wegen. • Een correctie voor wegsegmenten die tijdens een bepaald jaar niet zouden bemeten zijn (vooral belangrijk bij het gebruik van CPX-data). 	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
Wegdekkeuze en onderhoud vallen onder bevoegdheid van de regionale en lokale overheid in tegenstelling tot homologatiewaarden van de voertuigen. De gemeten indicator wordt verwacht gevoelig te zijn aan dit regionale en lokale beleid.	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
<p>De beste dekkingsgraad – inclusief belangrijkste gemeentewegen – wordt bekomen door een opportunistische meetmethode, zoals deze voorgesteld in Mobisense.</p> <p>Omdat het continu verder verzamelen van deze data een kostenplaatje heeft en de CPX-data op het eerste rijvak van gewestwegen door dMOW gratis ter beschikking wordt gesteld, kan ook voor dit alternatief geopteerd worden.</p> <p>Het blijft aangeraden om beide methoden een tijd naast elkaar te laten lopen om zo een duidelijk beeld te krijgen van de vergelijkbaarheid van de twee varianten van de indicator.</p>	
Internationale vergelijkbaarheid	
Op Europees vlak wordt gewerkt aan een label voor wegdekkwaliteit. Stroomlijnen van de indicator met bijvoorbeeld de verwerking tot eengetalswaarde die daar voorgesteld zal worden, is aan te raden.	

4.2 Wegverkeer: voertuigenpark snelweg

4.2.1 Rationale

Strategische geluidsbelastingkaarten die geproduceerd worden in de context van de Europese Richtlijn Omgevingslawaai houden rekening met de verkeersintensiteit, CPX-metingen voor de A- en R-wegen en met mogelijke (beleids)maatregelen zoals geluidsschermen, maar veronderstellen dat de geluidsemisatie van de voertuigen, inclusief de invloed van banden op het rolgeluid, niet wijzigen over doorheen de tijd. Nochtans zijn er belangrijke trends te verwachten die het gevolg zijn van een steeds stringenter EU-reglementering voor de geluidsemisatie bij het in bedrijf stellen van voertuigen^{25, 26} en de strenger wordende bandenrichtlijnen²⁷. In welke mate die reglementering ook voor voertuigen in bedrijf het verwachte effect op de gemiddelde geluidsemisatie heeft, blijft deels een open vraag. Verschillen tussen de homologatiewaarde en de gemiddelde geluidsemisatie in bedrijf zouden het gevolg kunnen zijn van:

- Het niet aangepast zijn van de homologatietesten aan de werkelijke rijdsituatie.
- De afhankelijkheid van type voertuig en vermogen samen met een verandering van de compositie van de vloot.
- De afhankelijkheid van de bandennorm van de breedte van de band samen met een verandering van de gemiddelde bandenbreedte in de vloot, enz.

Daarom is een indicator die de werkelijke emissie van de voertuigen op de Vlaamse wegen in kaart brengt een zinvolle indicator.

De EU-lidstaten hebben geen rechtstreekse invloed op de homologatiewaarden van voertuigen. In dat opzicht is een indicator voor de typische emissie van wegverkeer op autosnelwegen niet geschikt voor het monitoren van het lokaal gevoerde beleid. Nochtans zijn er ook onrechtstreekse invloeden van dit lokaal gevoerde beleid die de geluidsemisatie kunnen beïnvloeden: verrekenen van externe kost, stimuleren van lichtere personenwagens – die vaak ook smallere banden hebben – rekeningrijden, enz.

Bij het opstellen van het in dit rapport voorgestelde ecosysteem van indicatoren maken we een onderscheid tussen verkeer op snelwegen en ander wegverkeer – om de volgende redenen:

- 1 Door de hogere snelheid is rolgeluid de belangrijkste bijdrage tot de globale emissie op snelwegen, alhoewel bij vrachtwagens ook het motorgeluid nog enige bijdrage levert.
- 2 De samenstelling van het wagenpark, in het bijzonder zware vracht, is sterk verschillend op de snelwegen en de lagere-ordewegen.
- 3 Geluid van snelwegverkeer is continu van aard, zeker op de afstand waar woningen zich bevinden. De impact op de omwonenden is minder bepaald door individuele pieken, en dus moeten die in de indicator niet noodzakelijk gecatalogeerd worden.

Reeds in de vorige eeuw had Vlaanderen het visionaire idee om een aantal permanente meetposten te plaatsen op kritische punten. Het meetpunt Wetteren van dit meetnet werd in het verleden reeds gebruikt in de MIRA indicatorset om de typische emissie van geluid op snelwegen te monitoren (zie voorbeelden).

²⁵ Directive 70/157/EEC and refinemenst such as Directive 96/20/EC, with limits ranging from 74 dB(A) to 80 dB(A) depending on the motorvehicle.

²⁶ Miloradović, D., Glišović, J., & Lukić, J. REGULATIONS ON ROAD VEHICLE NOISE–TRENDS AND FUTURE ACTIVITIES. International Journal" Mobility and Vehicle Mechanics, 43, 59-72.

²⁷ Regulation (EC) No 661/2009



Deze indicator werd uiteindelijk verlaten omwille van (1) de sterke invloed van de lokale wegdekkwaliteit, die trends in voertuigtechnologie maskeert en (2) besparing op het budget van MIRA voor analyse van de metingen. Door combinatie van immissiemetingen in de buurt van de snelweg (bv. meetpunt Wetteren) met monitoring van het wegdek (zie sectie 1) kan in de toekomst tegemoetgekomen worden aan de eerste bekommernis: de invloed van de lokale wegdekkwaliteit kan geëlimineerd worden.

Zoals reeds vermeld in sectie 4.1, is er echter ook bij de productie van rolgeluid een niet-additieve interactie tussen het type wegdek en de band. Daarnaast kan er ook een verschil zijn in de types van personenwagens en vrachtwagens die op de verschillende snelwegen rijden. Op de E17 Antwerpen-Gent-Kortrijk is het aantal vrachtwagens bijvoorbeeld heel hoog²⁸, en vele van deze vrachtwagens vallen onder internationaal transport. Om al deze redenen is het nuttig om het aantal meetposten langs snelwegen te verhogen.

Bij de verwerking van de geluidsimmissie tot een indicator voor typische emissie moeten een aantal keuzes gemaakt worden:

- 1 Rolgeluid wordt beïnvloed door de temperatuur van het wegdek, in het bijzonder bij asfalt wegdekken²⁹. Deze invloed heeft twee componenten, een dag- en jaarpatroon en een klimatologische factor. Er kan voor gekozen worden om een of beide weg te kalibreren uit de meting. Hier opteren we voor het verwijderen van het dag- en jaarpatroon – omdat de invloed van ontbrekende data tijdens bepaalde maanden het jaargemiddelde anders drastisch verstoort – maar het behouden van de klimatologische trend.
- 2 De invloed van het wegdek en het onderhoud ervan wordt verwijderd door gebruik te maken van de indicator besproken in sectie 4.1. De correctie wordt frequentieafhankelijk uitgevoerd. De indicator terugrekenen voor het verleden wordt hierdoor echter onmogelijk, omdat de wegdekmetingen slechts enkele jaren in het verleden teruggaan. De reden om deze correctie door te voeren, is dat de indicator dan minder afhankelijk wordt van de plaats van het meetpunt, en daardoor meer representatief wordt voor het volledige snelwegennetwerk (zie ook de voorbeelden in sectie 4.2.2).
- 3 De rolgeluidsemissie is afhankelijk van de snelheid. Typisch wordt een logaritmische afhankelijkheid verondersteld. De coëfficiënt hiervan is afhankelijk van het type wegdek en de frequentie. Vaak wordt de frequentieafhankelijkheid verwaarloosd, en gebruikt men een zelfde correctieterm b^{30} voor alle frequentiebanden. De toegelaten snelheid is op de meeste snelwegen dezelfde, maar door het verschil in saturatie van de weg zal op sommige plaatsen meer vertraagd verkeer optreden. Om een indicator te bekomen die minder afhankelijk is van de meetlocatie is een correctie voor de snelheid dan ook noodzakelijk.
- 4 Uiteraard is de geluidsemissie en dus ook de immissie in de buurt van de snelweg ook afhankelijk van het aantal voertuigen. Het equivalent geluidsdrukniveau neemt theoretisch toe met het aantal voertuigen, N , als $\log(N)$, maar omwille van de interactie van de verkeersintensiteit met de snelheid wordt deze afhankelijkheid ingewikkelder. Als men er kan van uitgaan dat de capaciteit van de weg dezelfde blijft, dan kan dit opgelost worden door een meer complexe afhankelijkheid van de verkeersintensiteit toe te laten.
- 5 De samenstelling van het wagenpark, in het bijzonder het percentage zwaar verkeer, hangt eveneens sterk af van de keuze van het meetpunt. Er is bovendien een interactie met de snelheid.

²⁸ Verkeersindicatoren snelwegen 2016, verkeerscentrum

²⁹ CNOSSOS-EU model suggereerd “0.08 dB/°C for light vehicles (category 1) and 0.04 dB/°C for heavy vehicles (categories 2 and 3)”

³⁰ <https://wegenenverkeer.be/geluidsbepalingen-aan-de-bron>

Omdat het percentage vrachtverkeer over het etmaal en over de verschillende dagen van de week varieert, is het mogelijk om de typische emissie van vrachtverkeer op de snelwegen af te splitsen van de typische emissie van personenwagens door de geluidsmetingen te combineren met een accurate verkeersstelling ter plaatse van de meting. Dergelijke gedetailleerde metingen zijn beschikbaar ter hoogte van elke op- en afrit.

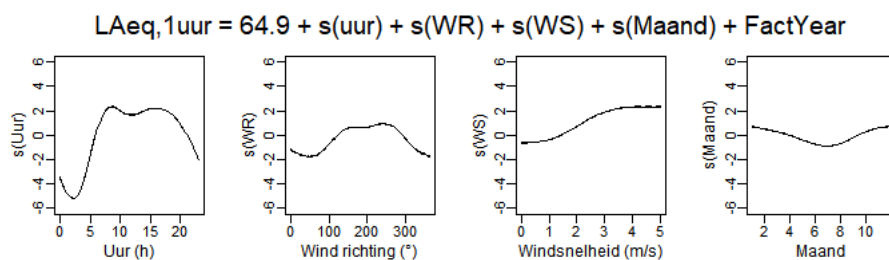
- 6 Tot slot hebben wind- en temperatuurs-gradiënten een invloed op de meting op een afstand van de weg. Wanneer het meetpunt zich op een voldoende korte afstand van de weg en op voldoende hoogte bevindt, is deze invloed zeer klein. Omdat de te verwachten trends in de indicator echter klein zijn, kan het toch noodzakelijk zijn om hiermee rekening te houden.

Om alle genoemde effecten te verwijderen uit de metingen kan geen gebruik gemaakt worden van bestaande theoretische of semi-empirische modellen. Daarom wordt via machinaal leren een datagedreven model opgesteld dat alle vermelde onafhankelijke observaties meeneemt als mogelijke voorspellende factoren. De overblijvende variatie van jaar tot jaar geeft de gezochte indicator.

4.2.2 Voorbeeld van uitwerking

Via het Departement Omgeving (dOMG) is voor het meetpunt Wetteren een meetreeks van $L_{Aeq,1uur}$ en de bijhorende statistische geluidsniveaus LA_{10} , LA_{50} , LA_{95} beschikbaar. De laatste analyse hiervan in het kader van de MIRA rapportering is uitgevoerd in 2006. Windsnelheid en windrichting zijn beschikbaar op de site. Verkeersgegevens en omgevingstemperatuur kunnen vanuit Agentschap Wegen en Verkeer aangeleverd worden, maar in dit voorbeeld werd dit niet gedaan.

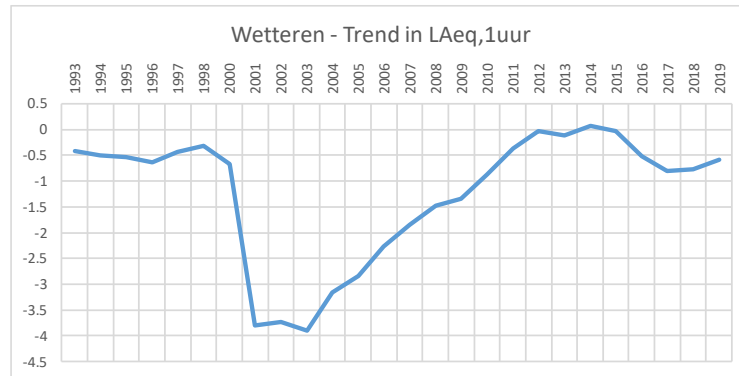
De meetreeks tot 2019 wordt hier als voorbeeld gepresenteerd. De analyse gebeurt met een ‘Generalized Additive Model’ model (GAM), een techniek die niet-lineaire modellen mogelijk maakt³¹. Aangezien we geïnteresseerd zijn in de wijzigingen in de tijd wordt het jaar van de meting als factor in het model toegevoegd. Dit betekent dat voor elk jaar een correctiefactor wordt berekend bovenop de variaties die verklaard worden door de andere (continue) variabelen: het uur van de dag, de windrichting, de windsnelheid en de maand van het jaar. In Figuur 9 wordt de impact van de continue variabelen getoond.



Figuur 9: GAM-model Wetteren 1993-2019, splines voor de continue variabelen.

³¹ Wood, Simon N. Generalized additive models: an introduction with R. CRC press, 2017.

Er is een duidelijk dagpatroon. De invloed van de windrichting toont een effect van ongeveer 3 dB voor belastende en niet-belastende wind (meest belastende windrichting is 270°). De windsnelheid heeft eveneens een invloed (max 3 dB). De trend doorheen de maanden van het jaar is een indicatie van het effect van de temperatuur van het wegdek. In Figuur 10 wordt de tijdsreeks van de factor 'jaar' weergegeven.



Figuur 10: Tijdsverloop van de jaarlijkse offset ten opzichte van de referentie in het model (64.9 dB).

In 1999 is geen data beschikbaar en werd in de richting Brussel het wegdek vervangen door een Zeer Open Asphalt (ZOA). In 2001 werd in de richting Oostende ZOA aangelegd en zakt de immissie in het meetpunt met ongeveer 3.5 dB. Het effect van de ZOA blijft twee jaar stabiel, en stijgt daarna gestaag, en bereikt in 2010 opnieuw het geluidsniveau van voor de aanleg van het fluisterasfalt (ZOA). In 2015 en 2016 werd het wegdek vervangen door Split Mastiek Asphalt-C (SMA-C) wat opnieuw resulteert in een (beperkte) daling van de geluidsemisatie.

Om de uiteindelijke indicator te bekomen moet dit model uitgebreid worden met temperatuur en verkeersgegevens. Op de snelwegen liggen, voor en na elke op- en afrit, tellussen. Het aantal passagiersvoertuigen, vrachtwagens en snelheid is beschikbaar per rijstrook. Daarnaast kan de lokale waarde van de wegdekindicator toegevoegd worden om de invloed van verandering van wegdek en veroudering te elimineren.

Ondanks de voorgestelde modelmatige correctie blijft de indicator gevoelig voor vlootsamenstelling en wegdek. Daarom wordt aangeraden om het aantal meetpunten op te drijven zodat langs elke belangrijke snelweg een meetpunt te vinden is. Een totaal van vijf meetpunten zou hiervoor moeten volstaan.



4.2.3 Indicatorfiche

Methodefiche indicator	
Naam	Evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot op snelwegen
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	Geluidsemissie van de gemiddelde voertuigen op snelwegen en primaire wegen bepaald op basis van metingen nabij een representatieve set van deze wegen. Geluidsoverdracht en lokale situatie: snelheid, verkeersintensiteit, wegdek worden uit de metingen geëlimineerd om de indicator maximaal representatief te maken voor alle snelwegen en primaire wegen.
Eenheid	Relatieve reductie in dB
Dekking	Emissie van de voertuigvloot op snelwegen en primaire wegen
Sector	Wegverkeer
Basisjaar	2014 (voorlopige keuze)
Frequentie	Jaarlijks
Beschikbaarheid	Jaarlijks
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
<p>De indicator is gebaseerd op metingen langs snelwegen. Er wordt gecorrigeerd voor meteorologische effecten (windrichting, windsnelheid, temperatuur), dagpatronen, wijzigingen aan het wegdek, snelheid en verkeersvolume. De correctie gebeurt met een model dat op basis van machinaal leren de verwachte trends afleidt uit de lokale gegevens (metingen enerzijds en onafhankelijke factoren anderzijds).</p> <p>De resulterende trend van jaar tot jaar is de indicator.</p>	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
<p>Deze drukindicator is gevoelig voor trends in de geluidsemissie van wegverkeer op snelwegen die niet door standaard rekenmodellen worden meegenomen. De indicator is relevant voor het monitoren van het effect van verstrengen van de homologatiewaarden voor motor- en banden-geluid, maar ook voor het regionale beleid rond mobiliteit en voertuigkeuze.</p>	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
<p>De huidige meetreeks is gebaseerd op meetapparatuur van de hoogste kwaliteit zodat de absolute trend betrouwbaar is. Anderzijds is in de huidige toestand slechts één meetpunt beschikbaar zodat een aantal effecten (bv. wegdek, vlootsamenstelling) niet eenduidig kunnen worden geëlimineerd. Indien vergelijkbare meetreeksen kunnen opgebouwd langs andere snelwegen zal de kwaliteit van de indicator stijgen. Andere analysetechnieken die gevoeliger zijn aan interacties tussen de variabelen kunnen de kwaliteit van de indicator vergroten.</p>	
Internationale vergelijkbaarheid	
Deze indicator wordt voorsnog niet internationaal verzameld.	

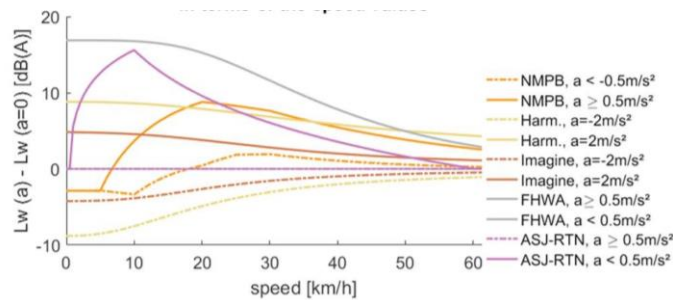


4.3 Wegverkeer: voertuigenpark verkeer op lokale en secundaire wegen

4.3.1 Rationale

Op lokale en secundaire wegen primeert de verkeersveiligheid en verkeersleefbaarheid op de verbinding-functie³². De toegelaten snelheid zal er dan ook typisch 70 km/u of lager zijn. Geluid van wegverkeer op lokale en secundaire wegen heeft een aantal typische kenmerken:

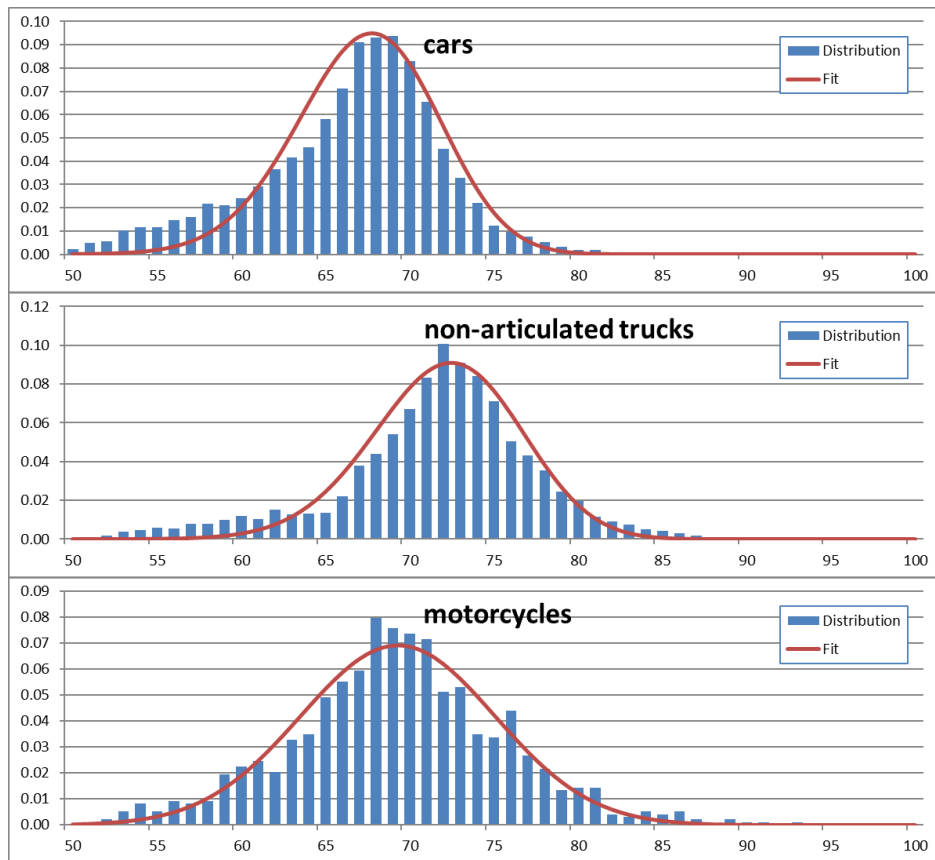
- 1 Ondanks het afnemend belang van motorgeluid in het algemeen zal bij versnellen toch nog een duidelijke motorgeluid component optreden die voor een significante verhoging van de geluidsemissie kan zorgen (Figuur 11), zeker bij zwaardere voertuigen zoals bussen en vrachtwagens.
- 2 De variatie tussen geluidsemissies van individuele voertuigen is vrij groot (Figuur 12) en het zijn vaak pieken die door de bewoners opgemerkt worden en als hinderend worden omschreven. Ook tijdens de nacht zullen de luidste voertuigen disproportioneel meer bijdragen tot de slaapverstoring.



Figuur 11: Invloed van het versnellen van voertuigen bij lage snelheid op de geluidsemissie volgens verschillende modellen³³.

³² Ruimtelijk Stuctuurplan Vlaanderen (p. 493-494)

³³ Can, A., & Aumond, P. (2018). Estimation of road traffic noise emissions: The influence of speed and acceleration. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 155-171.



Figuur 12: Distributie van de maximale geluidsniveaus van voorbijrijdende voertuigen (statistical pass-by) langs een doorgangsweg per voertuigcategorie³⁴.

Alhoewel het vastleggen van homologatiewaarden voor motorgeluid van voertuigen die op de Europese markt komen, Europese bevoegdheid is, kunnen regionale en lokale overheden wel degelijk een impact hebben op de geluidsemissie in steden. Zo zou een geluidsactieplan dat compatibel is met het concept van lage-emissie zone voor luchtverontreiniging (LEZ) of internalisering van externe kosten erin kunnen bestaan om vooral de luidste voertuigen en vooral de periodes met de hoogste impact aan te pakken³⁵. Een indicator die de geluidsemissie van individuele voertuigen³⁶ onder rij-omstandigheden die representatief zijn voor lokale en secundaire wegen, in kaart brengt, is zinvol.

³⁴ De Coensel, B., Brown, A. L., & Tomerini, D. (2016). A road traffic noise pattern simulation model that includes distributions of vehicle sound power levels. *Applied Acoustics*, 111, 170-178.

³⁵ Kaddoura, I., Kröger, L., & Nagel, K. (2017). User-specific and dynamic internalization of road traffic noise exposures. *Networks and Spatial Economics*, 17(1), 153-172.

³⁶ Bijzondere aandacht zou hierbij kunnen gaan naar de AVAS (Acoustic Vehicle Alerting) systemen die aan elektrische en hybride voertuigen toegevoegd worden om de veiligheid van voetgangers te verhogen en die een extra geluid toevoegen bij rij-snelheden lager dan 30 km/u.



4.3.2 Voorbeeld van uitwerking

Bij het uitwerken van een meetsysteem voor het bepalen van een indicator voor de emissie van individuele voertuigen onder stedelijke rijcondities is het nuttig maar niet noodzakelijk om, naast de geluidsemissie, ook over volgende data te kunnen beschikken:

- Rijsnelheid – en dit kan via het koppelen van de geluidsmeter aan een snelheidsdetectiesysteem;
- Type voertuig – en dit kan via koppeling aan een nummerplaat-herkenningssysteem.

Hierdoor wordt het mogelijk om de oorzaak van de variatie in emissie in het wagenpark te analyseren, bv. overdreven snelheid, oudere voertuigen, dieselmotoren, etc.

In 2019 werden op deze manier op een 5-tal plaatsen in Vlaanderen lucht-emissies van voertuigen in bedrijf gemeten door het bedrijf HEAT. Voor geluid zou een gelijkaardige meting mogelijk zijn. Meer nog, gezien de apparatuur voor het meten van lucht-emissies vele malen duurder is dan de apparatuur voor het meten van geluid, kan de geluidsmeting veel langer doorgaan. Integratie in een lage-emissie-zone (LEZ)-initiatief is te overwegen. De technologie hiervoor is beschikbaar: In het Verenigd Koninkrijk wordt geëxperimenteerd met zogenaamde *noise cameras* niet enkel om de geluidsemissie in kaart te brengen, maar ook om er een boetesysteem aan te koppelen³⁷. Maar de meting kan ook in een afgeslankte vorm – zonder snelheid en nummerplaatherkenning – voldoende zijn voor een eerste versie van de indicator. De meting moet dan op een goed gekozen plaats, bijvoorbeeld op een verlichtingspaal dicht bij de weg gebeuren om ervoor te zorgen dat het aantal verstoringen door andere geluidsbronnen beperkt is. Wanneer bovendien gebruik gemaakt wordt van een microfoon-rooster is het mogelijk bij hogere verkeersintensiteiten te meten³⁸. Door middel van spectrale analyse kan, zelfs zonder nummerplaatherkenning of visuele informatie een categorisatie gemaakt worden tussen vrachtwagens en personenwagens³⁹.

Om een indicator te bekomen die langetermijn trends kan identificeren, zou men kunnen opteren voor een grootschalig uitrollen van sensoren. Hierbij kan dan op uitmiddelen gerekend worden om uitval van sensoren of niet-relevante lokale veranderingen weg te werken. Er wordt echter voorgesteld om – net als voor snelwegen – te kiezen voor een beperkt aantal meetplaatsen (5 tot 10 verspreid over de grote agglomeraties, zoals gedefinieerd in de Europese Richtlijn Omgevingslawaai) en te corrigeren voor de belangrijkste lokale invloeden:

- 1 Wijziging van het wegdek
- 2 Snelheidslimiet
- 3 Omgeving zoals gebouwen, begroeiing en andere factoren die lokaal de geluidsoverdracht kunnen beïnvloeden.

De wegdekcorrectie kan opnieuw gebeuren op basis van de indicator besproken in *sectie 4.1*. maar omdat het om lokale en secundaire wegen gaat, zou ook gekozen kunnen worden voor een analyse van plotse variaties in de statistieken gekoppeld aan een gerichte observatie van het wegdek ter plaatse.

Voor de snelheidslimiet wordt voorgesteld om te clusteren rond (30,) 50 en 70 km/h, en de indicator afzonderlijk te rapporteren voor deze snelheidscategorieën.

³⁷ <https://www.gov.uk/government/news/new-noise-camera-trial-to-crack-down-on-illegal-vehicles>

³⁸ Berge, T., & Solvang, A. (2016, August). Monitoring the environmental impact of individual vehicles in a traffic flow. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 253, No. 8, pp. 509-518). Institute of Noise Control Engineering.

³⁹ Bv. <https://www.smartnodes.be/products/>

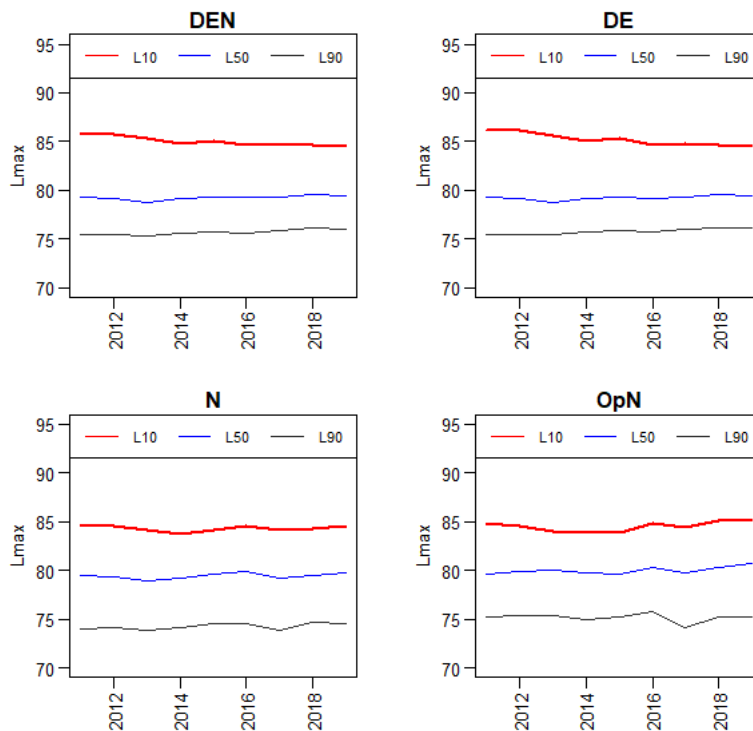
De invloed van de omgeving, de meethoek, enz. wordt weggewerkt door gebruik te maken van een index ten opzichte van een zichtjaar, of – met andere woorden – door een offset te verrekenen voor elke locatie. Desondanks wordt eveneens een monitoring aangeraden van de invloed van de omgeving voor in geval van nieuwbouw, heraanleg en dergelijke. Een veiligheidscamera plaatsen nabij de meetpost is aan te bevelen; daarmee kan dan op regelmatige basis een controle gebeuren van veranderingen in de omgeving.

Om tot een eengetalswaarde te komen voor de te rapporteren indicator wordt voorgesteld om een distributie van de voertuigpassages (gemeten als maximale $L_{Aeq,1sec}$ tijdens de passage) te bepalen en percentielwaardes te berekenen. Om seizoensinvloeden te kunnen identificeren, is een rapportering per maand (of beter per 4 weken) aan te raden. Het belang van de luide voertuigen kan onderstreept worden door 1 %, 5 %, 10 % en mediaan te rapporteren.



4.3.3 Indicatorfiche

Methodefiche indicator	
Naam	Evolutie van de geluidsemissie van individuele voertuigen op lokale en secundaire wegen
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	De typische geluidsemissie van voertuigen voor wegverkeer onder rijcondities die representatief zijn voor lokale en secundaire wegen, wordt opgevolgd door middel van een index ten opzichte van een referentiejaar. Percentielwaarden over alle voertuigen worden gerapporteerd in voertuigklasse (personenwagens en vrachtwagens) en per categorie van toegelaten snelheid (30, 50, 70 km/u).
Eenheid	Index (op basis van gemiddelde) ten opzichte van een referentiejaar
Dekking	Representatief voor lokale en secundaire wegen
Sector	Wegverkeer
Basisjaar	2020
Frequentie	Jaarlijks
Beschikbaarheid	Dient nog uitgerold te worden.
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
De indicator is gebaseerd op: <ul style="list-style-type: none"> • Metingen op goed gekozen plaatsen langs 5 tot 10 lokale en secundaire wegen; • Detectie van voertuigpassages op basis van 1 seconde metingen; • Refereren naar een referentiejaar; • Eventuele correctie voor verandering van wegdek of snelheidslimiet; • Statistische verwerking tot 1%, 5%, 10% luidste passages en mediaanwaarde. 	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
De indicator laat toe de invloed van het Europese beleid rond emissie van individuele voertuigen op lokaal niveau in te schatten, maar tevens de invloed van het lokale beleid (lage emissiezones, internalisatie van externe kosten, rekeningrijden, autokeuring, beleid rond luide motoren ...) te begroten. In het bijzonder gaat aandacht naar uitschieters (aangepaste voertuigen, gebrekkig onderhoud).	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
In eerste instantie wordt uitgegaan van metingen per seconde en identificatie van personenwagens en vrachtwagens. De meettoestellen kunnen van klasse 2 zijn, maar er dient zorg gedragen te worden voor mogelijke 'drift'. Een verbetering zou erin kunnen bestaan om te koppelen aan snelheid van individuele voertuigen en nummerplatherkenning.	
Internationale vergelijkbaarheid	
Op internationaal vlak is dit soort monitoring volop in ontwikkeling, o.a. in een H2020-project 'nemo', in pilots in het verenigd koninkrijk ...	



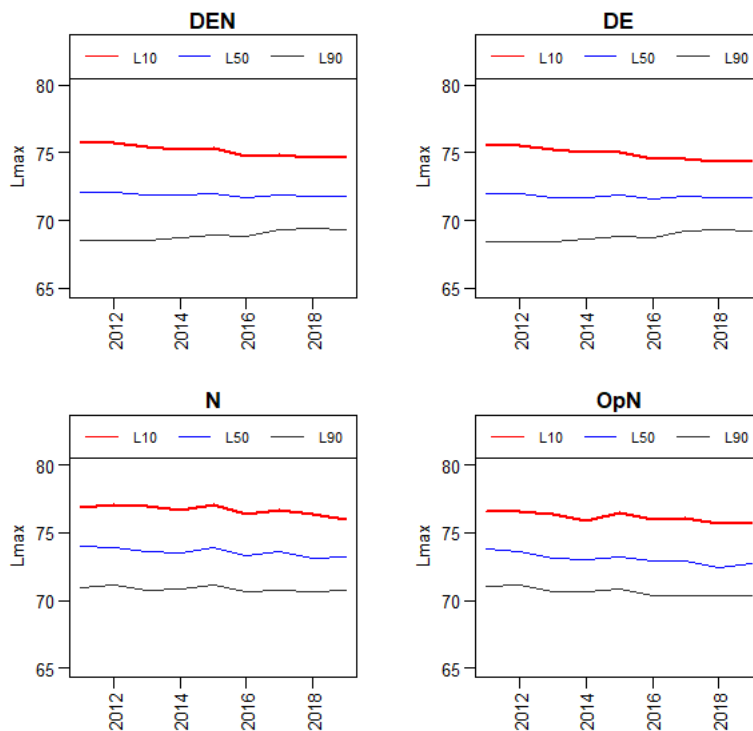
Figuur 13: Evolutie van de vliegtuiggecorrleerde events (L_{10} , L_{50} en L_{90} van de L_{max}) in Diegem (42-02), indicatief voor de vertrekken vanop Brussels Airport voor vier periodes: etmaal (00-24), dag en avond (07-23), nacht (23-07) en de operationele nacht (23-06).

- Er is een dalende trend van L_{10} voor L_{Amax} over de jaren voor etmaal (DEN). De luidste passages worden stiller. Het stiller worden van de vloot is zichtbaar in de gemeten indicator.
- Er is een licht stijgende trend voor de laagste gedetecteerde events. Dit kan geïnterpreteerd worden als een indicatie van de trend naar minder maar grotere en dus iets luidruchtigere vliegtuigen. De instellingen en kwaliteit van de event detectie kan deze curve wel verstoren.
- Voor de nacht (23-07) en de operationele nacht (23-06) is het beeld anders. Vanaf 2016 wijzigt de dalende trend in een stijgende trend. Aangezien deze trend ook zichtbaar is in L_{50} , is deze vaststelling ook geldig voor de emissie van een gemiddelde vlucht.

Erps-Kwerps (43-2)

Dit meetpunt is de ideale kandidaat voor de landingsbaan 25L van Brussels Airport. De events worden geselecteerd op landingen op baan 25L. In Figuur 14 wordt een gelijkaardige evaluatie uitgevoerd voor de landingen.





Figuur 14: Evolutie van de vliegtuiggecorreleerde events in Erps-Kwerps (43-02), indicatief voor de landingen op Brussels Airport voor vier periodes: etmaal (00-24), dag en avond (07-23), nacht (23-07) en de operationele nacht (23-06).

- Er is in alle periodes een dalende trend voor de hoogste L_{max} van ongeveer 1 dB over de gehele evaluatieperiode (2011-2019).
- Er is een stijgende trend voor de laagste L_{max} voor de operationele dag van bijna 1 dB. Dit kan een indicatie zijn van het gebruik van grotere vliegtuigen.
- Tijdens de nacht is laagste L_{max} zo goed als constant. De nacht-operaties worden uitgevoerd met een vloot die minder onderhevig is aan de trend van gebruik van grotere vliegtuigen.

4.4.3 Luchthavens Oostende en Antwerpen

Beide luchthavens hebben een geluidsmonitoringssysteem. Dit systeem is vernieuwd in 2017, maar historische gegevens kunnen ook beschikbaar worden gemaakt. (informatie van Ir. Isabelle Dobbelaere, Environment, luchthaven Oostende en Antwerpen).

Volgende meetpunten worden voorgesteld voor de indicator in de andere luchthavens.

Oostende:

- Meetpunt 3 (DD-Marker Duineweg): events voor het starten
- Meetpunt 2 (Middle Marker, Stene): events voor de landingen

Antwerpen:

- Meetpunt 3 (Volkstuintjes, Berchem): events voor het starten
- Meetpunt 2 (Fort 3, Borsbeek): events voor de landingen

4.5 Spoorverkeer: rollend materieel spoorweg

4.5.1 Rationale

Vanuit het Directorate-General for Mobility and Transport van de Europese Commissie (DG Move) wordt vanuit Europa sterk ingezet op een modale shift naar milieuvriendelijker transport. Het versterken van het aandeel goederentransport via het spoor is hierin een belangrijke factor.

Geluidshinder is een zeer belangrijk aspect in de verdere ontwikkeling van het spoorverkeer. De European Rail Agency (ERA) beheert de geluidsemissielimieten voor het rollend materieel op het Europese net. Ook nationale en lokale overheden kunnen via wetgeving en milieu-effectenrapporten bijkomende voorwaarden opleggen.

De International Union of Railways (UIC) is een overkoepelende organisatie die de sector vertegenwoordigt. In een document voor het milieuthema geluidshinder verzamelt de UIC de informatie en trends in de sector⁴¹. Geluid is een prangend probleem voor de sector waarbij vooral het goederentransport over lange afstand (trans-alpien) onder de aandacht komt. Er zijn grote onderzoeksinspanningen geleverd om de geluidsreductie van het goederenvervoer technisch en economisch mogelijk te maken. De voornaamste component: de vervanging van de remblokken van de goederenwagons ('LL-Blocks'), is bij de uitgave van dit rapport (2016) op een belangrijk punt gekomen in de implementatie. Door de technische specificaties van interoperabiliteit (TSI) die geluidseisen oplegt aan retrofitting (goederen) en de aankoop van nieuw rollend materieel (passagiers) is er een significante wijziging van de emissies te verwachten⁴². De uitbreiding van de TSI-richtlijn naar *Quieter routes* betekent dat tegen 2024 op specifieke segmenten alleen geretrofite goederenwagons mogen rijden. In de praktijk betekent dit dat tegen 2024 alle goederenwagons zullen moeten geretrofit zijn (de belangrijkste goederen as Antwerpen-Duitsland via Montzen valt onder de *Quieter routes*). In Zwitserland en Duitsland versnelt men de implementatie van de LL-Blocks en zullen goederenwagons met gietijzeren remblokken worden geweerd vanaf eind 2020 en dit heeft een impact op het gebruikte materieel in België.

De geluidsemissie van het spoor ontstaat door het contact tussen wiel en spoor, zodat een niet onbelangrijke component van de geluidsemissie gekoppeld is aan de ruwheid en de demping van het spoorliggers. Een set drukindicatoren om de evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot en de kwaliteit van de sporen op te volgen is zinvol. De ruwheid van het spoor is niet nuttig als indicator aangezien Infrabel de kwaliteit van de sporen op een systematische wijze onderhoudt. Infrabel implementeert geluids- en trillingsdempende railpads die bij vernieuwing van het spoor of bij vernieuwing van de rails worden aangebracht tussen de dwarsliggers en de rail. Het effect van de railpads is ongeveer 3 dB. De uitrol van deze nieuwe technologie wordt versneld in de volgende jaren. Het aantal kilometer geïmplementeerde railpads zich gedraagt als een responsindicator vergelijkbaar met het aantal kilometer geluidsschermen. In lijn met de structuur van de indicatorset worden geen responsindicatoren opgenomen. Deze informatie wordt toegepast bij het berekenen van de geluidskaarten in Europese Richtlijn Omgevingslawaai, zodat het effect van deze maatregel vervat zit in berekende blootstelling. De indicator voor de railpads wordt niet weerhouden.

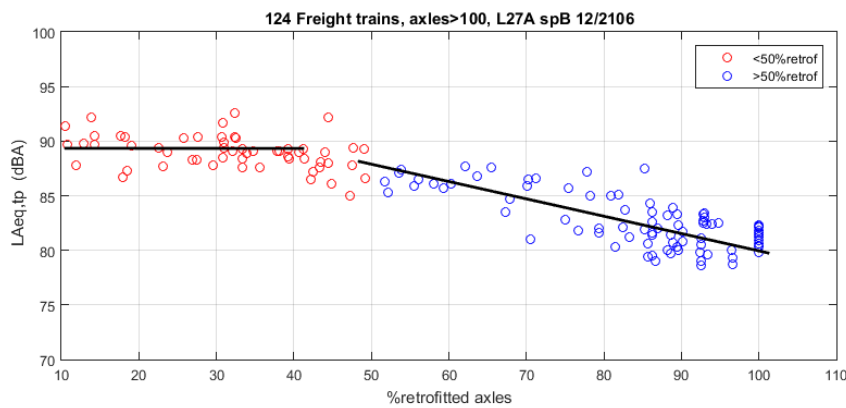
⁴¹ <https://uic.org/sustainable-development/noise-and-vibration/>

⁴² Percentage van de goederenwagons/assen uitgerust met Low Noise brake Blocks (LL-Blocks): 20% in 2013 tot nu ongeveer 60% (mondelingen informatie van Wrad Verhelst)

4.5.2 Beschrijving beschikbare gegevens

Infrabel, de beheerder van de spoorweginfrastructuur in België monitort de geluidsemissie van het rollend materieel. Het meetplatform is in een testfase en wordt nog verder uitgerold naar meerdere meetlocaties. Op basis van contacten met de geluidsspecialisten binnen Infrabel kunnen we voor goederentransport al een voorbeeld geven van de werking van de indicator.

Geluidsemissie van de goederentreinen waarbij het percentage geretrofite assen per goederentrein een significante impact heeft op de emissie van de goederentrein. Dit wordt gevisualiseerd in Figuur 15 waarbij de pass-by geluidsemissie per as ($L_{Aeq,tp}$) van de goederentreinen wordt gepresenteerd als functie van het aantal assen uitgerust met de LL-blocks. De meetmethode is gestandaardiseerd in een ISO-norm⁴³. Deze figuur is opgebouwd op basis van een manuele verwerkte dataset over een korte meetperiode. Zodra het meetplatform volledig operationeel is, kan deze informatie in bulk of steekproefsgewijs beschikbaar worden. De indicator neemt een vergelijkbare vorm aan als de geluidsevents van de vliegtuigen (zie 4.4) waarbij jaarlijks de evolutie van de distributie van $L_{Aeq,tp}$ wordt gepresenteerd volgens een aantal relevante percentielwaarden (L_{10} , L_{50} , L_{90}). Het meetplatform in Luchtbal is zeer representatief voor het rollend goederen materieel in Vlaanderen omdat het de poort is naar de Antwerpse haven.



Figuur 15: Gemiddelde geluidsemissie per as (pass-by meting) per goederentrein in de meetlocatie ‘Luchtbal, Antwerpen’ (bron Infrabel).

Voor passagierstreinen is een vergelijkbare implementatie mogelijk maar moeten een aantal kanttekeningen worden gemaakt. De te verwachten evolutie in de indicator is veel kleiner aangezien nieuw passagiersmaterieel stapsgewijs wordt geïntroduceerd. De metingen moeten ook uitgevoerd worden over meerdere meetlocaties omdat de meetlocatie gevoelig is voor het gebruikt materiaal. Indien er veel piekurtreinen rijden (typisch ouder materieel) kan dit een invloed hebben op de indicator. Verschuiving in het gebruik van het materieel door de NMBS over verschillende lijnen kan de verzamelde data op één meetplatform ook beïnvloeden. De correcte werking van deze indicator is afhankelijk van het verder uitrollen van het meetplatforms van Infrabel (13 over geheel België).

⁴³ ISO 3095:2013(en) Acoustics — Railway applications — Measurement of noise emitted by railbound vehicles

4.5.3 Indicatorfiche

Methodefiche indicator	
Naam	Evolutie van de geluidsemissie van de treinstellen op het spoorwegennet in Vlaanderen, uitgesplitst naar goederentreinen en passagierstreinen
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	Op basis van monitoring wordt de geluidsemissie van goederenwagons en treinstellen voor personenvervoer bepaald op een referentiespoor.
Eenheid	Gestandaardiseerde pass-by waarde
Dekking	Representatief voor Vlaanderen
Sector	Spoorverkeer
Basisjaar	Nog te bepalen (afhankelijk van de beschikbaarheid en relevantie van historische data)
Frequentie	Jaarlijks
Beschikbaarheid	Afhankelijk van de implementatie van het meetplatform en een managementbeslissing van Infrabel om de data beschikbaar te stellen.
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
De indicator is gebaseerd op: <ul style="list-style-type: none"> • De metingen worden uitgevoerd door Infrabel en jaarlijks aangeleverd voor rapportering. • Pass-by geluidsemissie van goederenwagons in gebruik. • Pass-by geluidsemissie van treinstellen voor personenvervoer in gebruik. • De resultaten worden gepresenteerd als een jaarlijkse evolutie van de distributie gevisualiseerd door een te kiezen set percentielwaarden en hiervan de 10 % en 90 % (eventueel nog aan te passen) te rapporteren, opgesplitst naar goederen en personenvervoer. 	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
De indicator meet het effect van de inspanning die door de operatoren en de netwerkbeheerder wordt geleverd om individuele treinstellen stiller te maken (retrofitting, vervangen van rollend materieel). Nieuw rollend materiaal voldoet per definitie aan de nieuwe normen. Voor het goederenvervoer wordt een significante trend verwacht. Voor passagiersvervoer verwachten we een stapsgewijze trend bij de invoering van nieuw materieel.	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
Is op dit ogenblik niet gekend wegens het ontbreken van informatie van Infrabel.	
Internationale vergelijkbaarheid	
Geen actieve implementaties bekend.	

5 Blootstellingsindicator (S – State)

5.1 Blootstelling aan wegverkeer aan de woning

5.1.1 Rationale

Waarom wordt de huidige blootstellingsindicator niet geactualiseerd?

In het verleden was een gemeten blootstellingsindicator beschikbaar waarbij aan 250 woningen gedurende 15 minuten bemande geluidsmetingen werden uitgevoerd.

De functie van deze indicator in MIRA was het valideren van de gesimuleerde blootstelling door middel van een gemeten tijdsreeks. Initieel diende de meting ook als aanvulling op de geluidskaart die niet alle wegen bevatte. De SWOT-analyse (*bijlage A*) verwijst vooral naar de hoge arbeidskost van de indicator: 250 vaste woningen bezoeken doorheen Vlaanderen is niet meer te verantwoorden met de huidige beschikbare technologie. Nu kan goedkope meetapparatuur voor langere tijd meer en betere informatie aanleveren dan de oude methodologie.

Waarom een nieuwe gemeten blootstellingsindicator?

De resultaten van de geluidsmodellen zijn gelimiteerd door de beperkte invoergegevens, beperkingen in de rekenmethodes en beperkingen in de reken capaciteit.

Een gemeten indicator daarentegen capteert alle bronnen zonder beperkingen. De eerste functie van de nieuwe gemeten blootstellingsindicator is het vervangen van de huidige niet-geactualiseerde blootstellingsindicator onder de vorm van standaard geluidsparameters. De tweede functie is het verzamelen van meer gedetailleerde informatie die niet kan worden geleverd door de modellen, zoals eventdetectie, voor het voeden van slaapverstoringmodellen, alternatieve indicatoren voor L_{den} , wijzigende dagpatronen, enz.

Actieve meetnetwerken

De Vlaamse overheid onderhoudt een aantal kleine operationele netwerken met geluidsmetapparatuur van hoge kwaliteit⁴⁴. Er is onder andere een netwerk voor het evalueren van Brussels Airport (9 meetposten), maar in principe kunnen dergelijke meetpunten na eliminatie van de vliegtuigevents ook informatie leveren voor wegverkeer of spoorverkeer. Deze meetnetwerken meten niet aan de woningen van inwoners en kunnen dus niet gebruikt worden om een gebiedsdekkende impactindicator te definiëren.

Nieuwe ontwikkelingen

Het IDEA-project in 2008-2012 bij UGent was een voorloper^{45,46}. Ondertussen zijn er internationaal meerdere low-cost monitoringsnetwerken in gebruik^{47,48,49,50}. De grootste operationele kost aan uitgebreide

⁴⁴ <https://omgeving.vlaanderen.be/geluidsmetnet-cijfers-en-rapporten>

⁴⁵ <http://www.idea-project.be/>

⁴⁶ Van Renterghem, Timothy, Pieter Thomas, Frederico Dominguez, Samuel Dauwe, Abdellah Touhafi, Bart Dhoedt, and Dick Botteldooren. "On the ability of consumer electronics microphones for environmental noise monitoring." *Journal of Environmental Monitoring* 13, no. 3 (2011): 544-552.

⁴⁷ Farrés, Júlia Camps. "Barcelona noise monitoring network." In *Proceedings of the EuroNoise*, pp. 218-220. 2015.

⁴⁸ Bello, Juan P., Claudio Silva, Oded Nov, R. Luke Dubois, Anish Arora, Justin Salamon, Charles Mydlarz, and Harish Doraiswamy. "Sonyc: A system for monitoring, analyzing, and mitigating urban noise pollution." *Communications of the ACM* 62, no. 2 (2019): 68-77.

⁴⁹ Mydlarz, Charlie, Justin Salamon, and Juan Pablo Bello. "The implementation of low-cost urban acoustic monitoring devices." *Applied Acoustics* 117 (2017): 207-218.

⁵⁰ Zambon, G., R. Benocci, and G. Brambilla. "Cluster categorization of urban roads to optimize their noise monitoring." *Environmental monitoring and assessment* 188, no. 1 (2016): 26.



meetcampagnes is enerzijds het beheer en uitzetten van de geluidsmeetapparatuur, anderzijds de communicatiekost.

Met de huidige technologie is het mogelijk om kwalitatieve metingen uit te voeren met niet-gestandaardiseerde apparatuur (*Internet of Things* - toestellen). De ontwikkelingen op vlak van *Citizen Science* en *Smart City noise monitoring* bieden de mogelijkheden om een gemeten blootstellingsindicator tegen een aanvaardbare kost te realiseren.

De inbreng van burgers levert hierbij bijkomende toegevoegde waarde. De vragen naar geluidsmonitoring vanuit het publiek tonen ook aan dat het draagvlak groeit. De meeste huidige projecten zijn geïnteresseerd in het detecteren van anomalieën zoals nachtlawaai op straat. Enkele van deze initiatieven in Vlaanderen worden beschreven in bijlage C.5.5. Voor een MIRA indicator zijn we vooral geïnteresseerd in trends over de lange termijn en dat brengt bijkomende eisen met zich mee op technisch vlak ^{51,52}.

Hoe belangrijk is de kwaliteit van de goedkope meetapparatuur?

Drie aspecten zijn hierbij van groot belang: (1) de ruisvloer van de meetopstelling is belangrijk om ook de lagere geluidsblootstellingen accuraat te meten, (2) er moet een vorm van kalibratie worden voorzien, en (3) de 'drift' (continue verandering van de meetresultaten ten gevolge van verouderende hardware-componenten) moet worden vermeden. Kwaliteit is belangrijk maar binnen het concept van 'big data' zal een uitgebreid netwerk aan een lagere kwaliteit voldoende informatie leveren voor het identificeren van trends op langere termijn. Drift op de metingen is het grootste risico.

Kunnen we langetermijn trends detecteren in dergelijke meetreeksen?

De werkelijke blootstelling aan de woningen is een complex samenspel van alle inspanningen op alle beleidsniveaus in combinatie met de trends in mobiliteit (verkeersstromen) en andere activiteiten. Geavanceerde technieken zullen nodig zijn om de gekende versturende variabelen te elimineren. De GAM-modellering voorgesteld in *sectie 1* is één van de mogelijke technieken. Machinaal leren waarbij externe spatiale informatie en geluidsparementen worden gecombineerd is eveneens een optie. Deze technieken moeten in staat zijn de werkelijke evolutie te identificeren.

⁵¹ Poslončec-Petrić, Vesna. "Voluntary noise mapping for smart city." In First International Conference on Smart Data and Smart Cities. 2016.

⁵² Rey Gozalo, Guillermo, Juan Miguel Barrigón Morillas, and Carlos Prieto Gajardo. "Urban noise functional stratification for estimating average annual sound level." *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, no. 6 (2015): 3198-3208.

Welke geluidsparemeters wensen we te evalueren?

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen de geluidsparemetere berekend op een individuele locatie en de statistische representatie van deze paremetere over een aantal meetpunten binnen een bepaalde ruimtelijke typering (in een LEZ, langs een secundaire weg ...). Statistische evaluaties vergelijkbaar met de gemeten indicatoren resulteert ook hier in leesbare indicatoren zoals gepresenteerd in *hoofdstuk 4*. Binnen het voorgestelde MIRA ecosysteem kunnen deze metingen op termijn gebruikt worden ter ondersteuning, validatie en uitbreiding van de gemeten drukindicatoren.

Kunnen meerdere Citizen Science initiatieven worden gecombineerd?

In de bijlage C.5.5 wordt een overzicht gegeven van *Citizen Science* initiatieven doorheen Vlaanderen. Deze initiatieven zijn onafhankelijk van elkaar en dit heeft als gevolg dat de verzamelde gegevens van onvoldoende kwaliteit zijn of niet op een gestructureerde manier gerapporteerd worden. Zo kunnen ze niet bijdragen tot een indicator voor de MIRA rapportering. Een overkoepelend project of forum kan structuur brengen in de dataverzameling. Dit wordt geïdentificeerd als een belangrijke opportuniteit met relevante synergiën over verschillende departementen van de Vlaamse overheid.

5.1.2 Methodologie

5.1.2.1 Algemene blootstellingsindicator voor alle geluidsbronnen

In zijn elementairste vorm kunnen de distributies van L_{day} , L_{eve} , L_{night} en L_{den} voor alle meetpunten worden gepresenteerd. Een geografische weging wordt toegepast indien nodig.

5.1.2.2 Blootstellingsindicator uitgesplitst naar dominante geluidsbron

De meetpunten uitsplitsen volgens een geografische classificatie verhoogt de toepasbaarheid. Mogelijke ruimtelijke parameters zijn: afstand tot de dichtste lokale weg, OSM-classificatie van de dichtste weg, zones volgens ruimtelijke ordening in Vlaanderen, industrie- en KMO-zones, recreatie (uitgangsbuurtten), afstand tot snelwegen en primaire wegen, in een vluchtcorridor van een luchthaven, nabij een spoorweg, afstand tot een militaire luchthaven e.d. Jaarlijkse trends in distributies voor L_{01} , L_{05} , L_{10} , L_{50} en L_{95} over verschillende periodes van de dag leveren diverse informatie.

Hier worden een gelijkaardige visualisatie gebruikt als voor de drukindicatoren: presenteren van de trends over de tijd van goed gekozen percentielwaarden. De keuze van de best passende indicator wordt vastgelegd bij de effectieve ontwikkeling van de blootstellingsindicator. Een dalende trend in L_{01} kan een indicatie zijn van verlaagde emissie per individueel event, en kan ook een impactindicator voor slaapverstoring voeden voor verschillende geluidsbronnen. Stijgende trends in L_{10} en L_{50} zijn een indicatie van een stijgende verkeersdrukke en/of slechtere wegdekkekwiteit. L_{A95} identificeert de impact van de geluidsemisatie van continue geluidsbronnen – snelwegen of industrie – afhankelijk van de classificatie.



5.1.3 Indicatorfiche

Methodefiche indicator	
Naam	Evolutie van de geluidsblootstelling aan de woningen in Vlaanderen
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	De geluidsblootstelling aan woningen wordt opgevolgd door middel van een index ten opzichte van een referentiejaar. Percentielwaarden worden gerapporteerd voor de gehele bevolking en binnen de verschillende categorieën van het ruimtelijk structuurplan.
Eenheid	Index ten opzichte van een referentiejaar
Dekking	Gebiedsdekkend
Sector	Alle bronnen, trends zullen gestuurd worden door de dominante geluidbron (wegverkeer).
Basisjaar	Vast te leggen bij implementatie
Frequentie	Jaarlijks
Beschikbaarheid	Dient nog uitgerold te worden
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
Uit te werken bij implementatie	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
Zie rationale	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
Uit te werken bij implementatie	
Internationale vergelijkbaarheid	
Meerdere steden hebben permanente meetnetwerken maar gebiedsdekkend in kaart brengen van blootstelling aan de woningen is zeldzaam. In het VK werd in 2001 24 uur gemeten aan meer dan 1000 woningen, maar deze inspanning werd helaas niet herhaald.	
Referenties	
Zie rationale	

6 Impactindicatoren

6.1 Introductie van leefomgevingskwaliteit voor geluid (LG)

6.1.1 Rationale

In de huidige MIRA-rapportering wordt een geaggregeerde hinderindicator opgebouwd die een combinatie is van een aantal berekende trends (wegverkeer, luchtverkeer en spoorverkeer) en de directe resultaten uit het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek (SLO) voor de andere bronnen. Het periodiek Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek (SLO) is een beleidsinstrument met het expliciete doel om de trend in de hinderrespons te capteren, en zodoende de impact van het beleid te kunnen evalueren en valideren⁵³.

In de SWOT-analyse (bijlage A), brainstormvergadering (bijlage B) en de shortlistvergadering (bijlage C) is duidelijk geworden dat de huidige indicator 'Aantal potentieel ernstig gehinderden door geluid' niet voldoet aan de voorwaarden voor een goede indicator. Deze indicator werd tijdens de evaluatie in de shortlistvergadering niet weerhouden omdat (1) de geaggregeerde indicator niet gevoelig genoeg is, en de berekeningsmethode niet transparant genoeg is en (2) de variaties in de opeenvolgende actualisaties moeilijk te koppelen zijn aan evoluties in de onderliggende blootstellingsberekening per geluidsbron. Opsplitsen van de indicator per geluidsbron ligt dan voor de hand.

Daarnaast is er vanuit de gezondheidsdiscipline een vraag naar een indicator om slaapverstoring in rekening te nemen en op te volgen. Slaapverstoring is een aspect dat onderbelicht is in de huidige impactindicatoren en belangrijk is als mediator voor gezondheid.

De rapportering van de blootstelling bepaald op basis van de MIRA geluidskaart voor wegverkeer is een ander belangrijk gegeven. Er is een overlap tussen de communicatie over blootstelling volgens de Europese Richtlijn Omgevingslawaai (departement Omgeving, Vlaamse overheid) en die volgens de MIRA geluidskaart. Dit kan voor verwarring zorgen bij de bevolking en de beleidsmakers.

De voordelen van de gebiedsdekkende MIRA geluidskaart en de rapportering voor geluidsniveaus onder L_{den} 55 dB worden erkend. Maar dit leidt tot de vraag hoe de communicatie over beide trajecten ontkoppeld kan worden. Tijdens de shortlistvergadering werd naar voor geschoven om een indicator met een duidelijk verschillende naam te gebruiken die gerelateerd is aan het effect eerder dan de blootstelling.

Vanuit wetenschappelijk oogpunt is er een bekommernis dat de indicatoren L_{den} en L_{night} die in de Richtlijn Omgevingsgeluid gerapporteerd worden, in combinatie met een Europees-gemiddelde blootstellingseffect-relatie, trends over langere termijn onvoldoende kunnen opvolgen. Het recente WHO-rapport⁵⁴ meldt inderdaad dat blootstellingseffectrelaties over de voorbije decennia gewijzigd zijn en in *secties 6.3 tot 6.6* wordt verder geargumenteed waarom deze relaties van regio tot regio kunnen verschillen. Voor slaapverstoring wordt gewezen op het belang van geluidspieken. De introductie van een nieuwe impactindicatorset en een bijbehorend rekenmodel laat toe ook hieraan tegemoet te komen. Aangezien de

⁵³ <https://omgeving.vlaanderen.be/schriftelijk-leefomgevingsonderzoek-slo-4-2018>

⁵⁴ WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018); <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>

selectie van de relevante geluidsparementers afhankelijk is van de aard van de geluidsbron verwijzen we hier naar de bron-specifieke besprekingen (6.3 tot 6.5).

6.1.2 Voorstel van een impactindicatorset als antwoord op bovenstaande bekommernissen

1 Directe rapportering van de SLO-enquêtes

Zowel de respons op de algemene hindervraag als de hinder per bronnengroep uit de SLO-enquête wordt gerapporteerd. Dit omvat alle componenten, inclusief de tijdsgeest, die de gerapporteerde hinder kunnen beïnvloeden. Dit is een uitbreiding van de bestaande indicator.

2 Disability Adjusted Life Years (DALY)

Het gebruik van DALY als indicator die vergelijking van de impact van een ongunstig geluidsklimaat met de impact van andere omgevingsfactoren zoals luchtverontreiniging mogelijk maakt wordt best behouden. Vermits deze indicator rechtstreeks steunt op de gebiedsdekkende geluidskarten die ten behoeve van MIRA berekend worden, is aangeraden de koppeling tussen beide te vergroten en na te gaan of de nieuwe LG indicatoren hierin een rol kunnen spelen.

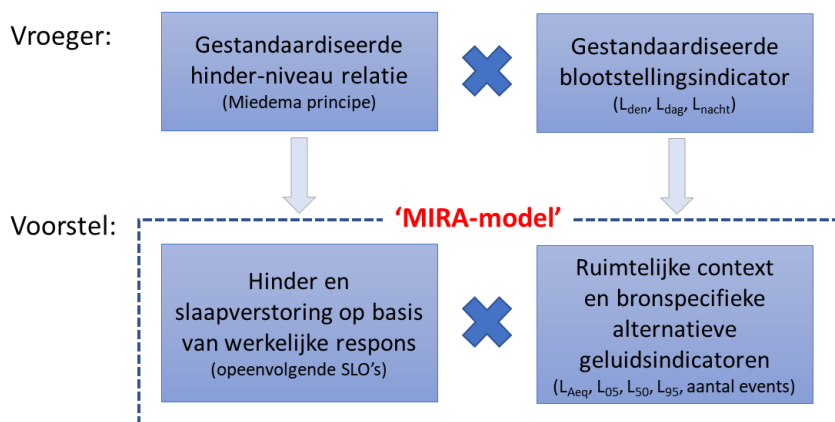
3 Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor 'GELUIDSBRON'

Deze indicator vergt verdere toelichting.

Gevoeligere methodologie voor de berekende componenten voor hinder en slaapverstoring

De oude methodologie moet zowel voor het hinderaspect als in de onderliggende geluidsparementers gevoeliger worden voor de onderliggende trends. Deze overgang wordt voorgesteld in Figuur 16. De oude indicator 'Potentieel ernstige hinder' is gebaseerd op internationaal gestandaardiseerde hinder- L_{den} -relaties die in zowel de Vlaamse als de Europese regelgeving zijn opgenomen. L_{den} (en L_{night} wanneer we uitbreiden naar gerapporteerde slaapverstoring) worden berekend op basis van verkeersstromen (volume, samenstelling ...) en gemiddelde emissies per voertuig. De indicator is dus enkel gevoelig voor veranderingen in verkeersstromen en bewoning (ruimtelijke ordening).

In het nieuwe MIRA model worden de hinderniveaurelaties lokaal bepaald op basis van de SLO-resultaten en wordt de beschrijving van de blootstelling gevoelig verfijnd. De variabelen die deze verfijnde emissie- en immisietrends beschrijven zijn bronspecifiek en worden per geluidsbron behandeld in secties 0 tot 6.6.



Figuur 16: Overgang van de hinderindicatoren naar een geïntegreerd impactmodel voor hinder en slaapverstoring.

Deze bronspecifieke methodologie krijgt de werktitel 'MIRA model'. De drie bekommernissen worden hierdoor beantwoord.

- 1 De lokale respons van de inwoners wordt verwerkt waardoor maximaal gebruik gemaakt wordt van het SLO. Tegelijkertijd wordt de informatie uit het SLO in een gebiedsdekkende vorm omgezet en wordt het gedeelte van de trend in de gerapporteerde hinder en slaapverstoring dat verklaard kan worden door onderliggende trends expliciet gemaakt.
- 2 De indicator geeft toegevoegde waarde ten opzichte van de geluidsblootstelling op basis van de Richtlijn Omgevingslawaaier, en geeft specifiekere informatie over impact op de bevolking, wat de link naar milieu-gezondheid en het beleid daarrond sterker maakt.
- 3 De onderliggende databronnen en/of geluidskaarten worden gevoeliger gemaakt aan het beleid van alle organisatorische niveaus (steden en gemeenten en Vlaamse overheid) dat een invloed kan hebben op de geluidsomgeving (zie verder voor concrete invulling per bronnengroep).

Gevoeligheid aan werkelijke respons van de inwoners in Vlaanderen en complementariteit met SLO

Het klassieke pad naar (potentiële) hinder bestaat uit het toepassen van de gestandaardiseerde blootstellingseffectrelaties. Deze methode is conform met de Europese Richtlijn Omgevingslawaaier. Deze aanpak laat echter niet toe om de indicator gevoelig te maken aan lokale gevoeligheden van de bevolking en de eventuele evolutie hiervan. In de literatuur is er veel aandacht voor trends en lokale variatie in de hinderrespons.

Een voorbeeld uit Denemarken toont een stijgende trend in de gerapporteerde ernstige hinder door wegverkeer van 6,3 % in 2000 naar 9,6 % in 2013⁵⁵. De auteurs verwijzen naar een gelijkaardige trend in Zweden. In een vergelijkbare studie in Duitsland was geen duidelijke trend waar te nemen. Truls Gjestland verzamelde 46 enquêtes over een periode van 45 jaar en vond binnen de blootstellingseffectrelaties geen duidelijke trend in de tijd⁵⁶. Dit neemt niet weg dat andere temporele trends de impact op de bevolking wel kunnen beïnvloeden zoals verdichting van de bewoning, verlaging van de effectieve snelheid, afscherpende maatregelen, wijzigende voertuigvloot e.d. Bovendien zijn er significante verschillen in de blootstellingseffectrelaties tussen de verschillende landen. Veel lokale studies leiden dan ook een lokale blootstellingseffectrelatie af voor plaatselijk gebruik⁵⁷. Dit principe zal nu ook worden toegepast in de nieuwe methodologie.

De potentiële evolutie van de relatie tussen blootstelling en gerapporteerde hinder en slaapverstoring is in Vlaanderen beschikbaar via deze opeenvolgende SLO-enquêtes.

Het doel is deze trendwijzigingen te integreren door de MIRA modellen in een tweevoudig regime te actualiseren. De onderliggende gegevens voor de geluidskaarten kunnen indien gewenst jaarlijks worden geactualiseerd. Bij iedere nieuwe SLO-enquête wordt ook de impliciete blootstellingseffectrelatie geactualiseerd. Bij een SLO-actualisatie kan het model ook een retroactieve controle uitvoeren om de potentiële wijziging in de respons van de bevolking te ontkoppelen van de wijzigingen in de blootstellingscomponent. Dit opent ook mogelijkheden om potentiële afwijkingen in de opeenvolgende SLO-enquêtes te detecteren.

⁵⁵ Rasmussen, Birgit, and Ola Ekholm. "Neighbour and traffic noise annoyance at home-prevalence and trends among Danish adults." In Proceedings of EuroNoise, pp. 1895-1900. 2015.

⁵⁶ Gjestland, Truls. "Forty-five years of surveys on annoyance from road traffic noise." Proc. 23rd ICA, Aachen, Germany (2019).

⁵⁷ Lercher, Peter, Bram de Greve, Dick Botteldooren, and Johannes Rüdiger. "A comparison of regional noise-annoyance-curves in alpine areas with the European standard curves." In 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN 2008), pp. 562-570. 2008.



Als voorbeeld kunnen we verwijzen naar de SLO-3 enquête waar een sterke daling waargenomen werd in de hinder door wegverkeer. Deze trend heeft zich niet doorgezet in de SLO-4 enquête⁵⁸. De huidige conclusie verwijst naar de economische dip van 2008 waardoor de blootstelling aan geluid een ander karakter kan gekregen hebben of de hinder door omgevingslawaai een lagere prioriteit had bij de bevolking, maar een methodologische afwijking is nog steeds mogelijk. De 'MIRA modellen' kunnen informatie leveren die de waargenomen trendwijziging in het SLO verklaart.

Toegevoegde waarde ten opzichte van de blootstelling uit de Europese Richtlijn Omgevingslawaai, complementariteit en relevantie voor de huidige doelstellingen van de Vlaamse overheid

De doelstellingen in de MIRA rapportering waren in het verleden gebaseerd op de MINA-plannen, en bevatten expliciete drempelwaarden voor het aantal inwoners blootgesteld aan en potentieel gehinderd door geluid. Deze doelstellingen worden in de nieuwe beleidsplannen minder specifiek gedefinieerd, zodat deze vorm van rapporteren weinig toegevoegde waarde heeft. De oude vorm van evaluatie richtte zich vooral op het vermijden van de hoogste blootstelling, een aanpak die eveneens gebruikt wordt in de actieplannen uit de Europese Richtlijn Omgevingslawaai. Ook hier is er overlap tussen de bestaande MIRA methodologie en de Europese Richtlijn Omgevingslawaai. In de nieuwe beleidsdocumenten worden geen expliciete drempelwaarden voorzien. Het Departement Omgeving citeerde voor de opvolging van de doelstellingen van het MINA-plan 4 twee doelstellingen: 'het aantal ernstig gehinderden door verkeerslawaai vermindert' en 'de akoestische kwaliteit in stedelijk gebied verbetert'.

De doelstelling 'akoestische kwaliteit verbetert' kan gekaderd worden in het bredere concept leefomgevingskwaliteit. In tegenstelling tot de vroegere indicator die vooral oog had voor het negatieve aspect, namelijk ernstige geluidshinder, legt deze manier van rapporteren de nadruk op het positieve: leefomgevingskwaliteit. Dit wordt geoperationaliseerd als het ontbreken van hinder en slaapverstoring. Om dit te kunnen kwantificeren moet de onderliggende geluidsblootstellingskaart de laagste blootstellingen zo correct mogelijk kunnen voorspellen. Dit betekent dat een gebiedsdekkende onderliggende databron een basisvoorwaarde wordt. Het nieuwe evaluatieprincipe kan als volgt worden beschreven:

Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor 'GELUIDSBRON'
Definitie:
De indicator geeft het aandeel van de bevolking dat niet matig, ernstig of extreem gehinderd EN niet ernstig slaapverstoord is door geluid van 'GELUIDSBRON'.

Gevoeliger door verbetering van onderliggende gegevensbronnen/geluidskarten

De gevoeligheid van het MIRA model is sterk afhankelijk van de onderliggende gebiedsdekkende gegevens. Voor elke sector (weg, lucht, spoor) moet de onderliggende data gevoeliger worden gemaakt. In het licht van het vorige argument is het duidelijk dat het voorspellen van de lagere geluidsniveaus belangrijker wordt. Dit vergroot het contrast met de doelstellingen van de Richtlijn Omgevingslawaai en voedt de hier voorgestelde overgang naar kwaliteitsvolle leefomgevingen voor het aspect geluid in de nieuwe beleidsdocumenten. Voor elk van de sectoren wordt dit verder uitgewerkt (zie secties 0 tot 6.6).

⁵⁸ https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/20181113_eindrapport_SLO4.pdf

6.1.3 Besluit

SLO rapportering als afzonderlijke component

De geaggregeerde hinder zoals uitgewerkt in de huidige MIRA indicatorset wordt niet weerhouden, omdat de indicator niet gevoelig genoeg is. Het belangrijkste argument is het feit dat de variaties in de opeenvolgende actualisaties moeilijk te koppelen zijn aan mogelijke evoluties die gecapteerd worden in de blootstellingsberekeningen. Er is beslist om zonder aanpassingen de SLO-enquêtes als tijdsreeksen te rapporteren per geluidsbron, en eveneens te rapporteren in de vorm van algemene hinder.

Gebiedsdekkende modellen voor de kwaliteit van de leefomgeving, gevoelig voor hinder en slaapverstoring

We stellen een dynamische modellering voor met het oog op een leefomgevingskwaliteitsindicator die gevoelig is aan hinder en slaapverstoring. De indicator integreert:

- verbeterde onderliggende databronnen en geluidskarten;
- alternatieve geluidsindicatoren – indien mogelijk en relevant en eventueel impliciet (zie model);
- gevoeligheid aan de werkelijke respons van de bevolking via de SLO-enquêtes;
- relevante ruimtelijke factoren en ontwikkelingen.

Elk van deze aspecten zijn geluidsbronspecifiek. De principes van de nieuwe ‘MIRA modellen’ wordt geïllustreerd in een voorbeeld voor wegverkeer (zie *sectie 6.3.2*). Verder in dit hoofdstuk worden per geluidsbron de leefomgevingskwaliteitsindicatoren gedefinieerd.



6.2 Indicator ‘Gerapporteerde hinder in Vlaanderen’ (SLO)

6.2.1 Rationale

Dit is de directe rapportering van de SLO-enquêtes, zoals beschreven in de vorige sectie.

6.2.2 Indicatorfiche

Methodefiche indicator	
Naam	Gerapporteerde hinder en slaapverstoring uit het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	De SLO-enquêtes worden in een tijdsreeks uitgezet zonder (methodologische) aanpassingen. Rapportering voor de verschillende geluidsbronnen afzonderlijk, aangevuld met de gerapporteerde algemene hinder (alle bronnen).
Eenheid	Aandeel van de bevolking
Dekking	Gebiedsdekkend voor Vlaanderen
Sector	Alle
Basisjaar	2001
Frequentie	Vier- of vijfjaarlijks
Beschikbaarheid	Opdracht van de Vlaamse Overheid (Departement Omgeving, afdeling Beleidsontwikkeling en Juridische Ondersteuning)
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
De indicator wordt rechtstreeks overgenomen uit de SLO-rapporten van de Vlaamse overheid.	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
Dit is een rechtstreekse weergave van de werkelijke gerapporteerde hinder en slaapverstoring in Vlaanderen.	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
De informatie voldoet aan alle kwaliteitseisen. Verbeteringen worden behandeld in de stuurgroep voor de opdracht van de Vlaamse overheid.	
Internationale vergelijkbaarheid	
Meerdere landen rapporteren vergelijkbare studies.	

6.3 Leefomgevingskwaliteit voor wegverkeer (LG-weg)

6.3.1 Rationale

De gebiedsdekkende geluidskaart voor wegverkeer heeft een belangrijke meerwaarde in vergelijking met de strategische (END-)geluidskaarten. Deze onderliggende geluidskaart is op zich een relevante bron voor andere toepassingen (DALY door VITO, AZG). Uit de SWOT-analyse is echter gebleken dat de afgeleide informatie in de afgeleide hinderindicator niet voldoende gevoelig is voor het gebruik als volwaardig instrument in de beleidsvorming en -ondersteuning.

Dit is een direct gevolg van twee onderliggende factoren: de gestandaardiseerde hinder-responscurve en de gestandaardiseerde (en vrij ongevoelige) L_{den} geluidsindicator. Dit is de directe aanleiding voor de voorgestelde methodologische aanpassingen die zijn weergegeven in *sectie 6.1.2* en gevisualiseerd zijn in *Figuur 17*.

In deze sectie worden de bronspecifieke elementen ingevuld voor het aspect wegverkeer.

De trendbreuk in de hinderrespons voor wegverkeer in de SLO-enquêtes is een belangrijk argument om de methodologie expliciet gevoelig te maken aan de waargenomen variatie en trends in de gerapporteerde hinder, in plaats van vast te houden aan de gestandaardiseerde hinder-responsfuncties.

Uit de SWOT-analyse is duidelijk dat de onderliggende geluidskaart gevoeliger kan worden gemaakt voor een aantal belangrijke parameters. Dit wordt in de volgende sectie uitgebreid behandeld. Een derde element is het gebruiken van alternatieve geluidsindicatoren.

In het WHO Environmental Noise Guidelines rapport uit 2018 wordt vermeld dat de alternatieve indicatoren nog niet sterk genoeg zijn om in deze actualisatie te worden opgenomen, maar dat de ontwikkeling en de eerste resultaten al beschikbaar zijn⁵⁹. Hierbij wordt vooral verwezen naar de 'Intermittency Ratio', een parameter die de 'event-likeness' van de geluidsblootstelling kwantificeert^{60,61}. Deze parameter werkt complementair ten opzichte van L_{den} , en wordt toegepast in een aantal epidemiologische studies^{62,63}. Gezien de sterke standaardisering is het identificeren van bijkomende indicatoren die weinig correleren met L_{den} de aangewezen aanpak.

Een ander wetenschappelijk traject is het 'Community Tolerance Level' (CTL). CTL wordt gedefinieerd als de waarde waarbij de dosis-responscurve de 50 percentielwaarde overschrijdt⁶⁴. In deze context kan een 'één-waarde' parameter geen toegevoegde waarde leveren maar het is wel een efficiënte manier om de verschillen in dosis-responsfuncties te vergelijken.

⁵⁹ World Health Organization. "Environmental noise guidelines for the European region." (2018).

⁶⁰ Wunderli, Jean Marc, Reto Pieren, Manuel Habermacher, Danielle Vienneau, Christian Cajochen, Nicole Probst-Hensch, Martin Rösli, and Mark Brink. "Intermittency ratio: A metric reflecting short-term temporal variations of transportation noise exposure." *Journal of exposure science & environmental epidemiology* 26, no. 6 (2016): 575-585.

⁶¹ Brink, Mark, Beat Schäffer, Danielle Vienneau, Maria Foraster, Reto Pieren, Ikenna C. Eze, Christian Cajochen, Nicole Probst-Hensch, Martin Rösli, and Jean-Marc Wunderli. "A survey on exposure-response relationships for road, rail, and aircraft noise annoyance: Differences between continuous and intermittent noise." *Environment international* 125 (2019): 277-290.

⁶² Héritier, Harris, Danielle Vienneau, Maria Foraster, Ikenna Collins Eze, Emmanuel Schaffner, Laurie Thiesse, Franziska Rudzik et al. "Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland." *European journal of epidemiology* 32, no. 4 (2017): 307-315.

⁶³ Foraster, Maria, Ikenna C. Eze, Emmanuel Schaffner, Danielle Vienneau, Harris Héritier, Simon Endes, Franziska Rudzik et al. "Exposure to road, railway, and aircraft noise and arterial stiffness in the SAPALDIA study: annual average noise levels and temporal noise characteristics." *Environmental health perspectives* 125, no. 9 (2017): 097004.

⁶⁴ Schomer, Paul, Vincent Mestre, Sanford Fidell, Bernard Berry, Truls Gjestland, Michel Vallet, and Timothy Reid. "Role of community tolerance level (CTL) in predicting the prevalence of the annoyance of road and rail noise." *The Journal of the Acoustical Society of America* 131, no. 4 (2012): 2772-2786.

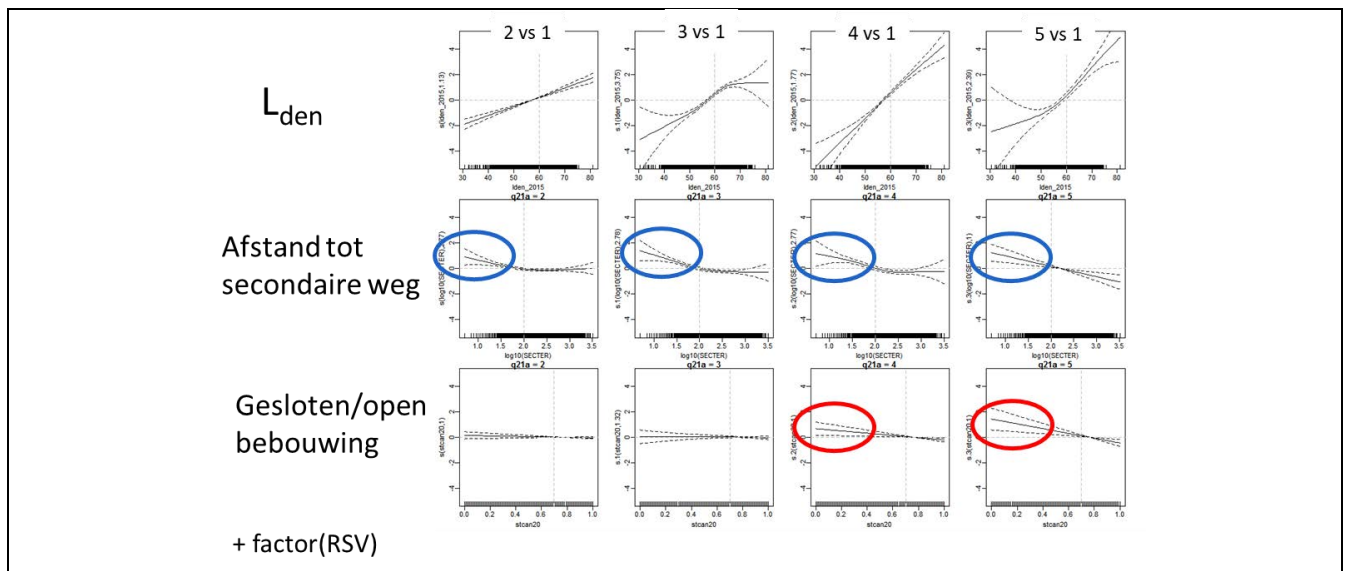


In een recent gestart Europees project ‘Equal-Life’ in het kader van Horizon2020 Exposome⁶⁵ werkt UGent mee aan het definiëren van alternatieve indicatoren om de impact van geluid op de psychologische ontwikkeling te begroten. Binnen deze context (10 cohortes in acht landen) is de nadruk op ruimtelijke voorspellende parameters zeer groot. In het illustratief voorbeeld worden beide aspecten – eventueel geluidsklimaat en ruimtelijke aspecten – al zichtbaar op basis van de SLO-4 enquête (*volgende sectie*).

6.3.2 Een ruimtelijk model voor hinder en slaapverstoring door wegverkeer

In deze sectie wordt de mogelijke werking van een ‘MIRA model’ geïllustreerd volgens de methode voorgesteld op een conferentie in 2018⁶⁶. De gerapporteerde hinder in de SLO-enquête wordt gemodelleerd in een geografisch statistisch model. Een niet-limitatieve lijst van gebiedsdekkende parameters omvat:

- Directe blootstellingsindicatoren (bijvoorbeeld L_{den} van de MIRA-geluidsk kaart);
- Geografische informatie zoals afstand tot een bepaald type weg, open of gesloten omgeving, ruimtelijke context (typering van de zone uit het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen) e.d.



Figuur 17: Concept MIRA model om de hinder door wegverkeer gebiedsdekkend te voorspellen.

Het model toont relatieve response (‘Odds Ratio’) binnen een categorie voor een bepaalde ruimtelijke situatie ten opzichte van de basiscategorie ‘niet gehinderd’ (Figuur 17). De statistische methode is specifiek ontwikkeld voor discrete responsvariabelen (bijvoorbeeld hinder in vijf categorieën) die beschreven worden door een combinatie van continue en discrete variabelen. De gebruikte methode kan niet-lineaire effecten modelleren (‘Multinomial Generalized Additive Model’):

⁶⁵ <https://www.humanexposome.eu/>

⁶⁶ Dekoninck, Luc, Peter Lercher, and Dick Botteldooren. "Spatial mapping of noise measurements and annoyance questionnaires to improve the prediction of traffic noise annoyance." In 11th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Euronoise 2018), pp. 491-496. 2018.

- Hoe hoger L_{den} , hoe groter de response in categorie 2,3,4 en 5 (steilere 'spline' curves).
- Voor een gelijke L_{den} is de hinder in categorie 2, 3, 4 en 5 groter indien de afstand tot de secundaire weg kleiner wordt. Bij secundaire wegen is er een continue verkeersstroom, maar zijn er stille periodes tussen de voertuigpassages. Deze effecten tonen aan dat voor een gelijk geluidsniveau langs secundaire wegen de hinder-respons groter is dan voor een continue geluidsbron (snelwegen en gewestwegen). Dit effect van een 'eventrijk' geluidsklimaat is zeer gelijkaardig aan de eerder vermelde 'Intermittency Ratio'.
- Verder onderzoek zal bepalen of dit aspect expliciet via geluidsparemeters in het model wordt ingevoerd, of onrechtstreeks via de ruimtelijke parameters in het model behouden blijft.
- In categorie 4 en 5 is er een grotere hinder-respons, indien de woning zich in open ruimte bevindt. Dit zijn situaties waarin geluidsbronnen op grotere afstand 'zichtbaar' en dus hoorbaar worden. Dergelijke ruimtelijke parameters zijn een alternatief voor de rechtstreekse berekening van afscherming door gebouwen. Deze aanpak verlaagt het risico van lokale artefacten in de berekeningen of overschatting van de afscherming.

Het model voorspelt op basis van de ruimtelijke configuratie de kans op een bepaalde hinder-respons voor iedere individuele woning. Zo krijgt iedere woning vijf percentages toegekend voor de kans op een hinder-respons in de betreffende categorie (met som = 100 %). Dit model wordt toegepast op alle woningen in Vlaanderen en gewogen met de jaarlijks wijzigende bevolkingsdichtheid.

Nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen worden op deze manier geïntegreerd in het model.

Deze methode is toepasbaar voor zowel hinder en slaapverstoring. Het onderliggende model wordt aangepast bij iedere herhaling van de SLO-enquête. Op deze manier wordt de werkelijke respons, van de burgers inclusief een potentiële trend in de tijd geïntegreerd in de indicator. De modellen voor de opeenvolgende SLO-enquêtes bieden ook de mogelijkheid om een mogelijk selectiebias in de opeenvolgende SLO's te identificeren en te corrigeren – waar nodig.

Het is belangrijk om op te merken dat deze statistische methode niet de enige technologische optie is, en dat bij verder onderzoek alternatieve technieken zoals AI eveneens kunnen worden getest.

Besluit:

Het modeleren van de gerapporteerde hinder-respons en slaap-respons is mogelijk. Het biedt een volledige integratie zoals weergegeven in Figuur 16, en levert een gebiedsdekkende oplossing die ruimtelijk gevoelig wordt aan alle variabelen in de vernieuwde geluidsbelastingskaart (sectie 6.3.3) en de ruimtelijke ontwikkelingen in bevolking en bebouwing.

6.3.3 Gebiedsdekkende geluidskaat: te implementeren verbeteringen

Uit de SWOT-analyse (bijlage A) is duidelijk geworden dat de geluidsbelastingskaart voor Vlaanderen gevoeliger kan worden gemaakt. De analyse identificeerde een aantal beperkingen. Vier specifieke verbeteringen worden weerhouden:

- Het toepassen van de werkelijke snelheid, in plaats van limietsnelheid, op basis van externe data zal de geluidskaat gevoelig maken aan de werkelijk gereden snelheid en de impact van de verkeersremmende maatregelen door de steden en gemeenten.
- De wegdekwaliteit op basis van metingen via metingen. Deze aanpassing koppelt de gemeten wegdekindicator aan het 'MIRA model' wegverkeer.



- Inbrengen van gemeten evoluties van de samenstelling van de vloot. Deze aanpassing koppelt de gemeten indicator voor de geluidsemissie van de werkelijk gebruikte vloot aan het 'MIRA model' wegverkeer.
- In rekening nemen van de afscherming door individuele gebouwen. Het inbrengen van de afscherming door gebouwen is op Vlaamse schaal niet eenvoudig.

Werkelijk gereden snelheid

De dienst Lucht van de VMM heeft externe gegevens van werkelijk gereden snelheden aangekocht voor gebruik bij het helpen bepalen van luchtverontreiniging. Deze data kunnen bijdragen om – bij bepaling van de geluidsblootstelling – over te gaan van de momenteel gehanteerde limietsnelheid op het gebruik van werkelijk gereden snelheden. De voorwaarden voor het gebruik van deze data binnen het thema geluid worden nog verder onderzocht.

Wegdekkwaliteit

In de huidige geluidsbelastingskaart is het wegdek gebaseerd op een oude databank en niet-gebiedsdekkende gegevens. Voor de wegen zonder gegevens over het type wegdek wordt op basis van een statistisch model beslist welk type wegdek wordt geïmplementeerd. Hier kunnen drie trajecten voor verbetering van de huidige methode worden geïdentificeerd.

- 1 Een nieuwe databank is in ontwikkeling maar er is geen einddatum beschikbaar. De databank is geografisch niet-dekkend maar er kan verwacht worden dat de informatie van een hogere kwaliteit is dan de beschikbare databank.
- 2 Het Agentschap Wegen en Verkeer meet de wegdekkwaliteit (CPX-metingen), en dit kan worden toegepast als lokale wegdekcorrectie. Deze informatie is niet gebiedsdekkend, en levert alleen informatie voor de eerste rijstrook op de gemeten wegsegmenten. Voor de andere wegen blijft optie (1) gelden.
- 3 Op basis van de methodologie uit het MobiSense-project waarbij op een opportunistische wijze de kwaliteit van het wegdek gekwalificeerd wordt, kan een gebiedsdekkende correctie toegepast worden. (zie 4.1).

De keuze tussen optie (2) en optie (3) hangt uiteraard samen met de keuze die gemaakt wordt voor de drukindicator in 4.1. In een recente publicatie is het toepassen van de MobiSense ontwikkeling vergeleken met de databank-gebaseerde aanpak in de MIRA geluidkaart ⁶⁷.

Afscherming door gebouwen

Het invoegen van de afscherming door gebouwen is een veeleisende actie. De rekentijd wordt vooral bepaald door het aantal immissiepunten en het aantal reflecties/diffracties om een goede schatting te bekomen van het geluidsniveau aan de stille zijde.

⁶⁷ Dekoninck, Luc, Wout Van Hauwermeiren, Joachim David, Karlo Filipan, and Toon DE. "Opportunistic in-vehicle noise measurements assess road surface quality to improve noise mapping: preliminary results from the MobiSense project." In 23rd International Congress on Acoustics (ICA 2019), pp. 7971-7978. Deutsche Gesellschaft für Akustik, 2019.

In de huidige ontwikkeling is het aantal immissiepunten relatief beperkt (3 miljoen). Indien façadepunten worden toegevoegd, komen hier in grootteorde vier maal het aantal gezinnen in Vlaanderen bij (+10 miljoen). De grootste bijkomende rekenkost zijn echter de extra reflecties en diffracties (factor 5-10) in vergelijking met de huidige implementatie. Dit veronderstelt een perfecte werking van de software, ongeacht de complexiteit van de vorm en het aantal punten in de polygonen voor de woningen. Het doctoraatsonderzoek van Weigang Wei biedt een mogelijkheid om deze complexiteit te reduceren, maar deze functionaliteit moet bijkomend worden geïmplementeerd in de software ontwikkeld door UGent ⁶⁸. De effectieve kost voor het in rekening nemen van afscherming door gebouwen kan zonder gedetailleerd onderzoek niet op korte termijn begroot worden.

Hier verwijzen we nogmaals naar het 'MIRA model' waar een alternatieve aanpak mogelijk is om het effect van bebouwing op de subjectieve hinderrespons te modelleren – zonder deze expliciete berekening van de stille façade. Een beperkende en kritische factor is het niet beschikbaar zijn van een vraag in de SLO-enquête over het al dan niet beschikken over een stille façade. Op vlak van kosten biedt de oplossing via het 'MIRA model' een beter alternatief.

Uit eerder wetenschappelijk onderzoek is bovendien gebleken dat de hinder-respons niet exclusief door de façade-blootstelling wordt bepaald⁶⁹. Dit argument is sterker voor de hinderrespons dan voor de slaapverstoring. Betere informatie over de stille zijde kan het 'MIRA model' op vlak van slaapverstoring versterken, ondanks dat er ook dan onzekerheden en lokale effecten blijven. Een beschikbare stille zijde betekent immers niet automatisch dat deze ook effectief kan worden gebruikt als milderende maatregel, en niet alle gezinsleden zullen even sterk profiteren van dit milderend effect.

Verder onderzoek moet uitmaken hoe sterk het beleid kan en mag focussen op het implementeren van stille façades als milderende maatregel voor de impact van geluid op de bevolking.

⁶⁸ Wei, Weigang, Dick Botteldooren, Timothy Van Renterghem, Maarten Hornikx, Jens Forssén, and Erik Salomons. "Urban background noise mapping: the general model." *Acta Acustica united with Acustica* 100, no. 6 (2014): 1098-1111.

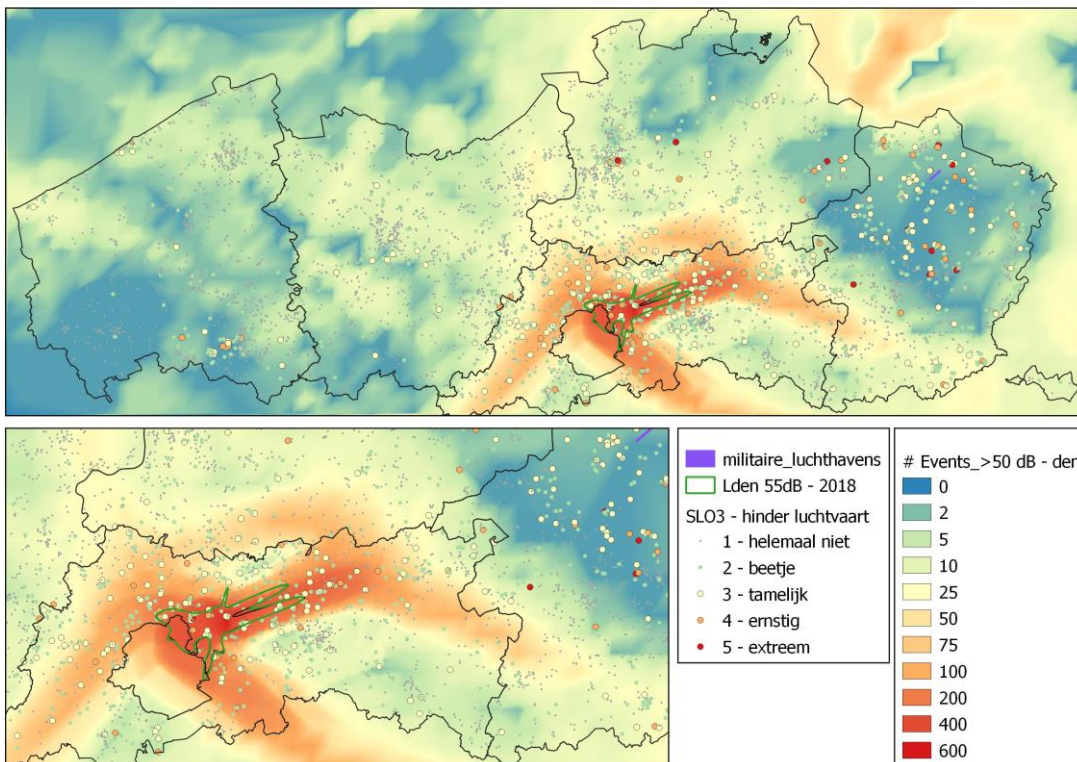
⁶⁹ Botteldooren, Dick, Luc Dekoninck, and Dominique Gillis. "The influence of traffic noise on appreciation of the living quality of a neighborhood." *International journal of environmental research and public health* 8, no. 3 (2011): 777-798.



6.3.4 Indicatorfiche

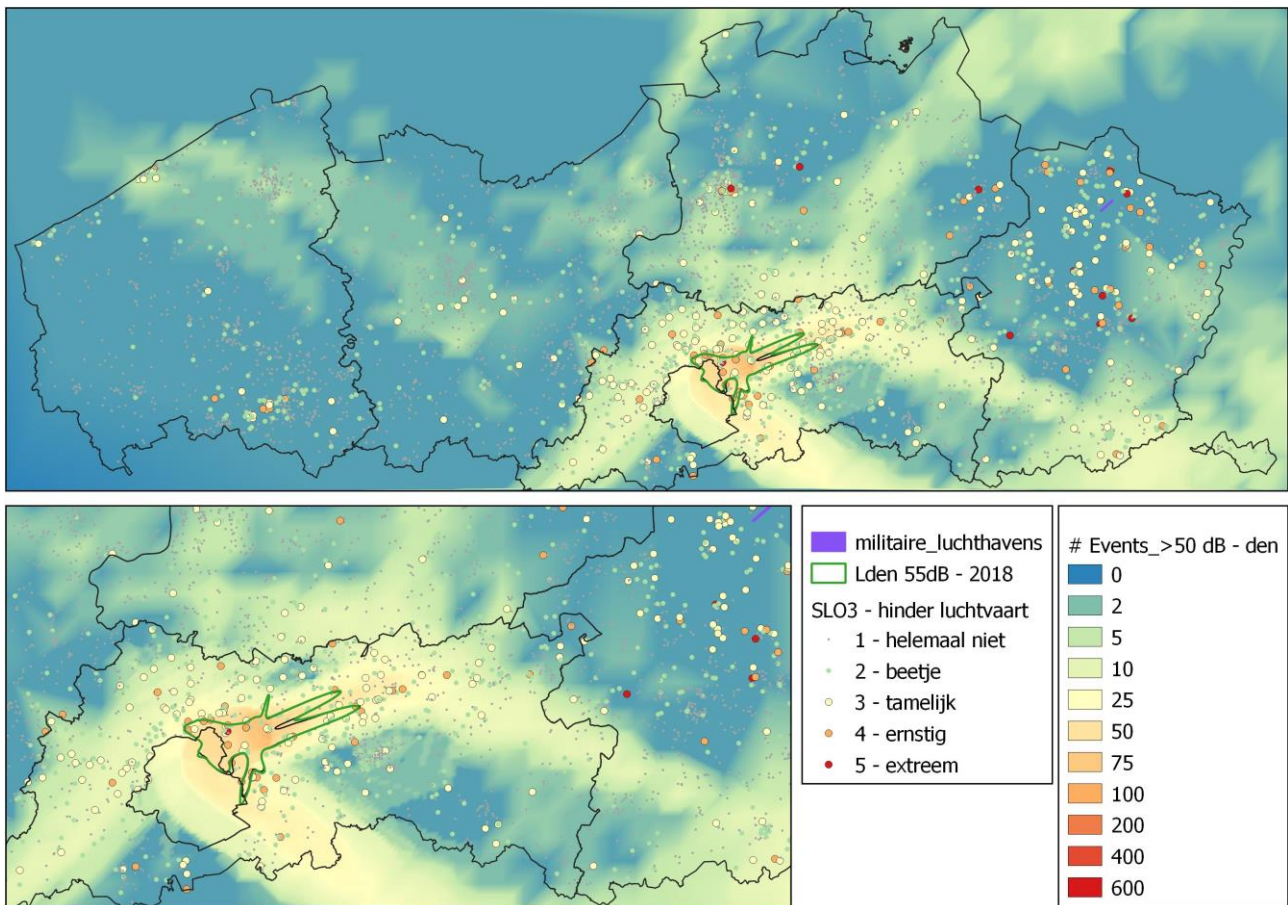
Methodefiche indicator	
Naam	Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor wegverkeer woont
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	Een kwalitatieve geluidsomgeving wordt gedefinieerd als een omgeving waarin personen rapporteren niet matig noch ernstig gehinderd te zijn, en geen slaapverstoring te ondervinden.
Eenheid	Aandeel van de bevolking (%)
Dekking	Gebiedsdekkend
Sector	Wegverkeer
Basisjaar	Niet van toepassing
Frequentie	Jaarlijks
Beschikbaarheid	Nog te bepalen
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
De indicator is gebaseerd op een voorspellend model dat de trends in gerapporteerde hinder en slaapverstoring combineert met blootstellingsgegevens uit een gebiedsdekkende geluidskaart die rekening houdt met lokale verkeersintensiteit, gemiddelde rijsnelheid en toestand van het wegdek en met de globale evoluties van de geluidsemisatie door verkeer op snelwegen en stedelijk verkeer. Daarnaast gebruikt het model ook bijkomende ruimtelijke parameters om de hinder en slaapverstoring nauwkeuriger te voorspellen. Hierdoor wordt impliciet rekening gehouden met ruimtelijke aspecten en indicatoren die verder gaan dan L_{den} en L_{night} .	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
Zie bijhorende rationale	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
Zie bijhorende rationale en te implementeren verbeteringen voor de onderliggende geluidskaart.	
Internationale vergelijkbaarheid	
Dit is een innovatieve aanpak.	

In Figuur 18 worden alle vliegtuigevents met L_{max} groter dan 50 dB(A) weergegeven voor één specifieke dag, samen met de resultaten van de SLO-4-enquête. Ook de L_{den} 55 dB-contour voor 2018 rond Brussels-Airport wordt als voorbeeld weergegeven om de hinder op grotere afstand van de luchthavens te illustreren. Merk op dat heel veel hinder in de provincie Limburg niet correspondeert met deze ruimtelijke indicator. Let op de activiteit rond de luchthaven van Eindhoven en de bijhorende vliegtrajecten die net niet over de grens komen. Deze anomalieën kunnen worden geïdentificeerd, en zullen het mogelijk maken om de hinder door luchtvaart op te splitsen in een militaire en een commerciële component. Het model kan de impact van andere maskerende bronnen in rekening brengen (zoals wegverkeer).



Figuur 18: Aantal vliegtuigevents met $L_{max}>50$ dB(A) over 24 uur (maandag 15 juli 2019).

In Figuur 19 worden alle vliegtuigevents met L_{max} groter dan 50 dB(A) weergegeven voor één specifieke nacht (23:00 – 07:00). De nachtelijke activiteit op de luchthaven Luik is zichtbaar in het zuiden van Limburg. Merk de bijdrage van vliegtuigpassages op grotere hoogte van west naar oost. Dit zijn vertrekkende vliegtuigen van de Londense luchthavens met een bestemming in het verre oosten en India (net voor de sluitingstijd). De laatste vertrekkende vluchten van Schiphol met een zuidelijke bestemming zijn nog aan het klimmen naar kruishoogte boven Antwerpen.



Figuur 19: Aantal vliegtuigevents met $L_{max} > 50$ dB(A) tijdens de nacht (23u-07u) (maandag 15 juli 2019).

6.4.3 Een ruimtelijk model voor hinder en slaapverstoring door luchtverkeer

De blootstellingsgegevens en de gerapporteerde hinder voeden een statistisch model volgens dezelfde principes als gevolgd in het 'MIRA model' wegverkeer (sectie 6.3.2).

De keuze van de gepresenteerde geluidsindicator 'Aantal events boven $L_{max} > 50$ dB(A)' is een arbitraire keuze ter illustratie van de mogelijkheden van de rekenmethode voor de blootstelling in de uitwerking van het MIRA model voor luchtverkeer zullen meerdere geluidsindicatoren opgenomen worden in zowel 'aantal events' als 'blootstelling in L_{Aeq} ', al dan niet gespecificeerd voor de dag, avond en nacht. De statistische analyses zullen uitwijzen welke indicator de sterkste factor wordt in het MIRA model. Dergelijk model kan ook de invloed van eventuele maskering van vliegtuigevents door andere geluidsbronnen aan het model toe te voegen. De gebiedsdekkende geluidskaat voor wegverkeer is hier om evidente redenen de eerste keuze.

Deze methode wordt toepasbaar voor zowel hinder als slaapverstoring. De indicator geeft het aandeel van de bevolking dat niet matig tot ernstig gehinderd en niet slaapverstoord is door de luchtvaart.

Het voorspellend model kan jaarlijks worden geactualiseerd voor de blootstellingscomponent. Bij iedere nieuwe SLO-enquête wordt ook de responscomponent geactualiseerd. De methode is gevoelig aan de trends in de hinder-response van de bevolking, de evolutie van de vloot en wijzigingen in aanvliegroutes.



De SLO-enquête heeft geen hoge resolutie in de omgeving van Brussel Airport. De statistische analyse bij de ontwikkeling van deze indicator zal uitwijzen of deze aanpak aansluit bij de gestandaardiseerde dosis-responsrelaties.

Het model voorspelt op basis van de ruimtelijke configuratie de kans op een bepaalde hinder-respons voor iedere individuele woning. Zo krijgt iedere woning vijf percentages toegekend voor de kans op een hinder-respons in de betreffende categorie (met som = 100 %). Dit model wordt toegepast op alle woningen in Vlaanderen en gewogen met de jaarlijks wijzigende bevolkingsdichtheid. Nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen worden op deze manier geïntegreerd in het model.

6.4.4 Technologische opties en mogelijke synergiën

Bovenstaand voorbeeld toont de mogelijkheden tot eigen ontwikkeling van dergelijke indicator bij UGent. ADS-B data worden gebruikt in verschillende commerciële toepassingen. Rudi Geens bracht ons in contact met dhr. Wouter Beckers, werkzaam bij een incubator die deel uitmaakt van het Airbus-consortium. Deze bouwt een reeks tools (onder de werknaam 'GlobeNoise') die eveneens gebruik maken van ADS-B data. Op een persoonlijk contact werd een demonstratie gegevens van de beschikbare functionaliteit. Het voorgestelde 'MIRA model' ligt buiten de huidige scope van het project, maar uitbreidingen zijn mogelijk.

Dit betekent dat een synergie kan worden gerealiseerd, indien Departement Omgeving de GlobeNoise-functionaliteit wil verwerven.

Piste 1: Het 'MIRA model' wordt inclusief blootstellingsmodule ontwikkeld.

Piste 2: De blootstellingscomponent wordt uitgevoerd door derden en aangeleverd voor modellering en rapportering in de MIRA indicatorset.

Deze commerciële modellen werken meestal op radargegevens die door de officiële instanties worden aangeleverd. De eerste commerciële toepassingen die zich baseren op de ADS-B data zijn echter in ontwikkeling, waaronder een initiatief van een incubator-cel van het Airbus Defence and Space Department⁷⁴.

⁷⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=3MB2CDKOyD4&feature=youtu.be>

6.5 Leefomgevingskwaliteit voor spoorverkeer (LG-Spoor)

6.5.1 Rationale

Op basis van de SWOT-analyse is beslist om geen MIRA specifieke geluidskaat te berekenen voor spoorverkeer, maar gebruik te maken van de geluidskaarten die in het kader van de Europese Richtlijn Omgevingslawaaai bepaald worden.

Net zoals bij wegverkeer worden een aantal segmenten niet meegenomen in de RO-modellen, maar in verhouding tot wegverkeer zijn dat er veel minder. In het ‘MIRA model’ voor hinder en slaapverstoring zullen deze segmenten afzonderlijk meegenomen worden. Er is een bijkomend argument om deze aanpak te volgen: geluidshinderstudies tonen aan dat bij minder intens gebruikte spoorlijnen het niveau van hinder lager ligt.

Het ‘MIRA model’ kan hetzelfde stramien volgen als het model voor wegverkeer om impliciet de relatie tussen blootstelling en hinder alsook de bijkomende blootstellingsindicatoren te bepalen. Het data-gedreven model zal gebruik maken van:

- berekende L_{den}/L_{night} uit de RO-kaarten,
- afstand tot de dichtste spoorlijn,
- aantal passages op die spoorlijn,
- bebouwingsgraad tussen het waarnemingspunt en de spoorlijn,
- de trend in gemiddelde geluidsemisssie van spoorvoertuigen (sectie 4.5).

Afscherming door woningen, geluidsschermen, grondgesteldheid ... worden reeds in de RO-kaarten in rekening gebracht.

6.5.2 Indicatorfiche

Methodefiche indicator	
Naam	Aandeel van de bevolking dat in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor spoorverkeer woont
TECHNISCHE INFORMATIE	
Specificatie van de indicator	
Definitie	Een kwalitatieve geluidsomgeving wordt gedefinieerd als een omgeving waarin personen rapporteren niet matig noch ernstig gehinderd te zijn en geen slaapverstoring te ondervinden.
Eenheid	Aandeel van de bevolking (%)
Dekking	Gebiedsdekkend, zij het met lagere accuraatheid buiten bereik DO
Sector	Spoorverkeer
Basisjaar	Nog te bepalen
Frequentie	Voor deze indicator is een vijfjaarlijkse actualisatie de enige mogelijkheid door de combinatie van SLO en RO.
Beschikbaarheid	Nog te bepalen
Verstoringketen	D P S I R
Methodologische beschrijving	
De indicator is gebaseerd op een geografische extrapolatie van de SLO-enquêtes op basis van een geluidskaart in het kader van RO.	
KWALITEIT VAN DE INDICATOR	
Verantwoording indicatorkeuze en mogelijke verbeteringen	
Zie sectie 6.1. Wordt verder uitgewerkt bij implementatie.	
Datakwaliteit, methodekwaliteit en mogelijke verbeteringen	
Wordt verder uitgewerkt bij implementatie.	
Internationale vergelijkbaarheid	
Dit is een innovatieve aanpak.	
Referenties	
Dit is een innovatieve aanpak.	



6.7 Gezondheidsimpact via DALY

6.7.1 Rationale

In een parallel traject wordt de gezondheidsimpact op de bevolking voor een aantal gezondheidseffecten al begroot. Dit gebeurt meestal onder de vorm van de gestandaardiseerde DALY-methode. Verloren levensjaren heeft het voordeel dat de impact van het milieuthema geluidshinderthema geluid kan worden vergeleken met andere gezondheidsthema's (stressoren) zoals luchtverontreiniging.

De Universiteit Gent levert voor dergelijke evaluatie door derden de geluidcomponent aan op basis via de MIRA geluidskaart voor wegverkeer. Dit ondersteunt de relevantie van de geluidskaart voor wegverkeer als geografische referentielaag. Vergelijkbare toepassingen kunnen beschikbaar komen voor lucht- en spoorverkeer.

6.7.2 DALY toepassingen op basis van de MIRA geluidskaart voor wegverkeer

6.7.2.1 DALY binnen de MIRA context

In MIRA wordt op geregelde tijdstippen een actualisatie uitgevoerd voor de gezondheidsimpact van verschillende stressors. Uit deze evaluaties blijkt dat geluid de tweede belangrijkste component is in de gezondheidseffecten⁷⁵.

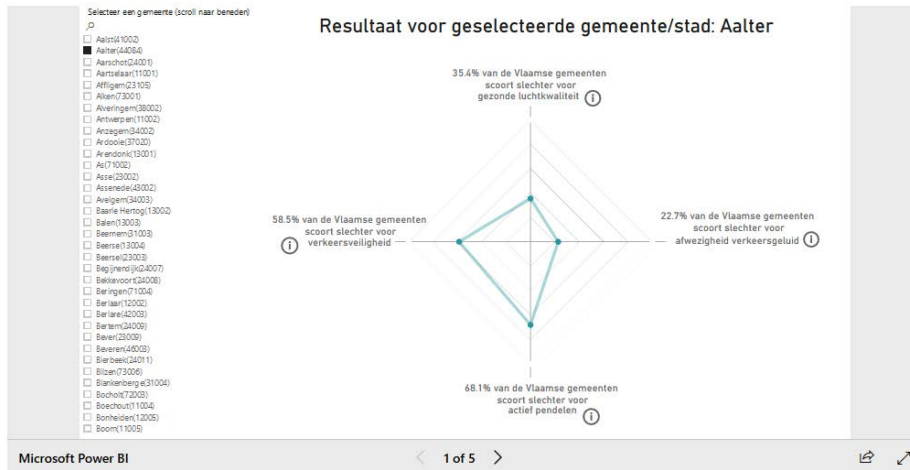
6.7.2.2 Lokale gezondheidsindicator

Een typisch voorbeeld van het gebruik van DALY's is de Lokale gezondheidsindicator. Hierbij wordt per gemeente, een multidimensionale index opgebouwd waarvan de geluidscomponent wordt gevoed via een DALY functie op basis van de geluidskaart voor wegverkeer.

⁷⁵ <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/milieu-gezondheid/dalys/totaal-verloren-gezonde-levensjaren-daly2019s-door-milieuverstoringen>



Raadpleeg de cijfers voor uw gemeente



Figuur 20: Voorbeeld uit de lokale gezondheidsindicator.

6.7.2.3 Analyse van omgevingslawaai en luchtverontreiniging in functie van ruimtelijk beleid

Geluid heeft een relevante beleidscomponent in de ruimtelijke langetermijn ontwikkelingen. In een recent project ⁷⁶, in opdracht van het Agentschap Zorg en Gezondheid werd een evaluatie op gemeentelijke schaal (zie Figuur 20). De toepasbaarheid van de L_{den}-kaart wordt positief geëvalueerd.

6.7.3 Besluit

De rapportering in DALY gebeurt frequent in diverse contexten. Het is een optie om dergelijke rapportering te integreren binnen het MIRA milieuthema geluidshinderthema geluid. In dat geval wordt een bijpassende indicatorfiche opgemaakt.

⁷⁶ https://www2.ruimte.vlaanderen.be/ruimtelijk/onderzoek/studies/lucht_lawaai_2015DI.pdf

blootstelling is in een gezondheid gerelateerd project, dan is dit een mogelijk synergie voor de ontwikkeling van de MIRA modellen.

- Er moet verder onderzocht worden of de implementatie van modellen en meetnetten kan ingepast worden in een hoger strategisch kader. Er zijn projecten lopende voor de verdere digitalisering van de Vlaamse overheid. Vooral de ontwikkeling van het VOP-platform bij het Vlaamse Planbureau voor Omgeving biedt hier mogelijkheden. Het traject voor de blootstellingsindicator via Citizen Science metingen is een voorbeeldproject in dit perspectief. Er zijn ook synergiën mogelijk in het kader van de biomonitoring- en gezondheidsprojecten bij Team Omgeving en Gezondheid en het Agentschap Zorg en Gezondheid.



7.2 Taken en budget per voorgestelde indicator

In Tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de deeltaken per indicator. In Tabel 7 wordt volgens dezelfde structuur een voorlopige schatting van de benodigde budgetten meegegeven.

Indicator	Ontwikkelkost (eenmalig)	Terugkerende kost
Gemeten evolutie van de geluidsemissie van individuele vliegbewegingen per luchthaven	Verder verfijnen van de indicator op basis van voorbeeldmetingen	Verzamelen basisgegevens voor de drie luchthavens. Verwerken en bespreken metingen
Evolutie van de geluidsemissie van de treinstellen op het spoorwegennet in Vlaanderen	Verder verfijnen van de indicator op basis van aangeleverde data van Infrabel	Verwerken en bespreken van de gegevens aangeleverd door Infrabel
Rolgeluidsemissie van de wegdekken in Vlaanderen		CPX: verwerken, bespreken en analyseren Mobisense: data aankopen
Evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot op snelwegen	Operationeel maken van 4 tal extra meetposten	Verkeersintensiteit, wegdek, meteo – correctie op de ruwe data (ML ⁷⁷)
Evolutie van de geluidsemissie van individuele voertuigen op lokale en secundaire wegen	Meetopstellingen (eventueel samen met LEZ, Smart cities)	Statistische verwerking, opkuisen van foute metingen; afhankelijk van de kwaliteit v.d. data (ML)
Evolutie van de geluidsblootstelling aan de woningen in Vlaanderen	Uitrollen van een citizen's science netwerk, ontwikkeling van een robuuste indicator op basis van deze metingen.	Ondersteuning, vernieuwen hardware, verwerking tot bruikbare trend (ML)
Gerapporteerde hinder en slaapverstoring uit het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek		Overnemen en bespreken
Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor wegverkeer	Aanpassing rekenmodel kaarten, includeren van gegevens drukindicatoren, ML model voor kwaliteit bouwen	Koppeling naar drukindicatoren + externe data, geluidskaart herrekenen, aanpassen aan nieuwe SLO (5 jaarlijks)
Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor luchtverkeer	Bouwen van gebiedsdekkend model, ML model voor kwaliteit bouwen	Koppelen vlieggegevens, emissies aanpassen, doorrekenen, model voor kwaliteit herrekenen
Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor spoorverkeer	ML model voor kwaliteit bouwen	Model voor kwaliteit herrekenen

Tabel 6: Overzicht van de taken voor de ontwikkeling en actualisatie van de nieuwe en vernieuwde indicatoren.

⁷⁷ ML staat voor Machinaal Leren, een data gedreven aanpak om jaarlijks de significante trends uit de metingen te halen.

<i>indicator</i>	Ontwikkelkost (eenmalig)	Terugkerende kost
<i>Gemeten evolutie van de geluidsemissie van individuele vliegbewegingen per luchthaven</i>	4000 €	3 000 €
<i>Evolutie van de geluidsemissie van de treinstellen op het spoorwegennet in Vlaanderen</i>	4000 €	4 000 €
<i>Rolgeluidsemissie van de wegdekken in Vlaanderen</i>		2 000 € ⁷⁸ 40 000 € ⁷⁹
<i>Evolutie van de geluidsemissie van de voertuigvloot op snelwegen</i>	30 000–50 000 € ⁸⁰	6000-8000 €
<i>Evolutie van de geluidsemissie van individuele voertuigen op lokale en secundaire wegen</i>	10 000–30 000 € ⁸⁰	3000-6000 €
<i>Evolutie van de geluidsblootstelling aan de woningen in Vlaanderen</i>	30 000–50 000 €	30 000 € ⁸¹
<i>Gerapporteerde hinder en slaapverstoring uit het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek</i>		1000 €
<i>Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor wegverkeer</i>	15 000-35 000 € ⁸²	20 000-30 000 € ⁸³
<i>Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor luchtverkeer</i>	25 000 € ⁸⁴	10 000 €
<i>Aandeel van de bevolking dat woont in een kwaliteitsvolle geluidsomgeving voor spoorverkeer</i>	15 000 €	5 000 €

Tabel 7: Ruwe schatting van de kostprijs voor bijkomende ontwikkeling van de voorgestelde indicatorset en terugkerende kost.

⁷⁸ Op basis van CPX-gewestwegen

⁷⁹ Op basis van gebiedsdekkende opportunistische metingen (Mobisense)

⁸⁰ Uitrol van bijkomende meetposten (kostprijs apparatuur)

⁸¹ Deze kostprijs omvat een regelmatige vernieuwing en uitbreiding van *Citizen Science* nodes.

⁸² Afhankelijk van gekozen opties voor uitbreiding geluidskaart

⁸³ Zonder eventuele kostprijs van het aankopen van data (e.g. snelheden van be-mobile)

⁸⁴ In de veronderstelling van ontwikkeling van een eigen MIRA model; bij aankoop van derden (bv. Airbus) verschuift de kostprijs naar een jaarlijkse kost. Indien deze toepassing niet onder 'niet-commerciële toepassingen' valt volgens de definitie van OpenSky.org dan kan de kost verder oplopen.

Bijlagen





Geluidshinder

Evaluatie van de MIRA indicatorset

Bijlagen

INHOUDSTAFEL

Inhoudstafel.....	3
Inhoudstafel figuren.....	5
Inhoudstafel tabellen.....	5
A. SWOT-analyse van de bestaande indicatoren.....	6
A.1 Wegverkeer.....	6
A.1.1 Percentage van de bevolking blootgesteld aan wegverkeersgeluid (S).....	6
A.1.2 Indicatoren op basis van metingen.....	11
A.1.3 Indicatoren met betrekking tot het wagenpark.....	13
A.2 Luchtverkeer.....	15
A.2.1 Aandeel van de bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond de luchthavens Brussels Airport, Oostende, Antwerpen en Kortrijk.....	15
A.2.2 Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorrleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven $L_{Aeq, 1sec, max}>75$ dB(A).....	17
A.3 Spoorverkeer.....	19
A.3.1 Geluidskaart spoorverkeer.....	19
A.4 Impactindicatoren.....	20
A.4.1 Potentieel ernstig gehinderden.....	20
B. Samenvatting brainstormsessie 21/10/2019.....	22
B.1 Doel van de brainstormsessie.....	22
B.2 Algemene evaluatie van de brainstormsessie.....	22
B.3 Aanwezigen.....	23
C. Longlist indicatoren.....	24
C.1 Longlist Wegverkeer.....	24
C.1.1 Percentage van de bevolking blootgesteld aan wegverkeersgeluid (S).....	24
C.1.2 Indicatoren met betrekking tot het wagenpark.....	25
C.1.3 Indicator met betrekking tot het wegdek.....	26
C.1.4 Indicator met betrekking tot geluidsschermen.....	26
C.2 Longlist Luchtvaart.....	27
C.2.1 Aandeel van de bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond de luchthavens Brussels Airport, Oostende, Antwerpen en Kortrijk.....	27
C.2.2 Geluidsmonitoring van bewegingen in aantal events per startbaan.....	27
C.2.3 Gebiedsdekkende blootstellingsindicator luchtvaart in L_{den} of in aantal events.....	28
C.3 Longlist Spoorverkeer.....	30
C.3.1 Heropstarten van de gebiedsdekkende geluidskaart voor spoorverkeer.....	30
C.3.2 Monitoring van de evolutie van de vloot van rollend materieel.....	31
C.3.3 Monitoring van de kwaliteit van de sporen.....	31
C.4 Longlist Hinder en impactindicatoren.....	32

////////////////////////////////////

C.4.1	Info over de hinder en impactindicatoren	32
C.4.2	Potentiële hinderindicator	32
C.4.3	Wijzigingen, uitbreidingen en alternatieven.....	32
C.5	Monitoring als basis voor meerdere indicatoren	34
C.5.1	Voordelen van monitoring	34
C.5.2	SWOT-analyse algemeen monitoringsplatform	34
C.5.3	Van geluidsparameter naar indicator	35
C.5.4	Mogelijke paden naar een vast monitoringsnetwerk.....	36
C.5.5	Overzicht van bestaande initiatieven, technische mogelijkheden en eigen contacten	38
C.5.6	Tijdelijke meetposten.....	39
D.	Shortlist indicatoren.....	40
D.1	Criteria om een potentiële wijziging op de nemen in de shortlist.....	40
D.1.1	OESO-selectiecriteria	40
D.1.2	Prioriteit/evenwicht tussen verschillende geluidsbronnen binnen MIRA.....	40
D.1.3	Beschikbaarheid en/of kost van de externe data	40
D.1.4	Praktisch te realiseren?.....	40
D.1.5	Beslissingsschema	41
D.2	Wegverkeer	41
D.2.1	Percentage van de bevolking blootgesteld aan wegverkeersgeluid (S)	41
D.2.2	Gemiddelde gehomologeerde geluidsemmissie van nieuw verkochte wagens per brandstoftype.....	42
D.2.3	Typische geluidsemmissie door verkeer op snelwegen (ANNE meetpunt Wetteren).....	42
D.2.4	Indicator met betrekking tot het wegdek.....	43
D.2.5	Indicator met betrekking tot geluidsschermen	43
D.3	Luchtverkeer	44
D.3.1	Aandeel van de bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond de luchthavens Brussels Airport, Oostende, Antwerpen en Kortrijk.....	44
D.3.2	Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorrleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven $L_{Aeq, 1sec, max} > 75 \text{ dB(A)}$	44
D.3.3	Gebiedsdekkende blootstellingsindicator luchtvaart in L_{den} of in aantal events.....	45
D.4	Spoorverkeer	46
D.4.1	Gebiedsdekkende geluidskaart spoorverkeer	46
D.4.2	Monitoring van de evolutie van de vloot van rollend materieel	46
D.4.3	Monitoring van de kwaliteit van de sporen.....	46
D.5	Hinder en impactindicatoren	47
D.5.1	Potentieel ernstige hinder	47



INHOUDSTAFEL FIGUREN

Figuur 1: Indicator 'Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorreleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven $L_{Aeq, 1sec, max} > 75 \text{ dB(A)}$ '	18
Figuur 2: Ernstige hinder door luchtvaart in Vlaanderen in de SLO 0 tot SLO 3.	28
Figuur 3: Ernstige hinder door spoorverkeer in Vlaanderen in de SLO 0 tot SLO 3, inclusief de strategische geluidskaat.	30

INHOUDSTAFEL TABELLEN

Tabel 1: SWOT-analyse wegverkeer, databronnen.	9
Tabel 2: SWOT-analyse wegverkeer, methodologie.	10
Tabel 3: SWOT-analyse gemeten indicatoren wegverkeer.	12
Tabel 4: Nieuwe EU-wetgeving voorziet in het reduceren van de geluidsemisatie van individuele voertuigen van de huidige pass-by SPB 74 dB(A) naar SPB 68 dB(A).	14
Tabel 5: SWOT: Bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond luchthavens.	16
Tabel 6: SWOT-analyse voor vliegtuiggecorreleerde events.....	18
Tabel 7: SWOT-analyse hinderindicator.	21
Tabel 8: Overzicht van de uitnodigingen en aanwezigheden op de brainstormsessie.	23



A. SWOT-analyse van de bestaande indicatoren

A.1 Wegverkeer

A.1.1 Percentage van de bevolking blootgesteld aan wegverkeersgeluid (S)

Aandeel van de bevolking blootgesteld aan $L_{den, geluidskaart} > 65 \text{ dB(A)}$ Aandeel van de bevolking blootgesteld aan $L_{Aeq, dag, geluidskaart} > 65 \text{ dB(A)}$

Hierna volgt een samenvatting van de SWOT-analyse:

Strengths:

- De basis is een gebiedsdekkende geluidskaart op basis van kwalitatief goede en stabiele data met veel toepassingen voor o.a. hinderonderzoek.
- De geluidsemissie is conform CNOSSOS-EU (Environmental Noise Directive).
- Het koppelen van het geïdealiseerde netwerk van het verkeerscentrum aan OpenStreetMap en het gebruik van een intelligent immissiepuntengrid resulteert in een goede geografische kwaliteit zonder lokale extremen.
- De verkeersgegevens zijn beschikbaar op het uitgebreid netwerk van het Vlaams verkeerscentrum. In de praktijk is dit tot het niveau van de verbindingen tussen de dorpskernen. Het verkeer op de lagere-orde wegen is niet gekend.
- De indicator 'Percentage van de bevolking potentieel ernstig gehinderd door geluid' is afhankelijk van deze indicator. Wegverkeer is meest alomtegenwoordige geluidsbron voor hinder, de meest significante en het meest gevoelige onderdeel in deze hinderindicator.
- De bevolkingsgegevens zijn gedetailleerd tot op een gemiddeld aantal personen per wooneenheid per statistische sector. Dit is de hoogste resolutie die beschikbaar is op basis van algemeen beschikbare bronnen (wooneenheden via het CRAB adressenbestand en bevolkingsgegevens per statistische sector). De bevolkingsgegevens worden sinds 2018 jaarlijks up-to-date gebracht (in tegenstelling tot 10-jaarlijks in het verleden).
- De bevolking wordt niet verdeeld over gebouwen. Impliciet wordt het niveau aan de meest blootgestelde façade gebruikt. Hiermee is de methode compatibel met de recentste aanpassing in RL 2020/367¹. Voorheen liet de CNOSSOS rekenmethode een verdeling van de bewoners over alle gevels toe.

¹ RICHTLIJN (EU) 2020/367 VAN DE COMMISSIE van 4 maart 2020 tot wijziging van bijlage III bij Richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement en de Raad wat de vaststelling van bepalingsmethoden voor de schadelijke effecten van omgevingslawaai betreft

Weaknesses:

- De snelheid is een ‘free-flow’ snelheid op de wegsegmenten. De geluidskaart is hierdoor niet gevoelig aan lokale maatregelen voor snelheidsreductie – een mogelijke maatregel in actieplannen – of congestie. Een meer gevoelige typische snelheid op een wegsegment kan vooral in de steden en dorpskernen een betere weergave zijn van de werkelijke geluidsblootstelling.
- Geen afscherming door gebouwen.
- Wegdekkwaliteit: de geluidskaart werd op dit ogenblik met een weg databank uit 2011 en een “standaard” correctie voor wegdek.
- Propagatie is niet conform CNOSSOS-EU maar de afwijking is alleen relevant bij afscherming (schermen en gebouwen).
- De CNOSSOS-EU methode voorziet op dit ogenblik geen actualisatie van de emissie per voertuigcategorie. De geluidskaart is niet gevoelig voor effecten van een mogelijke evolutie naar een stillere vloot als gevolg van de verwachte reductie van de geluidsemisssie op basis van de Europese wetgeving ².
- Bermen worden op dit ogenblik niet ondersteund. Ook de propagatie methode is niet geschikt om bermen accuraat in de modellen in te brengen.

Opportunities:

- In de overstap van MIMOSA naar PROMOVI A is de tijdsresolutie van de gegevens gewijzigd: van uurlijkse data voor een geheel jaar inclusief de effectieve gemiddelde snelheid naar een jaargemiddeld per periode van de dag per wegsegment zonder specifieke snelheidsinformatie. De verkeersdata wordt aangeleverd in 5 periodes waarmee de DEN gegevens moeten worden samengesteld: dag-periode volgens $L_{den} = \text{som van ochtendspits, dag_rest en avondspits};$ avond = avond, nacht = nacht.
Kan hier de snelheidsinformatie en/of de uurlijkse informatie opnieuw worden aangeleverd?
- Verbetering van de wegdekkwaliteit via databanken of via metingen.
- In de MIRA-S scenario-evaluaties (2010) werd de impact van hybride voertuigen gesimuleerd, omdat dit gezien werd als een relevante evolutie voor de vloot in Vlaanderen. Deze trend heeft zich niet doorgezet.
De laatste jaren is er wel sprake van een ‘ont-dieseling’ van het wagenpark, en diesels hebben een hogere geluidslimiet in de EU-productnormering. Het is technisch mogelijk om de berekeningen gevoelig te maken aan de evolutie van het wagenpark door op statistische basis rekening te houden met strenger wordende EU-normen voor banden- en motorgeluid.
- Lokale wijzigingen van de vloot zijn ook te implementeren in de geluidskaart. Op deze manier kan de geluidskaart gevoelig gemaakt worden voor de potentiële impact van lage emissiezones. Oudere dieselveertuigen worden verboden, diesels zijn luider dan benzinewagens zodat deze maatregelen een indirect effect hebben op de gemiddelde geluidsemisssie van de vloot binnen een LEZ.

Threats:

- De berekeningen worden uitgevoerd met ‘in-huis’ ontwikkelde software bij UGent. Deze software moet verder onderhouden worden.
- De commerciële software is niet efficiënt genoeg om berekeningen uit te voeren op Vlaamse schaal tegen de huidige kostprijs.

² REGULATION (EU) No 540/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC



- Afscherming door gebouwen in rekening brengen in de huidige berekeningen zal door rekenkundige beperkingen kunnen resulteren in een onderschatting van de blootstelling.
- Er is een tijdelijke daling van de kwaliteit van de verkeersgegevens op de lagere-orde wegen in het netwerk van het Vlaams verkeerscentrum. Dit is het gevolg van de transitie van tellussen naar het camera gebaseerd ANPR-systeem. Een samenspel van technische en juridische aspecten hebben als gevolg dat de verkeersgegevens in 2017 en 2018 een extrapolatie zijn van de oudere data in plaats van een effectieve meting.



Methodologie						
	Geluidskaart - emissie: CNOSSOS-EU geluidsbron (auto, lichte vracht en vracht)					
			Conform END	Snelheid; geen trends ten gevolge van evolutie in EU normen en werkelijk wagenpark, gebruikte banden, werkelijke toestand van de weg	meetposten werkelijke emissie (cf. EDAR)	
	Geluidskaart - propagatie: ISO9613-2					
			Snelle rekenmethode, goede resultaten voor eenvoudige propagatiesituaties, in-house software	oude rekenmethode, niet conform END (maar niet verschil)	Betere rekenmethode gebruiken Optie: Harmonise P2P (in-house, maar misschien te traag) en beter dan CNOSSOS	In-house software UGent
	Geluidskaart - afscherming door woningen					
		geen afscherming door woningen meegenomen	snelle rekenmethode	geen afscherming door woningen dus lage emissie en verkeersvrije zones in steden niet voldoende verrekend	Invoegen woningen; Qside model voor meervoudige reflectie; Rekenkost, haalbaarheid? toegevoegde waarde?	Risico op introduceren van onderschattingen in afgeschermd zones als gevolg van de pogingen om de kwaliteit te verbeteren (zie Qside)
	Geluidskaart - geluidsschermen, volgens ISO schermformules					
			snelle rekenmethode; geen details nodig	ISO schermformules zijn niet state-of-the-art voor bermen en complexe schermvormen; sommige maatregelen worden onvoldoende verrekend	Harmonise P2P is een oplossing, maar is rekenkracht haalbaar?	
	Geluidskaart - bodem/bermen					
		Harde bodem aan bron, zachte bodem in omgeving, geen bermen of taluds in rekening gebracht				
			Standaard ISO grondmodel, relatief snel, gevalideerd met END kaarten	Geen harde bodem in stedelijke omgeving kan onderschatting geven.	Harmonise P2P is een oplossing, maar is rekenkracht haalbaar?	Databronnen voor nauwkeuriger model beschikbaar
Indicator						
	Aandeel van de bevolking blootgesteld aan Lden, geluidskaart > 65 dB(A)	MINA doelstelling	conform internationale standaarden; gebiedsdekkend; doorzichtig	gezondheidseffecten onder 65 dB(A), beperkte ont koppeling		meerwaarde t.o.v. END?
	Aandeel van de bevolking blootgesteld aan LAeq, dag, geluidskaart > 65 dB(A)	MINA doelstelling	conform internationale standaarden; gebiedsdekkend; doorzichtig	gezondheidseffecten onder 65 dB(A); beperkte ont koppeling		meerwaarde t.o.v. END?

Tabel 2: SWOT-analyse wegverkeer, methodologie.

////////////////////////////////////

A.1.2 Indicatoren op basis van metingen

Er zijn twee indicatoren die gebaseerd zijn op metingen. Beide zijn niet recent geactualiseerd.

Aandeel van de bevolking blootgesteld aan $L_{Aeq,dag, steekproef}$
Meetnet ANNE - typische geluidsemissie door verkeer op snelwegen

- De indicator op basis van de steekproef is zeer arbeidsintensief, bijgevolg zeer duur, en wordt om deze reden niet meer uitgevoerd. Technologische evoluties laten andere mogelijkheden toe.
- Het meetpunt in Wetteren is op zich een nuttige indicator voor het opvolgen van de typische geluidsemissie door verkeer op snelwegen, maar is zeer gevoelig aan lokale omstandigheden (overgang naar fluiterasfalt, trajectcontrole ...).

Deze gemeten indicatoren hebben het belangrijke voordeel dat ze het effect van maatregelen m.b.t. wegverkeersgeluid daadwerkelijk kunnen laten zien, en zo de ontkoppeling tussen activiteit en impact in de verf kunnen zetten. In hun huidige vorm zijn ze echter niet verder bruikbaar.

Een indicator, die gevoed wordt door metingen en daarbij één of meerdere factoren in het complex verhaal van geluidsemissie en geluidsblootstelling kan verbeteren, is aan te raden.



Huidige toestand niet actief

		S	W	O	T
Databronnen	Info/Eval	Strengths	Weaknesses	Opportunities	Threats
250 meetplaatsen	Meetcampagnes in het verleden (1996, 2001,2009)	metingen includeren trends in motorgeluid, banden, wegdek, wagenpark, ... en geven dus mogelijke ont koppeling weer	Hoge kost manuele meting (3PM); beperkte observatietijd (2 maal 10 minuten per locatie); 250 plaatsen zijn misschien niet meer representatief voor verdeling van de bewoning	citizen science projecten voor korte metingen of onderdak verlenen aan een geluidsmeter; vervangen door vaste monitoring netwerken met smart city apparatuur	Ondersteuning op lange termijn
meetnet ANNE, Weteren	metingen op korte tijdschaal op een meetpunt dat reeds heel lang wordt onderhouden (trend)				
		metingen includeren trends in motorgeluid, banden, wegdek, wagenpark, ... en geven dus mogelijke ont koppeling weer	meting op een plaats waardoor lokale veranderingen in wegdek een grote rol spelen	uitbreiden naar dekkend netwerk, b.v. via smart city technologie	
Methodologie	beperkte verwerking van de metingen meetnet ANNE om periodes van uitval te compenseren door jaarlijkse trends				
		doorzichtige procedure			
Indicator					
Aandeel van de bevolking blootgesteld aan LAeq,dag, steekproef		kan ont koppeling aantonen; doorzichtig; tijdsreeks	beperkte dekking; enkel overdag	meer gedetailleerde indicator mogelijk (pieken, ...); dichter bij gezondheidsimpact?	
Meetnet ANNE - typische geluidsemissie door verkeer op snelwegen		kan ont koppeling aantonen; doorzichtig	representativiteit?		

Tabel 3: SWOT-analyse gemeten indicatoren wegverkeer.



A.1.3 Indicatoren met betrekking tot het wagenpark

In het verleden werd de indicator ‘Gemiddelde gehomologeerde geluidsemissie van nieuw verkochte wagens per brandstoftype’ berekend. Deze indicator werd opgebouwd op basis van gegevens van het VCA (Vehicle Certification Agency) in combinatie met voertuigstatistieken van Febiac (‘Evolutie van de inschrijvingen van nieuwe wagens per brandstofsoort’ en ‘Inschrijvingen van nieuwe wagens per merk’).

Hierna volgt een samenvatting van de SWOT-analyse:

Strengths:

- Dit is een representatieve indicator voor de geluidsevolutie van de nieuw aangekochte voertuigen.
- Deze indicator monitort de evolutie van de vloot.
- Het is een DEI indicator die een duurzame ontwikkeling presenteert.

Weaknesses:

- Geen evaluatie van de gehele vloot maar een indicatie van de geluidsemissie van de nieuw aangekochte voertuigen.
- Voertuigen in bedrijf kunnen andere emissies hebben dan de homologatiewaarde, b.v. door beperkt onderhoud

Opportunities:

- Nieuwe Europese wetgeving³ (2016) voorziet in een nieuwe emissienorm voor individuele voertuigen die gradueel strenger zal worden tot 2026 (Tabel 4).

Threats:

- De informatie is on-line beschikbaar via VCA in het Verenigd Koninkrijk. Wat is mogelijk na de Brexit? Andere bron van data zoeken indien indicator wordt weerhouden.

³ REGULATION (EU) No 540/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC

Information of the Vehicle Certification Agency
(<https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/fcb/cars-and-noise.asp>)

Cars and Noise

The external noise emitted by passenger cars has been controlled since 1929 when the Motor Cars (Excessive Noise) regulations were introduced. New cars are now required to meet Europe-wide noise limits. These have been progressively reduced from 82 decibels (dB(A)) in 1978 to the current limit of 74 dB(A) established in 2016. Information on the level of noise recorded for new models of cars at their type approval test is also listed in the data table available to download here <https://carfueldata.vehicle-certification-agency.gov.uk/downloads/default.aspx>.

The noise levels quoted above are the maximum levels that are permitted for new vehicle types. Many vehicles produce lower levels of noise, and it is illegal to modify the exhaust system of a vehicle to make it noisier than the level recorded for that model at type approval.

A new EU regulation was introduced from July 2016, Regulation (EU) No 540/2014, phases in tighter noise limits over 10 years, together with a revised, more representative test procedure. By 2026 the limit for most new passenger cars will be 68 dB(A).

Tabel 4: Nieuwe EU-wetgeving voorziet in het reduceren van de geluidsemisatie van individuele voertuigen van de huidige pass-by SPB 74 dB(A) naar SPB 68 dB(A).



A.2 Luchtverkeer

A.2.1 Aandeel van de bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond de luchthavens Brussels Airport, Oostende, Antwerpen en Kortrijk

Hierna volgt een samenvatting van de SWOT-analyse:

Strengths:

- Stabiele methodologie;
- Lage extra kost voor MIRA.

Weaknesses:

- Niet gebiedsdekkend;
- Slechts een fractie van de ernstig gehinderden wordt gerapporteerd.

Opportunities:

- Uitbreidingen naar lagere blootstellingsniveaus mogelijk (-10 dB(A));
- WHO-richtlijn: naar L_{den} 45 dB(A) en L_{night} 40 dB(A);
- Andere indicatoren voor de nacht.

Threats:

- Aanpassingen in berekeningssoftware hebben in het verleden voor een stap in de tijdsreeks gezorgd. Bij de toekomstige overschakeling van INM naar de nieuwe software dreigt een gelijkaardige stap.



			S	W	O	T
Databronnen		Info/Eval	Strengths	Weaknesses	Opportunities	Threats
	officiële rapporten	informatie volgt dadelijk uit de verplichting (Vlarem 2) voor de luchthavens om jaarlijks geluidskaarten op te stellen en aantal blootgestelden per blootstellingscategorie te berekenen				
			vlotte gegevensstroom voor BAC	Antwerpen en Oostende, minder systematische updates beschikbaar.		aanpassing software heeft in verleden discontinuïteit gegeven; onafhankelijkheid MIRA
Methodologie						
	selectie van de relevante informatie voor de globale indicator					
			lichte methode, lage kost voor MIRA		verder doorrekenen van contouren tot lagere niveaus; nieuwere hinder-niveau relaties gebruiken dan Vlarem 2 (stabiliteit over de tijd?); vluchten op grotere hoogte afkomstig van luchthavens in buurlanden meenemen	
Indicator						
	Aandeel van de bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond de luchthavens Brussels Airport, Oostende, Antwerpen en Kortrijk	Lden	Europese standardisatie, trend over langere termijn, lage kostprijs, ont koppeling deels meegenomen (stillere vliegtuigen), gevoelige indicator	een deel van de hinder (zoals deze uit het SLO volgt) wordt niet meegenomen - niet dekkend; standaard stijg- en dalprofiel	Lagere ondergrens in definitie van blootstelling (nu 55 dB(A));	
	Geluidsbelasting rond Brussels Airport gedurende de nachtperiode	Lnight	Europese standardisatie, trend over langere termijn, lage kostprijs; ont koppeling deels meegenomen; gevoelig	relatie tussen Lnight en gezondheid	stroomlijnen naam?; lagere ondergrens in definitie van blootstelling	Wetenschappelijke inzichten kunnen de indicator op termijn aanpassen (WHO)

Tabel 5: SWOT: Bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond luchthavens.

////////////////////////////////////

A.2.2 Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorreleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven $L_{Aeq, 1sec, max} > 75$ dB(A)

Hierna volgt een samenvatting van de SWOT-analyse:

Strengths:

- Gevoelig voor belangrijkste events (vrachtvliegtuigen tijdens de nacht);
- Een indicator voor slaapverstoring en gevoelig aan de Quota-count;
- Gemeten, dus alle trends worden met zekerheid meegenomen.

Weaknesses:

- Niet gebiedsdekkend;
- De effecten van de Quota-count zijn uitgewerkt, omdat de meest luidruchtige vliegtuigen niet meer opgenomen worden in de vloot.

Opportunities:

- Aanpassen naar een meer integrerende indicator die de verschillende meetpunten combineert, mits aanpassing van de drempelwaarde of opnemen van twee drempelwaardes (met minder meetpunten).

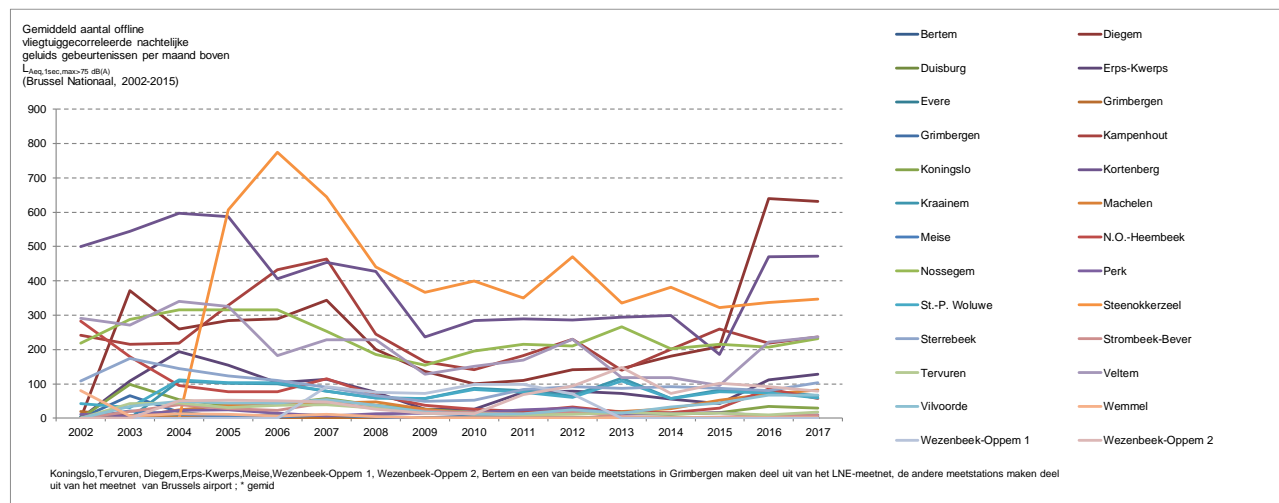
Threats:

- Wijzigingen in het monitoringsnetwerk.



Databronnen	Info/Eval	Strengths	Weaknesses	Opportunities	Threats
Metingen	Informatie komt rechtstreeks uit de meetnetten van BAC en Omgeving				
		Stabiele databron mikt op allerluidste events (chapter 2 en nachtelijke cargo vluchten)	Maandgemiddelde gevoelig aan de positie van de meetpost Sterke variatie doorheen de tijdsreeks (niet verklaard)	Interessante indicator maar herformuleren naar een meer algemenere en eenvoudigere versie is nuttig. Voorstel: aantal nachtvluchten op jaarbasis die events veroorzaken boven 75 dB (ongeacht de locatie, misschien met restrictie op de meetpost - dichtste meetposten uitsluiten)	complexiteit resulteert in lage bruikbaarheid voor beleidsevaluatie
Methodologie	Gebaseerd op metingen, eenvoudige methodologie				
			Afwijkende instellingen in vergelijkbare meetposten in verschillende meetnetten		Geen
Indicator					
Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorreleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven Laeq, 1sec, max>75 dB(A)		Metingen Weinig gevoelig aan instellingen (75 detecteert alleen de grootste events)	eenvoudigere naam kiezen	variatie in afstand van meetpunt tot luchthaven verstoort de indicator misschien aantal per week onderscheid tussen week en WE?	Bruikbaarheid wordt beperkt door stevige ruis in de lange-termijn reeks

Tabel 6: SWOT-analyse voor vliegtuiggecorreleerde events.



Figuur 1: Indicator 'Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorreleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven $L_{Aeq, 1sec, max} > 75 \text{ dB(A)}$ '

A.3 Spoorverkeer

A.3.1 Geluidskaart spoorverkeer

De indicatoren voor spoorverkeer worden enkel binnen de hinderindicator of een zeer eenvoudige manier up-to-date gebracht. De laatste gebiedsdekkende kaart voor spoorverkeer werd uitgevoerd in het kader van MIRA-S (2010), zie Geopunt.

Geopunt:

Geluidskaart spoorverkeer Dataset, Alternatieve titel: Geluidskaart spoorverkeer, Dataset gecreëerd op: 1/06/2009

Geluidsniveau L_{den} en L_{dag} voor het 'business-as-usual'-scenario voor spoorverkeer in 2010. Berekend in het kader van de milieuverkenning 2030 (MIRA).

In het verleden werden volgende indicatoren gerapporteerd:

- Aantal treinkilometers (Personen, goederen en HST);
- Aandeel van de bevolking blootgesteld aan $L_{den, geluidskaart} > 65$ dB(A);
- Percentage van de bevolking in Vlaanderen potentieel ernstig gehinderd door geluid van treinverkeer (SLO).

Hierna volgt een samenvatting van de SWOT-analyse:

Strengths:

- Gebiedsdekkend

Weaknesses:

- Niet meer geactualiseerd sinds 2010;
- Wijzigingen in emissie van rollend materieel wordt niet meegenomen;
- Wijzigingen in toestand van de infrastructuur wordt niet meegenomen;
- Geen afscherming door woningen en terrein.

Opportunities:

- Er zijn belangrijke ontwikkelingen voor spoorverkeer:
 - Nieuwe spoorlijnen (havenontsluitingen);
 - Technical Specifications for Interoperability (TSI) en uitbreiding⁴.
- Integreren met END-kaarten?

Threats:

- De onderliggende data wordt niet meer in een standaardvorm gerapporteerd in de jaarrapporten van de NMBS. In de meer recente rapporten worden enkel significante wijzigingen gerapporteerd.

⁴ <https://www.uiprail.org/index.php/dossier-menu/policy/noise-reduction>

B. Samenvatting brainstormsessie 21/10/2019

B.1 Doel van de brainstormsessie

Dit project start met het samenbrengen van de relevante entiteiten van de Vlaamse overheid, de contactpersonen bij de toeleveranciers van externe gegevens, en de aanspreekpunten voor de verschillende bronnengroepen: wegverkeer, luchtvaart en spoorverkeer.

Op deze brainstormsessie is voor elke bronnengroep een open discussie gevoerd over de kwaliteit en de relevantie van de huidige MIRA indicatoren.

- Er werd gestart met het overlopen van de beschikbare indicatoren (zowel actieve als niet-actieve indicatoren).
- Voor iedere indicator was een voorbereiding van de SWOT-analyse beschikbaar. Deze SWOT-analyses zijn per bronnengroep besproken (bijlage A).
- De mogelijkheden en beperkingen van de externe data werden besproken.
- De opties om bepaalde verbeteringen uit te werken werden geëvalueerd door de deelnemers.
- De deelnemers werd gevraagd naar specifieke wensen buiten de beschikbare indicatoren.

De resultaten van de brainstormsessie staan per bronnengroep verwerkt in dit document.

B.2 Algemene evaluatie van de brainstormsessie

Er waren twaalf mensen aanwezig van verschillende specialiteiten. Een aantal mensen kon niet aanwezig zijn. Er zijn verder nog aanvullende mondelinge en schriftelijke contacten geweest met bepaalde afwezigen. De wensen van de deelnemers waren divers.

- De stakeholders die vanuit een bepaalde activiteit de problematiek benaderen (dataleveranciers voor spoorverkeer en luchtverkeer, Agentschap Wegen en Verkeer) stellen zich vragen bij de meerwaarde van andere indicatoren dan het wettelijk vereiste minimum van de directieve omgevingsgeluid.
- Bij de overheidsdiensten milieu en gezondheid leven er diverse vragen naar verbetering van de indicatoren. Vooral het gebrek aan gezondheidsindicatoren en voor slaapverstoring is een weerkerend thema.
- Meetnetwerken zijn interessant, maar de inspanningen ervoor zijn verspreid over verschillende diensten en afdelingen.
- Deze sessie toont dat algemeen relevante informatie soms zeer lokaal beschikbaar is. Samenwerkingen en synergiën zijn zeker mogelijk.

////////////////////////////////////

C. Longlist indicatoren

In bijlage C wordt een overzicht gemaakt van indicatoren, mogelijke varianten en voorstellen voor nieuwe indicatoren. In het hoofdrapport wordt een overzicht gegeven van de long- en shortlist (zie Tabel 3 en Tabel 4 in hoofdstuk 3). De meest relevante elementen zijn beschikbaar in het hoofdrapport.

Deze bijlage illustreert de openheid in het denkproces naar een nieuwe consistente set indicatoren, en bevat hierdoor veel informatie die (meestal terecht) niet werd weerhouden. Heel veel van de informatie is niet meer relevant door een aantal beslissingen genomen in de shortlist vergadering.

In bijlage D wordt deze lijst gereduceerd tot een set weerhouden indicatoren. Voor de lezer is het interessanter om bijlage D na te lezen en indien gewenst kan er teruggekoppeld worden naar het 'denkproces' zoals gedocumenteerd in deze bijlage.

C.1 Longlist Wegverkeer

C.1.1 Percentage van de bevolking blootgesteld aan wegverkeersgeluid (S)

C.1.1.1 Beschikbare en verzamelde informatie

Bij het berekenen van de geluidskaart kunnen volgende onderdelen verder worden uitgewerkt. Betere effectief gereden snelheden langs de wegsegmenten kunnen de impact van lokale maatregelen begroten:

- Effectieve snelheid i.p.v 'free-flow' snelheid.
- Lagere snelheid in dorpskernen door snelheid milderende maatregelen (drempels, asverschuivingen, lokale zones 30 km ...).
- Effectieve snelheid op primaire en secundaire wegen (congestiegevoeligheid).

Een mogelijke bron van dergelijke informatie zijn externe dataleveranciers. Een dergelijk traject blijkt lopende voor de discipline Lucht. Zijn hier synergiën mogelijk?

Kwaliteit en geografische dekking van de informatie over het type wegdek is een belangrijke tekortkoming.

- Onderzoek de mogelijkheden om deze variabele beter te modelleren.
- Mogelijkheden om een evolutie van de gemiddelde emissie van de voertuigvloot toe te voegen aan de emissieberekeningen?
 - Uitgebreidere set van monitoring langs hoofdwegen om de volledige voertuigstroom te karakteriseren (zie verder).
 - Metingen aan portals om een statistiek van emissies van individuele voertuigen te bepalen (zie verder).
- Mogelijkheid tot in rekening nemen van bermen?
- Mogelijkheid tot in rekening nemen van afscherming door woningen?
 - Een oplossing die snel rekent zou kunnen zijn: gemiddelde afscherming door bebouwde zone verrekenen (cf. ISO9613), maar er moet onderzocht worden in welke mate dit vergelijkbaar is met verrekenen van individuele gebouwen in een verstedelijkte context.

- Kunnen meetposten op de verlichtingspalen op de middenberm overwogen worden? Specificaties voor dergelijke meettoestellen kunnen mild zijn op het vlak van amplitudebereik maar moeten een goede stabiliteit over de tijd hebben.

C.1.3 Indicator met betrekking tot het wegdek

Voor het karakteriseren van het wegdek wordt een indicator op basis van mobiele metingen voorgesteld: 'Geluidsemisieklassse van de wegdekken in Vlaanderen'. Twee alternatieven kunnen overwogen worden:

- Geluidsclassificatie op basis van CPX metingen door AWV. De metingen die jaarlijks uitgevoerd worden door AWV worden verwerkt tot aantal km hoofdwegen binnen bepaalde rolgeluidsklassen. De metingen zijn gratis beschikbaar, maar de dekkingsgraad is beperkt (bv. geen gemeentewegen, enkel rechter rijvak ...).
- Geluidsclassificatie op basis van ad hoc metingen in voertuigen die Vlaanderen doorkruisen⁵. Hierbij kan een dekkingsgraad van 90 % van de wegen voorzien worden. Nadeel is wel dat dit een extra kost betekent.

Voor het uitwerken van deze indicator zal de huidige stand van zaken met betrekking tot labeling van wegdekken op Europees niveau nagegaan worden.

C.1.4 Indicator met betrekking tot geluidsschermen

De huidige indicator 'aantal kilometer geluidsschermen' is heel eenvoudig te bepalen, maar weinig informatief of representatief en niet complementair aan bestaande rapporteringen. Een mogelijke indicator zou kunnen zijn 'impact van geluidsschermen op de blootstelling van de bevolking in Vlaanderen aan wegverkeer':

- De indicator wordt berekend als het verschil in blootstelling met en zonder het in rekening brengen van geluidsschermen. De geluidskaartsoftware zou dus twee keer uitgevoerd worden. Het verschil kan in reductie van het aantal blootgestelden in 5 dB-categorieën voorgesteld worden.

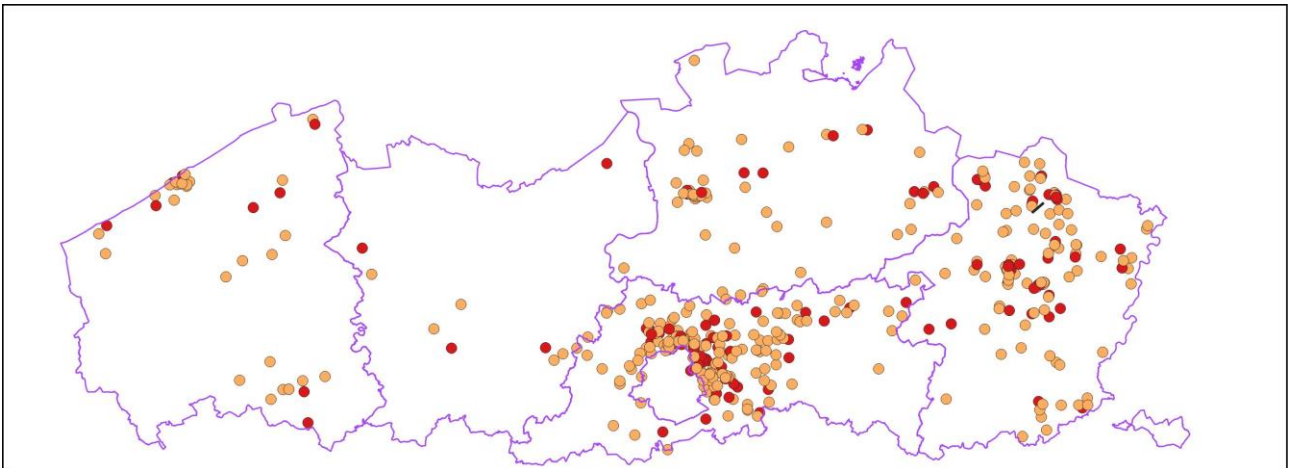
⁵ Op basis van recent afgelopen ICON project: MobiSense



C.2.3 Gebiedsdekkende blootstellingsindicator luchtvaart in L_{den} of in aantal events

C.2.3.1 Probleemstelling

In de SLO 0123-enquêtes wordt ernstige hinder gerapporteerd ver buiten de $L_{den}=55$ dB(A) contouren van de luchthavens. Bij geografische analyses is duidelijk dat in Limburg veel hinder wordt gerapporteerd die niet kan worden gerelateerd aan de burgerluchtvaart. Militaire operaties zijn hier een mogelijke oorzaak (Kleine Brogel). Een gebiedsdekkende kaart op basis van een vereenvoudigde rekenmethode is technisch mogelijk.



Figuur 2: Ernstige hinder door luchtvaart in Vlaanderen in de SLO 0 tot SLO 3.

C.2.3.2 Methodologie

- Ieder vliegtuig is uitgerust met een *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)* transponder.
(https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_dependent_surveillance_%E2%80%93_broadcast)
- Deze informatie wordt in een Open Source project gecapteerd en gebruikt voor diverse doeleinden.
(<https://opensky-network.org/network/explorer>).
- Eurocontrol beheert 'The Aircraft Noise and Performance (ANP) Database: An international data resource for aircraft noise modellers' (<https://www.aircraftnoisemodel.org/>).

In een vereenvoudigde vorm kan de combinatie van deze informatie gebruikt worden om een gebiedsdekkende blootstellingskaart te maken aan een relatief lage operationele kost.

C.2.3.3 Overzicht van de voordelen

- Gebiedsdekkend.
- Gevoelig aan wijzigingen in vliegroutes op grotere afstanden van de luchthavens (ook buitenlandse).
- Wijzigende dag/nacht patronen, evolutie van de vloot.
- Gevoelig aan de werkelijke hoogte van de bewegingen (in huidige kaart gebeurt de berekening op basis van gestandaardiseerde stijg- en dalprofielen en dus niet gevoelig aan de toepassing van CDO en CCO). De effecten van CCO en CDO vallen bovendien buiten de L_{den} 55 dB(A)-contour.



- Hinderevaluatie bij blootstelling lager dan L_{den} 55 dB(A) en L_{night} 45 dB(A) (huidige situatie).
- Deze indicator kan evaluatie mogelijk maken tot 45 dB(A) L_{den} en 40 dB(A) L_{night} zoals voorgesteld in de meest recente uitgave van de WHO-Europe Noise Guidelines.
- Mogelijkheid tot evaluatie van de hinder in functie van aantal events in plaats van SEL/ L_{Aeq} .
- Mogelijkheid tot slaapverstoring op basis van events (mogelijkheid onderzoeken om dosis-respons-relaties te bouwen op basis van SLO-enquêtes).

C.2.3.4 Te onderzoeken elementen

- Beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de OpenSky data.
- Koppeling van individuele vliegtuigen aan geluidsemisseclassificaties.
- Maken militaire vluchten ook gebruik van de ADS-B transponder?
- Indien ja: is deze gevoelige informatie beschikbaar via de OpenSky databank?
 - Voorlopige informatie: geen F16's gevonden in ADS-B data. Verder onderzoek is nodig.
- Is het mogelijk om deze informatie onafhankelijk van het Open Source initiatief te capteren en toe te voegen aan de beschikbare data voor burgerluchtvaart?
- Indien negatief: zijn er andere opties om de bewegingen van militaire operaties in de geluidskaarten te includeren?
- Kostprijs voor de softwareontwikkeling en geautomatiseerde updates voor het opbouwen van een langetermijn indicator.
- Kunnen we het low-cost geluidsmonitoringsnetwerk (zie verder) rond de militaire luchthavens iets 'verdichten' om deze informatie op basis van directe geluidsmetingen toe te voegen?



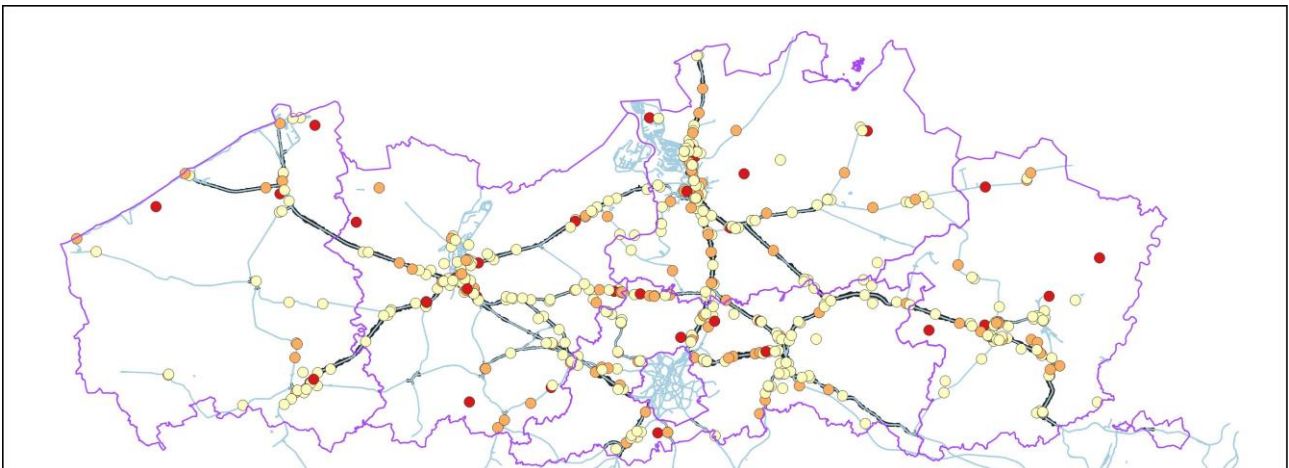
C.3 Longlist Spoorverkeer

C.3.1 Heropstarten van de gebiedsdekkende geluidskaat voor spoorverkeer

Het voornaamste argument voor het berekenen van een gebiedsdekkende geluidskaat voor spoorverkeer eerder dan de strategische geluidsbelastingkaarten (END) te gebruiken is de gerapporteerde hinder in de SLO-enquêtes.

- Er is matige en ernstige hinder gerapporteerd langs spoorsegmenten die niet in de strategische geluidskaat zijn opgenomen.
- In de strategische geluidskaat valt gerapporteerde hinder regelmatig buiten de L_{den} 55 dB(A)-geluidscontour.

De realisatie van het GEN omvat vooral uitbreidingen van het aantal sporen op de drukste verbindingen in Brussel en directe omgeving. Door de verdubbeling van de sporen staat het rechtstreekse en snelle treinverkeer volledig los van de tragere stoptreinen (zie <https://infrabel.be/nl/project/gen>). De dienstverlening kan hierdoor veel efficiënter worden georganiseerd.



Figuur 3: Ernstige hinder door spoorverkeer in Vlaanderen in de SLO 0 tot SLO 3, inclusief de strategische geluidskaat.

Ook op basis van de geluidsemisatie van het spoorwegmateriaal zijn er relevante wijzigingen sinds 2010.

- TSI: retrofitting van goederenwagens en revisie (*including the concept of 'quieter routes'*).

In May 2016, UIP joined the European Railway Agency Task Force for the revision of the Noise TSI. The revised TSI NOISE text, adopted at the 84th Railway Interoperability and Safety Committee (RISC) in January 2019, introduced the so-called 'quieter routes approach' (entry into force in December 2024). These routes are to be defined as 'quiet' if at least 12 freight trains are operated on them per night.

While the Swedish and the Finish networks are exempted from this approach until the end of 2032, the Commission was tasked with issuing a report on the use of Composite Brake Blocks (CBBs) in heavy winter conditions until June 2020. This work should assess the size of the reported lack of braking performance and find solutions, which may include technical, legal or operational elements. It is still unclear how the Swedish authorities will deal with this on their rail network from 2020 and how the Swedish authorities will react to the operation of foreign quiet and LL-converted freight wagons on their network.

C.4 Longlist Hinder en impactindicatoren

C.4.1 Info over de hinder en impactindicatoren

De indicator 'Percentage van de bevolking potentieel ernstig gehinderd door geluid' is afgeleid uit de indicatoren voor wegverkeer, luchtvaart (en spoorverkeer) in combinatie met de SLO-enquêtes. Tijdens de brainstormsessie werd voor de meeste geluidsbronnen systematisch de vraag gesteld om een indicator te definiëren die gevoelig is voor slaapverstoring. Veel van de informatie voor hinder is relevant voor het definiëren van een slaapverstoringindicator. Om deze reden worden de bespreking van de longlist voor hinder en slaapverstoring samengevoegd. Bovendien werd gevraagd of gezondheidsimpact op basis van de nieuwste WHO-richtlijn bepaald kan worden.

In juni 2019 publiceerde EU DGMOVE een document met als doel de externe kosten van transport te internaliseren⁶. Dit document gebruikt een methodologie waarbij de kost van geluidshinder en gezondheidseffecten gecombineerd wordt tot waardeschattingen per blootgestelde persoon in verschillende klassen van L_{den} . Deze methodologie zou ook voor Vlaanderen gehanteerd kunnen worden. Het onderscheid tussen hinder en slaapverstoring kan als volgt worden gedefinieerd:

- Hinder (en 'Quality of Life') is een subjectieve evaluatie van de algemene akoestische kwaliteit in en rond de woning, inclusief de directe omgeving (dus niet alleen geluid binnenshuis)⁷.
- Slaapverstoring is gekoppeld met de algemene geluidsblootstelling 's nachts en lokale events voor alle bronnen. Slaapverstoring ontstaat steeds meer met gesloten ramen door gebruik van energie-vriendelijke ventilatietechnieken en dus is de kwaliteit van de woning belangrijk.

C.4.2 Potentiële hinderindicator

- Een hinderindicator heeft zijn bestaansrecht. Vooral omdat dit de enige impactindicator (I) in MIRA is en omwille van de link naar het beleid. Sterker inzetten op DEI indicatoren lijkt zinvol.
- Een belangrijk probleem is de ongevoeligheid van de indicator over de langetermijn. Het is mogelijk dat dit overeenkomt met de werkelijke situatie, maar de SLO doet het tegengestelde vermoeden.

C.4.3 Wijzigingen, uitbreidingen en alternatieven

- Tijdens de brainstorm werd gevraagd om de tijdsreeksen voor de individuele component ook te rapporteren. Opsplitsen van de indicator naar sectoren zal een aantal van de eerder genoemde problemen oplossen.
- De geluidsbronnen die worden gevoed via de SLO-enquêtes zijn een zeer goede indicatie maar er is geen koppeling mogelijk met de 'drivers'.
- Nieuwe indicator 'Percentage van de bevolking dat (potentieel) ernstige slaapverstoring door geluid rapporteert'. In eerste instantie is er geen reden om deze indicator niet mee te rapporteren. WHO geeft blootstellingseffectrelaties die L_{night} aan de gevel relateren aan gerapporteerde slaapverstoring en ook in de laatste SLO is een vraag naar slaap opgenomen. De nauwkeurigheid van deze indicator is echter beperkter omwille van:

⁶ https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable-transport/internalisation-transport-external-costs_en

⁷ Botteldooren, D., Dekoninck, L. and Gillis, D., 2011. The influence of traffic noise on appreciation of the living quality of a neighborhood. International journal of environmental research and public health, 8(3), pp.777-798.

C.5 Monitoring als basis voor meerdere indicatoren

C.5.1 Voordelen van monitoring

Directe geluidsmonitoring heeft veel voordelen ten opzichte van de simulatiemodellen maar er zijn ook beperkingen en risico's. De voornaamste beperkingen van simulatiemodellen zijn de afhankelijkheid van de kwaliteit en de langetermijn beschikbaarheid van de externe data. Simulaties zijn gevoelig voor methodologische wijzigingen in de gegevensverzameling en verwerking van de externe data. De onderliggende methodologie is niet altijd gevoelig voor trends in de werkelijke toestand.

Het voornaamste voordeel van monitoring is dat het een evaluatie is van de werkelijke toestand inclusief evoluties en gevoeligheden die niet in rekening kunnen worden gebracht in simulatiemodellen. Het bijkomende voordeel is dat iedere monitoringspositie voor verschillende geluidsbronnen relevante input kan leveren. De rapportering en de analyses van de metingen kunnen dan echter vrij complex worden.

Er zijn verschillende belangrijke elementen in een monitoringsprogramma:

1. Langetermijn kwaliteit van de metingen
2. Langetermijn beschikbaarheid voor gebruik als indicator
3. Representativiteit van de meetposten
4. Operationele kosten
5. Kosten voor analyse en rapportering
6. Verhouding tussen tijdelijke en vaste meetposten

C.5.2 SWOT-analyse algemeen monitoringsplatform

Strengths:

- Metingen zijn gevoeliger voor trends dan simulaties (met ingebouwde beperkingen door beschikbare data).
- Veel mogelijke afgeleide indicatoren mogelijk.

Weaknesses:

- Hoe de informatie omzetten in indicatoren die niet overgevoelig zijn voor de locaties van de meetposten?
- Veel mogelijke afgeleide indicatoren mogelijk betekent ook 'keuzestress'.
- Selecteren van een 'beste' indicator is niet evident.

Opportunities:

- We zitten in een maatschappelijke trend naar monitoring ('Meten is Weten') die gevoed wordt door smart cities, city of things, en sensortechnologie.

Threats:

- Operationele kost en onderhoud

C.5.3 Van geluidspaarparameter naar indicator

C.5.3.1 Algemeen

De lijst van specifieke indicatoren die kunnen worden afgeleid van de resultaten van een monitoringsnetwerk zijn geen onderdeel van deze opdracht. Deze oefening moet wel worden gemaakt om de toepasbaarheid van de monitoring in een MIRA indicatorcontext te illustreren.

Het toepassen van de meetresultaten in een monitoringsnetwerk vergt meerdere stappen:

1. Identificeer interessante parameters.
2. Hoe kunnen we de statistische evaluatie van de parameters interpreteren?
3. Is deze statistische evaluatie bruikbaar als indicator?
4. Welke zijn de gevoeligste indicatoren?
5. Waaraan zijn de indicatoren gevoelig en kan dit worden gerelateerd aan de 'drivers'?
6. Voldoen deze indicatoren in de typering en selectiecriteria van het OECD?
7. Het aantal indicatoren moet worden beperkt. Welke gemeten indicator(en) komen er op de finale shortlist?

C.5.3.2 Brainstorm meetbare en rapporteerbare parameters

Mogelijk te berekenen parameters:

- Distributie van L_{day} , L_{eve} , L_{night} en L_{den} als alternatief voor de 250 meetpunten waar enkel L_{day} bepaald werd.
- Jaarlijkse trends in distributies voor L_{01} , L_{05} , L_{10} , L_{50} en L_{95} over verschillende periodes van de dag, eventueel aangevuld met spectra, komen beschikbaar.
- Trends kunnen worden gevisualiseerd als statistische niveaus van een relevante statistische parameter. Bijvoorbeeld de trends van de 10/90 percentielen over meetplaatsen van L_{10} geven een bereik van de indicator die ongevoelig wordt voor individuele meetpunten. De trend kan een fysische betekenis hebben die bruikbaar is als indicator. Enkele voorbeelden:
 - Een dalende trend in L_{01} kan een indicatie zijn van verlaagde emissie per voertuig.
 - Stijgende trends in L_{10} en L_{50} zijn een indicatie van een stijgende verkeersdruk (meer voertuigen).
 - L_{A50} voor dag, avond en nacht is een indicator voor de verkeersdensiteit.
 - L_{A95} identificeert de impact van de gecumuleerde geluidsemisatie.
 - Geografische opsplitsing (bv. 'dominante bron voor achtergrondgeluid is snelweg' kan de gecumuleerde effecten van verkeersdruk, wegdek en vloot op de snelwegen begroten.)
 - Aantal events boven 65 dB(A) per dag, avond en nacht kunnen een basis zijn voor een indicator voor slaapverstoring. Geografische uitsplitsing naar dominante bron levert informatie op voor meerdere geluidsbronnen (weg per type, trein en luchtvaart).
- De trends kunnen opgesplitst worden volgens een geografische classificatie (op voorwaarde dat een groot aantal meetpunten beschikbaar is). Mogelijke ruimtelijke parameters:
 - Afstand tot de dichtste lokale weg
 - OSM-classificatie van de dichtste weg
 - Zones volgens ruimtelijke ordening in Vlaanderen
 - Industrie en KMO-zones



C.5.4.3 Smart City initiatieven

De ultieme oplossing zou een structureel geluidsmonitoringsnetwerk in het kader van smart cities kunnen zijn. Indien deze gegevens ter beschikking gesteld worden aan MIRA kan dit een solide basis zijn voor gemeten geluidsindicatoren op lange termijn. Verder te onderzoeken:

- Vele smart city sensor netwerken hebben een beperkte bandbreedte; kunnen we volstaan met $L_{Aeq,1sec}$? Dit laat niet toe om geluidsbronnen te onderscheiden, maar als globale blootstellingsparameter kan dit volstaan.
- Omdat de sensoren in dit soort initiatieven niet noodzakelijk allemaal blijven bestaan en omdat de lokale omstandigheden sterk kunnen wijzigen, wordt een indicator ‘Trend in geluidsblootstelling van de bevolking in Vlaanderen’ voorgesteld.

C.5.4.4 Citizen Science

Citizen Science als een kostenreducerende component:
Een belangrijke kost voor het verzamelen van data is het beheeren van de meetposten.
Een niet onbelangrijk onderdeel van het inzetten van *Citizen Science* is de **ondersteuning van het draagvlak** voor effectieve maatregelen tegen geluidshinder.

Een belangrijk element om een *Citizen Science*-project te laten slagen is het in rekening brengen van lokale belangengroepen. Deze burgers hebben een grote meerwaarde op meerdere vlakken:

1. Lokale kennis en lokaal netwerk van gemotiveerde burgers.
2. Ideale groep voor de eerstelijns-ondersteuning van het netwerk.
3. Continuïteit is beter verzekerd via een groepering dan via individuen.

De opleiding en instructies moeten niet alleen de kwaliteit en toepasbaarheid van de metingen garanderen. Het is eveneens belangrijk dat de belangengroepen begrijpen hoe hun bijdrage kadert in het groter geheel van het meetnetwerk. Hier kan een belangrijke connectie worden gemaakt tussen de gemeenten en de lokale belangengroepen.

Een aantal voordelen van de *Citizen Science* waarbij sensoren aan de gevel van de woningen worden bevestigd:

- Internetaansluiting en communicatie wordt deel van de abonnementskost van de deelnemende burgers waardoor een belangrijke kost (50 euro per jaar) wegvalt.
- Elektriciteitsaansluiting is beschikbaar.
- De burgers ‘bewaken’ de meetnodes en rapporteren mogelijke schade of onvoorziene omstandigheden. Dit reduceert de onderhoudskost.

Voor het definiëren van een indicator op basis van deze metingen moet rekening gehouden worden met een aantal mogelijke tekorten:

- De meettoestellen (low-end) zijn mogelijk minder stabiel op langere termijn.
- De burgers kunnen verhuizen of hun interesse verliezen waardoor sommige meetpunten kunnen wegvallen en een stabiele indicator op langere termijn moeilijk wordt.



Hieraan wordt verholpen door de definitie van ‘Trend in geluidsblootstelling van de bevolking in Vlaanderen’. Hierbij bekijken we enkel de toename of afname van de indicator (verder te onderzoeken of dit een statistisch niveau of equivalent niveau of piekniveau of een combinatie moet zijn) over de periode van één jaar of meer. De trend wordt statistisch bepaald door een regressieanalyse waarbij seizoens-effecten worden verwijderd (cf. de verwerking van het meetpunt ANNE te Wetteren) en de meetplaats als random factor wordt gebruikt, hetgeen een offset per meetplaats toelaat.

C.5.5 Overzicht van bestaande initiatieven, technische mogelijkheden en eigen contacten

C.5.5.1 Huidige contacten met burgers en stakeholders (vanuit UGent)

- Hackable City of Things:*** IMEC/Gents Milieufront en Bewonersgroep Luchtbal Noord:
Twee organisaties werken samen binnen dit *City of Things*-project. De burgers worden ondersteund door IMEC om een IoT-project geluid op te zetten. De uitkomst van dit project is voor de burgers nog onduidelijk, maar waarschijnlijk is het uiteindelijke resultaat een pakket met IoT-componenten, software en een handleiding voor montage.
Op woensdag 5 februari 2020 heeft Luc Dekoninck het aspect geluid en de complexiteit van het meten en rapporteren van geluid gekaderd voor vier medewerkers van het Gentse Milieufront.
Aandachtspunten:
(1) Voldoende resolutie in de geluidsmetingen zodat statistische geluidsniveaus kunnen worden gerapporteerd.
(2) Ze wensen niet alleen verkeersgerelateerde bronnen te evalueren. Spectrale inhoud en bronidentificatie is dan van belang. Ze zijn geïnteresseerd in het concept ‘*Soundscape*’ om de binnenstedelijke geluidskwaliteit te evalueren.
(3) Rapporteer relevante informatie aan de gebruikers. Alleen indien de gebruikers de meerwaarde zien in het plaatsen van een geluidsmeter zal een dergelijk project op langere termijn data aanleveren.
(4) Er moet voldoende aandacht zijn voor rapportering op een hogere (strategische) schaal, zodat de stakeholder de verzamelde informatie kan inzetten om hun doelstellingen voor de leefbare stad te verwezenlijken.
- MeetMeeMechelen:*** zeer actieve bewonersgroep met groeiende aandacht voor geluid; zie <https://mechelen.meetmee.be/>
Via een H2020 werden in Mechelen uitgebreide metingen uitgevoerd voor luchtverontreiniging. De inwoners hebben op eigen initiatief het thema geluid in het project binnengebracht. In november 2019 is een thema-avond geluid georganiseerd waarbij Luc Dekoninck een presentatie heeft gegeven en vragen rond het thema geluid heeft beantwoord. Een IDEA-node is bezorgd om het principe van een *Citizen Science* campagne geluid te demonstreren aan de burgers. De resultaten worden gebruikt om nieuwe initiatieven te ondersteunen.
- Viadukaduk:*** bewonersgroep met specifieke aandacht voor het viaduct in Gentbrugge (E17). Deze groep is een goede case voor het evalueren van een interventie. De geluidsschermen op het viaduct worden vervangen. Metingen voor en na kunnen ingezet worden om de effectiviteit van de interventie te evalueren.



De belangrijkste eigenschap van een goede indicator is de langetermijn beschikbaarheid en de kwaliteit van de onderliggende informatie. De informatie verzameld via *Citizen Science* wordt gezien als een risicofactor.

Hier stellen we een fiche voor die het potentieel en de duurzaamheid van de contacten kan aangeven.

Organisatie	
Geografische activiteit	
Actief sinds	
Aantal bestuursleden	
Aantal leden	
Thema's	
Communicatiemiddelen	
Aantal kandidaten voor vaste meetposten	
Aantal kandidaten voor tijdelijke meetposten	

C.5.5.2 Andere initiatieven

In het kader van een VLAIO oproep '*City of Things*' zijn een aantal projecten gestart en/of afgewerkt met een component geluid:

- Nachtlawaai verminderen d.m.v. technologie en nudging – Leuven (geluidsoverlast);
- Een digitale innovatietrack ter ondersteuning van een leefbare en bruisende universiteitsbuurt – Antwerpen (welzijn);
- Oases van rust – Dendermonde/Aalter;
- Slimme mobipunten – Peer.

C.5.6 Tijdelijke meetposten

C.5.6.1 Metingen door geluidskundigen in andere context

Geluidsmetingen van deskundigen zijn eveneens een interessante bron van informatie. Op basis van mondelinge contacten lijken er wel mogelijkheden te zijn om deze metingen te centraliseren. Gezien de meeste metingen in de buurt van industrie gebeuren, lijkt een indicator voor industriegeluid (effectiviteit van Vlarem 2) voor de hand te liggen: 'Typische geluidsimmissie in de buurt van industrie'. Opnieuw zal nagegaan moeten worden of een analyse mogelijk is die de gevoeligheid van deze indicator kan elimineren aan de plaatsen waar gemeten wordt.



D.2.2 Gemiddelde gehomologeerde geluidsemmissie van nieuw verkochte wagens per brandstoftype

D.2.2.1 Neerslag van de discussie

Deze indicator kan zowel in zijn huidige vorm als in een uitgebreide versie een beleidsrelevante indicator van het type SEI en/of DEI opleveren. De indicator voldoet aan de meeste selectiecriteria. De indicator is gebaseerd op externe data en de gevoeligheid is volledig afhankelijk van de homologatiegegevens. De indicator kan geen werkelijke wijzigingen in de vloot aanleveren.

D.2.2.2 Besluit

Deze indicator wordt **niet weerhouden** in de shortlist.

D.2.3 Typische geluidsemmissie door verkeer op snelwegen (ANNE meetpunt Wetteren)

D.2.3.1 Neerslag van de discussie

De beperking van de huidige indicator is de invloed van het lokale wegdek en andere mogelijk beïnvloedende factoren zoals begroeiing en nieuwe gebouwen in de buurt. Dit ene meetpunt heeft zijn waarden maar de nadelen zijn significant. Dergelijke meetopstellingen op meerdere locaties worden wel gezien als een bruikbare methode om de effectieve emissie van het wagenpark te monitoren, en indien mogelijk, deze informatie ook te integreren in de geluidskaart.

Een uitbreiding van het meetnetwerk is een mogelijke optie, maar een kader om dit te realiseren is niet beschikbaar. De werkelijke emissie van de voertuigvloot in stedelijke omgeving is eveneens een relevante parameter die niet door deze indicator kan worden aangeleverd. Portalen (bv. voor controle van voertuigen die een LEZ binnenrijden) bieden een mogelijkheid tot monitoring van individuele voertuigen. Indien LEZ-toegangspoorten gebruikt worden, is dit dan representatief voor de echte/volledige vloot? In principe rijden er geen oude diesels in de LEZ en kan dit een positief effect hebben op de vloot in stedelijke omgevingen. Dergelijke indicator blijft relevant en een voorstel tot aanpassing en uitbreiding wordt opgenomen in de shortlist.

D.2.3.2 Besluit

- De indicator wordt weerhouden in de shortlist omdat drukindicatoren een belangrijk onderdeel zijn van het DPSIR-schema, maar belangrijke aanpassingen zijn noodzakelijk.
- In het hoofrapport worden dit twee onafhankelijk maar compatibele drukindicatoren:
 - Drukindicator voertuigpark snelwegen
 - Drukindicator voertuigpark steden

D.2.4 Indicator met betrekking tot het wegdek

Voor het karakteriseren van het wegdek wordt een indicator op basis van mobiele metingen voorgesteld: ‘Geluidsemisssieklasse van de wegdekken in Vlaanderen’. Drie alternatieven kunnen overwogen worden:

- Vernieuwing van de wegdekatabank (in opbouw bij AWW).
- Geluidsclassificatie op basis van CPX-metingen door AWW. De metingen die jaarlijks uitgevoerd worden door AWW worden verwerkt tot aantal km hoofdwegen binnen bepaalde rolgeluidsklassen. De metingen zijn gratis beschikbaar, maar de dekkingsgraad is beperkt (bv. geen gemeentewegen, enkel rechter rijvak ...).
- Geluidsclassificatie op basis van ad hoc metingen in voertuigen die Vlaanderen doorkruisen⁸. Hierbij kan een dekkingsgraad van 90 % van de wegen voorzien worden. Nadeel is wel dat dit een extra kost betekent.

Voor het uitwerken van deze indicator zal de huidige stand van zaken met betrekking tot labeling van wegdekken op Europees niveau nagegaan worden.

D.2.5 Indicator met betrekking tot geluidsschermen

De huidige indicator ‘Aantal kilometer geluidsschermen’ is heel eenvoudig te bepalen, maar weinig informatief of representatief en niet complementair aan bestaande rapporteringen. Een mogelijke indicator zou kunnen zijn ‘Impact van geluidsschermen op de blootstelling van de bevolking in Vlaanderen aan wegverkeer’.

De indicator wordt berekend als het verschil in blootstelling met en zonder het in rekening brengen van geluidsschermen. De geluidskaartsoftware zou dus twee keer uitgevoerd worden. Het verschil kan in reductie van het aantal blootgesteld en in 5 dB-categorieën voorgesteld worden.

Besluit

- Deze indicator wordt niet weerhouden.



D.3 Luchtverkeer

D.3.1 Aandeel van de bevolking blootgesteld aan vliegtuiggeluid rond de luchthavens Brussels Airport, Oostende, Antwerpen en Kortrijk

D.3.1.1 Neerslag van de discussie

Deze indicator is gebaseerd op beschikbare gegevens en is conform de END regelgeving. De onderliggende gegevens worden in een vergelijkbare vorm gerapporteerd voor België. In de MIRA rapportering wordt alleen de bevolking binnen Vlaanderen gerapporteerd.

D.3.1.2 Besluit

- De indicator is accuraat binnen zijn toepassingsgebied.
- De indicator is gebaseerd op beschikbare informatie waardoor de operationele kost laag is.
- De indicator wordt in zijn huidige vorm weerhouden.
- De evolutie van de contouren over de laatste vijf jaar wordt eveneens weerhouden vanwege de lage operationele kost.

D.3.2 Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorreleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven $L_{Aeq, 1sec, max} > 75$ dB(A)

D.3.2.1 Neerslag van de discussie

De indicator 'Gemiddeld aantal offline vliegtuiggecorreleerde nachtelijke geluidsgebeurtenissen per maand boven $L_{Aeq, 1sec, max} > 75$ dB(A)' is nuttig maar niet erg leesbaar.

Mits een aantal aanpassingen kan van de oude indicator een indicator gemaakt worden die voor alle luchthavens kan worden toegepast, en op een meer consistente manier op lange termijn beleidsondersteunende informatie aanlevert.

D.3.2.2 Besluit

- Er wordt een variant op deze indicator weerhouden die is gebaseerd op geluidsmonitoring voor de verschillende luchthavens (Brussel, Oostende en Antwerpen).
- De rapportering wordt beperkt tot twee meetpunten per luchthaven, één bij de meest gebruikte startbaan, en één bij de meest gebruikte landingsbaan. De best passende meetpunten worden geselecteerd.
- De rapporteringsvorm wordt onderzocht op basis van beschikbare gegevens. De gevoeligheid van de indicator over langere termijn is het belangrijkste criterium.
- Een beslissing over de te rapporteren periode is afhankelijk van het verdere onderzoek.

D.3.3 Gebiedsdekkende blootstellingsindicator luchtvaart in L_{den} of in aantal events

D.3.3.1 Neerslag van de discussie

In de SLO 0 tot en met SLO 3-enquêtes wordt ernstige hinder gerapporteerd ver buiten de $L_{den}=55$ dB(A)-contouren van de luchthavens. Bij geografische analyses is duidelijk dat in Limburg veel hinder wordt gerapporteerd die niet kan worden gerelateerd aan de burgerluchtvaart. Militaire operaties zijn hier een mogelijke oorzaak (Kleine Brogel). Ieder vliegtuig is uitgerust met een *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)* transponder. Een gebiedsdekkende kaart op basis van een vereenvoudigde rekenmethode is technisch mogelijk op basis van open source data. In een vereenvoudigde vorm kan de combinatie van deze informatie gebruikt worden om een gebiedsdekkende blootstellingskaart te maken aan een relatief lage operationele kost.

D.3.3.2 Besluit

- Een gebiedsdekkende kaart voor luchtverkeer is zinvol en haalbaar, en wordt weerhouden als blootstellingslaag voor het evalueren van de hinder door luchtvaart buiten de standaard geluidscontouren.
- De rapportering van de hinder wordt behandeld in het hoofdstuk hinder en impact.



D.4 Spoorverkeer

D.4.1 Gebiedsdekkende geluidskaart spoorverkeer

D.4.1.1 Neerslag van de discussie

Hier speelt eveneens de overlap met de rapportering binnen de Richtlijn Omgevingslawaai. De gebiedsdekking van de strategische geluidskaart voor spoorverkeer is groot. De voornaamste beperking voor verder gebruik is de rapporteringsdrempel. Van het standpunt van kostenefficiëntie wordt voorgesteld dat de weinige ontbrekende spoorlijnen in de volgende ronde voor de END eveneens worden berekend in het traject voor de strategische geluidskaart. De berekeningen worden uitgebreid van L_{den} 55 dB(A) naar 45 dB(A). Langs deze weg kan deze informatie gebruikt worden voor de impactindicator voor spoorverkeer.

D.4.1.2 Besluit

- Een meer gebiedsdekkende geluidskaart wordt weerhouden, maar wordt niet apart doorgerekend in het MIRA traject maar opgenomen in het proces van de Richtlijn Omgevingslawaai.
- Deze beslissing wordt opgenomen en opgevolgd door dOMG. Het al dan niet beschikbaar worden van deze informatie wordt bepaald door de bijkomende kost voor deze optie.

D.4.2 Monitoring van de evolutie van de vloot van rollend materieel

D.4.2.1 Neerslag van de discussie

De Europese regelgeving heeft in het verleden (TSI-richtlijn) al een belangrijke impact gehad op de emissie van het goederentransport. In de nabije toekomst worden nog significante wijzigingen verwacht. Er is nog geen drukindicator voor het thema 'Spoor'. Infrabel heeft een monitoringsprogramma.

D.4.2.2 Besluit

- Deze indicator wordt weerhouden. Er wordt informatie opgevraagd bij Infrabel om deze indicator vorm te geven.

D.4.3 Monitoring van de kwaliteit van de sporen

D.4.3.1 Neerslag van de discussie

Op basis van de brainstormsessie was duidelijk dat de operationele werking van Infrabel deze indicator overbodig maakt (continu onderhoud door slijpen van de sporen).

D.4.3.2 Besluit

- Deze indicator wordt niet weerhouden.

Op 8 januari 2020 was geen informatie beschikbaar van Infrabel. In maart 2020 hebben de contacten met Infrabel een nieuwe set informatie opgeleverd. De discussie over de drukindicatoren werd opnieuw gevoerd tijdens de eindvergadering en deze resultaten zijn opgenomen in het hoofddocument.

D.5 Hinder en impactindicatoren

D.5.1 Potentieel ernstige hinder

D.5.1.1 Neerslag van de discussie

De indicator 'Percentage van de bevolking potentieel ernstig gehinderd door geluid' is afgeleid uit de indicatoren voor wegverkeer, luchtvaart (en spoorverkeer) in combinatie met de SLO-enquêtes.

Tijdens de brainstormsessie werd voor de meeste geluidsbronnen systematisch de vraag gesteld om een indicator te definiëren die gevoelig is voor slaapverstoring. De complexiteit van de geaggregeerde potentiële hinder is een heikel punt. Veel van de informatie voor hinder is relevant voor het definiëren van een slaapverstoringsindicator. Om deze reden worden de bespreking van de longlist voor hinder en slaapverstoring samengevoegd. Bovendien werd gevraagd of gezondheidsimpact op basis van de nieuwste WGO-richtlijn bepaald kan worden.

Een hinderindicator heeft zeker zijn bestaansrecht. Dit is de enige impactindicator (I) in de MIRA rapportering, en de indicator vormt de link naar het beleid. Een belangrijk probleem is de ongevoeligheid van de geaggregeerde potentiële indicator over de lange termijn. Het is mogelijk dat dit overeenkomt met de werkelijke situatie, maar de SLO-enquête doet het tegengestelde vermoeden.

Hier wordt teruggekoppeld naar de mogelijkheden tot het geografisch modelleren van zowel de gerapporteerde hinder als de gerapporteerde slaapverstoring voor wegverkeer, luchtvaartverkeer en spoorverkeer. Dit is niet mogelijk voor alle geluidsbronnen. Dit leidt tot de vaststelling dat het interessant is om de tijdsreeksen voor de individuele component van de SLO 'as is' te rapporteren en voor de geluidsbronnen waar mogelijk een kwalitatieve gerapporteerde hinder te extrapoleren voor Vlaanderen. Dit krijgt in de naverwerking van de shortlistvergadering de werknaam 'MIRA modellen'.

Andere thema's en mogelijkheden die worden behandeld:

- Nieuwe indicator 'Totale externe kost ten gevolge van verkeersgeluid' en flankerende indicator 'Externe kost ten gevolge van verkeersgeluid per persoonskilometer/tonkilometer'. Deze indicatoren kunnen rechtstreeks berekend worden op basis van de geluidskaarten, maar het idee wordt niet weerhouden.
- Er zijn een reeks indirecte effecten van maatschappelijke evoluties en bijhorende regelgeving te identificeren die een invloed kunnen hebben op geluidshinder en slaapverstoring:
 - Thermische isolatie, actieve ventilatie en de algemene kwaliteit van de woningen hebben een impact op de transmissie van geluid door de woonschil, en kunnen een positief effect op de slaapverstoring hebben.
 - Er is een nieuwe akoestische isolatienorm (NBN S 01-400-1: 2019 akoestische criteria voor woongebouwen) die in de toekomst de kwaliteit van de woningen kan verbeteren.

Men zou daarom kunnen overwegen om een responsindicator op te nemen die de geluidsisolatie van woningen begroot. Er is echter op dit ogenblik geen zicht op de manier waarop deze informatie in kaart gebracht kan worden of gebruikt kan worden in een indicator. Deze piste wordt **niet weerhouden**.

- Indicator 'Aantal nieuwbouw wooneenheden die voldoen aan normaal en verhoogd akoestisch comfort' wordt **niet weerhouden**.

////////////////////////////////////

- Zijn er mogelijkheden om de gerapporteerde hinder te koppelen aan kwaliteit van de woningen? **Wordt niet weerhouden.**
- Percelen worden kleiner en in steden worden meer appartementen gebouwd. Heeft dit een impact op de hinder door burengeluid? Dit kan mogelijk indirect worden gemodelleerd via een MIRA model burengeluid. **Wordt niet weerhouden.**
- Eventindicator voor meerdere geluidsbronnen. Een eventindicator kan een proxy zijn voor slaapverstoring. Dit wordt **weerhouden** binnen de ontwikkeling van de MIRA modellen.
- Monitoring van industrie, achtergrondgeluid in de omgeving van industriegebieden. Deze piste wordt eveneens **niet weerhouden.**

D.5.1.2 Besluit

Hier worden twee trajecten weerhouden:

- Traject 1: rechtstreekse weergave van de gerapporteerde hinder en hinder van alle bronnen uit de SLO.
- Traject 2: geografisch modelleren van de gerapporteerde hinder en slaapverstoring met een 'MIRA model'. De eerste prioriteit gaat uit naar wegverkeer en luchtverkeer. Voor spoorverkeer is deze piste afhankelijk van het uitbreiden van de berekeningen van de strategische geluidkaart Spoorverkeer.

Opmerking: het idee om over te stappen van gehinderden naar een kwaliteit van de leefomgeving werd niet geformuleerd op de shortlist vergadering maar is een gevolg van een interne discussie op UGent over de verdere ontrafeling van de rapportering volgens de Richtlijn Omgevingslawaai en MIRA. Deze aanpassing werd besproken en aanvaard op de eindvergadering.