



Natuurrapport - Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen
TECHNISCH RAPPORT



 Instituut voor
Natuur- en Bosonderzoek

Hoofdstuk 20

Ecosysteemdienst regulatie van geluidsoverlast

Geert De Blust, Timothy Van Renterghem

Auteurs:

Geert De Blust, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek
Timothy Van Renterghem, Universiteit Gent, Onderzoeksgroep Akoestiek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

Vestiging:

INBO Brussel
Kliniekstraat 25, 1070
www.inbo.be

e-mail:

Geert.Deblust@inbo.be

Wijze van citeren:

De Blust G., Van Renterghem T.(2014). Hoofdstuk 20- Ecosysteemdienst regulatie van geluidsoverlast. (INBO.R.2014.2008296). In Stevens, M. et al. (eds.), Natuurrapport - Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Technisch rapport. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.M.2014.1988582, Brussel.

D/2014/3241/170

INBO.R.2014.2008296

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Jurgen Tack

Druk:

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid

Foto cover:

Jeroen Mentens/Vildaphoto



De andere hoofdstukken van het Natuurrapport 'Toestand en trend van ecosystemen en ecosysteemdiensten in Vlaanderen - Technisch rapport' kunt u raadplegen op www.nara.be.

Hoofdstuk 20 – Ecosysteemdienst regulatie van geluidsoverlast

Geert De Blust, Timothy Van Renterghem

INBO.R.2014.2008296

Hoofdpijnen

- Het MIRA Indicatorenrapport 2012 vermeldt dat in totaal 13,5 % van de bevolking in Vlaanderen potentieel ernstig gehinderd wordt door lawaai. Vervoer en transport zijn de belangrijkste hinderende geluidsbronnen.
- Langdurige blootstelling aan de typische geluidsniveaus veroorzaakt door wegverkeer heeft belangrijke negatieve effecten op de gezondheid, waaronder slaapverstoring en een verhoogde kans op hart- en vaatziekten.
- Vegetatiestructuren en landschapskenmerken kunnen bijdragen aan de afname van geluidshinder door de fysische reductie van het geluidsniveau waaraan iemand blootgesteld is, alsook door het psychologisch effect dat natuurlijk groen uitoefent op de ervaring van geluid.
- De mate waarin geluid door vegetatie en landschapsstructuren gereduceerd wordt, is afhankelijk van de bodembedekking, het type vegetatie, de biomassadichtheid en structuur, de plaats en uitgestrektheid van de vegetatiezone tussen bron en ontvanger en de micro-meteorologie. De fysische geluidreductie verkregen door vegetatie kan, bij oordeelkundige toepassing, vaak een geldig alternatief zijn voor klassieke bron- en andere geluidsoverdrachtsmaatregelen.
- Het psychologisch effect van vegetatie en andere ruimtekenmerken op geluidservaring is complex en hangt o.a. af van de mate waarin ze een geluidsbron aan het zicht onttrekken, de mate waarin potentieel storend geluid gemengd wordt met natuurlijk geluid en van de mate waarin geluid overeenkomt met het verwachtingspatroon. Omdat alle elementen van de omgeving meespelen en interageren, is het moeilijk om de psychische geluidservaring in een complexe omgeving via eenvoudige bron – ontvanger relaties te beschrijven. Voldoende onderzoek toont echter aan dat de visuele aanwezigheid van vegetatie positief is voor de geluidspereceptie en dus samen met de fysische geluidsniveaureductie kan beschouwd worden als een volwaardige ecosysteemdienst.
- Binnen de zones langs gewestwegen met potentiële geluidsoverlast (> 55 dB (Lden)), is de oppervlakte gehinderden quasi gelijk is aan de oppervlakte geluidreducerende bodembedekking. In theorie zou de ecosysteemdienst dus belangrijk kunnen zijn. Dat is zeker zo voor de psychische werking van vegetaties.
- De focus van de Vlaamse overheid ligt bij het uitvoeren van de Europese richtlijn Omgevingslawaai (Richtlijn 2002/49/EC). In de actieplannen die daarvoor opgesteld worden, zijn geen structurele maatregelen voorzien om geluidreducerende groene infrastructuur of vegetatie in te zetten.

Inhoudsopgave

Hoofdpijnen	4
Inhoudsopgave	5
Inleiding en leeswijzer	6
1. Omschrijving van de ESD	7
1.1. Probleemstelling	7
1.2. ESD-cyclus	8
1.3. Actoren	14
2. Actuele Toestand ESD	16
2.1. Actueel aanbod	16
2.2. Vraag	17
2.3. Gebruik.....	22
3. Trend van de ESD	24
4. Drivers voor vraag en aanbod van de ESD	24
5. Impact op biodiversiteit en milieu	26
5.1. Bijdrage biodiversiteit aan levering ESD	26
5.2. Impact ESD op biodiversiteit.....	26
6. Maatschappelijk welzijn en waardering	26
7. Interacties huidig en toekomstig ESD gebruik	27
8. Kennislacunes	28
Lectoren	30
Referenties	31

Inleiding en leeswijzer

De volgende natuurrapporteringen vormen samen een ecosysteem assessment voor Vlaanderen, dat in drie fasen wordt uitgewerkt. In een eerste fase wordt een synthese gemaakt van de beschikbare kennis over ecosystemen en de diensten die ze leveren in Vlaanderen (NARA-T). In fase 2 worden bestaande beleidskaders kritisch geëvalueerd i.f.v. ecosysteemdiensten (NARA-B) en in de laatste fase worden mogelijke toekomstscenario's voor groene infrastructuur en ecosysteemdiensten verkend (NARA-S). Elk van die fasen leidt tot een afzonderlijk product. De verschillende producten worden inhoudelijk op elkaar afgestemd.

NARA-T biedt een overzicht van de voordelen die we als maatschappij van de natuur ontvangen, hoe die voordelen gewaardeerd worden en welke mechanismen de levering van die voordelen beïnvloeden. De focus ligt op het ecosysteemdienstenconcept. Ecosysteemdiensten (ESD) zijn de voordelen die de samenleving van ecosystemen ontvangt onder de vorm van materiële en immateriële goederen en diensten (bv. voedsel, veiligheid, gezondheid). De maatschappelijke effecten hiervan beïnvloeden de omvang en de verdeling van onze economische welvaart en ons maatschappelijk welzijn.

NARA-T bestaat uit een uitgebreid technisch rapport en een syntheserapport. Het technisch rapport is een wetenschappelijk achtergronddocument en bestaat uit twee delen: 16 ESD-hoofdstukken en 10 overkoepelende hoofdstukken. In de 16 ESD-hoofdstukken worden de belangrijkste ecosysteemdiensten in Vlaanderen besproken: waterproductie, houtproductie, voedselproductie, wildbraadproductie, productie van energiegewassen, regulatie van waterkwaliteit, regulatie van luchtkwaliteit, regulatie van geluidsoverlast, regulatie van overstromingsrisico, kustbescherming, regulatie van het globaal klimaat, behoud van de bodemvruchtbaarheid, bestuiving, plaagbeheersing, regulatie van erosierisico en groene ruimte voor buitenactiviteiten. Deze 16 ESD-hoofdstukken vormen de kennisbasis voor de 10 overkoepelende hoofdstukken, waarin antwoorden worden gezocht op de belangrijkste onderzoeksvragen van NARA-T. Het syntheserapport vat voor een brede doelgroep de belangrijkste bevindingen van het technisch rapport samen en formuleert de aanbevelingen voor het beleid.

NARA-T is opgebouwd rond een conceptueel raamwerk, de ESD-cyclus, dat de interacties tussen mensen en ecosystemen en het belang van ecosystemen voor welvaart en welzijn duidelijk maakt. Dit raamwerk moet helpen de logica en de verhaallijn van NARA-T duidelijk te maken en moet daarnaast een zekere eenvormigheid in de ESD-hoofdstukken tot stand brengen om de analyses in de overkoepelende hoofdstukken te faciliteren. Elk van de 16 ESD-hoofdstukken wordt uitgewerkt a.d.h.v. dit raamwerk. Daarbij wordt de ruimte gelaten om, afhankelijk van de beschikbare kennis en data en gangbare visies op het onderwerp, per hoofdstuk aparte accenten te leggen. Dit raamwerk en de voornaamste begrippen worden uitvoerig besproken in hoofdstuk 2 van het technisch rapport.

Het voorliggende hoofdstuk is een onderdeel van het technisch rapport en bespreekt de **ESD 'regulatie van geluidsoverlast'**. De nadruk ligt hierbij op de bijdrage die vegetaties en bepaalde landschapsstructuren kunnen leveren aan de regulatie van verkeersgeluid. Geluid is (haast) overal en wordt zeer verschillend ervaren, van zeer aangenaam en nuttig tot uiterst irritant en te bestrijden. Overal hebben ook vegetaties en landschapsstructuren een invloed op geluid en bepalen zo mee de aard en de appreciatie van het geluidlandschap. Deze ESD wordt echter in de eerste plaats behandeld t.o.v. van storend omgevingslawaai afkomstig van autoverkeer en spoorwegen. Slechts zijdelings wordt ingegaan op de rol die de dienst speelt bij het creëren van een kwaliteitsvolle geluidomgeving.

Inhoudelijk steunt dit hoofdstuk op de ESD-cyclus en het begrippenkader dat gepresenteerd wordt in hoofdstuk 2. Voor de concrete uitwerking ervan, werd het raamwerk echter gespecificeerd voor de ESD reguleren van geluidsoverlast (Figuur 1). De paragrafen van dit hoofdstuk behandelen de verschillende onderdelen van het conceptueel raamwerk. In **paragraaf 1** wordt de ecosysteemdienst omschreven en gekaderd in de Vlaamse context en wordt de ESD-cyclus kort toegelicht i.f.v. de besproken dienst. Daarnaast worden de structuren en processen binnen de ecosystemen besproken die de levering van de dienst bepalen en worden de beheerders en gebruikers van de dienst geïdentificeerd.

Paragraaf 2 beschrijft de actuele toestand van de ecosysteemdienst en tracht via het beschikbare kaartmateriaal een beeld te schetsen van de vraag, het aanbod en het gebruik van de dienst in Vlaanderen. **Paragraaf 3** bespreekt, waar de beschikbare gegevens het toelaten, de trend in het aanbod, vraag en gebruik van de ecosysteemdienst in Vlaanderen gedurende de voorbije 20 jaar (\pm sinds 1990).

In **paragraaf 4** bespreken we hoe en in welke mate directe en indirecte drivers het aanbod van en de vraag naar de ecosysteemdienst beïnvloeden. Indirecte drivers zijn factoren die geen rechtstreeks effect op de ecosysteemprocessen hebben, maar die wel beïnvloeden via directe drivers. Directe drivers werken rechtstreeks in op ecosysteemprocessen en veroorzaken meestal een meetbare fysische verandering in het ecosysteem en via deze weg op het aanbod van diensten door die ecosystemen. Het gebruik en optimalisering van ecosysteemdiensten kan via de directe drivers een impact hebben op het milieu en de biodiversiteit. **Paragraaf 5** bespreekt in welke mate het gebruik van de ecosysteemdienst de biodiversiteit beïnvloedt.

De baten die ecosysteemdiensten genereren, dragen bij aan onze economische welvaart en aan het maatschappelijk welzijn. Aan die baten wordt een zeker belang, of een bepaalde appreciatie of waarde toegekend. In **paragraaf 6** worden de belangrijkste baten van de ecosysteemdienst geïdentificeerd en wordt besproken in welke mate ze een bijdrage leveren aan de verschillende welzijns- en welvaartscomponenten. Daarnaast wordt ook besproken hoe dit welzijnseffect kan ingeschat worden (monetair/niet-monetair) en wat de gevolgen zijn van een keuze voor één bepaalde waarderingmethode voor de interpretatie van het belang van de ecosysteemdienst.

In **paragraaf 7** wordt onderzocht of en in welke mate het gebruik van de dienst een impact heeft op de huidige en toekomstige levering van zowel dezelfde als andere ecosysteemdiensten. Hierbij wordt gekeken naar interacties tussen de besproken en andere ecosysteemdiensten op verschillende ruimtelijke schaalniveaus en doorheen de tijd.

Paragraaf 8 ten slotte geeft een overzicht van de kennis die ontbreekt voor het kwantificeren, in kaart brengen en waarderen van de ecosysteemdienst.

1. Omschrijving van de ESD

1.1. Probleemstelling

Geluid heeft een grote impact op de mens, en kan zowel aangenaam als onaangenaam ervaren worden (Devilee *et al.*, 2010). De ervaring zelf is daarbij vaak erg individueel en kent dus een sterk subjectieve component. Luid geluid van voorbijrijdende auto's bijvoorbeeld geeft een andere beleving bij een fervent autoliefhebber dan bij een overtuigde fietser. Er bestaat ook een algemeen subjectief effect dat te maken heeft met de zichtbaarheid van de geluidsbron. Bij eenzelfde geluidsniveau¹ vermindert namelijk de ondervonden luidheid² met verminderde zichtbaarheid van de geluidsbron, om sterk toe te nemen als de bron geheel onzichtbaar is (Aylor en Marks, 1976). Maar omdat iemand niet voortdurend op geluid focust als de bron ervan niet zichtbaar is, leidt dit ertoe dat er potentieel toch minder hinder vanuit kan gaan. Met de begrippen omgevingslawaai en het eraan gekoppelde geluidshinder, wordt bedoeld op "ongewenst of schadelijk geluid dat buitenshuis door menselijke activiteiten wordt veroorzaakt". In de eerste plaats gaat het om het geluid van wegverkeer, spoorverkeer, luchtverkeer en belangrijke industriële activiteiten (LNE, s.d.).

In het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek 2008 (Significant GfK, 2008) wordt vermeld dat 27% van de Vlamingen in zekere mate gehinderd wordt door geluid, 10,3 % ondervond ernstige hinder. In het MIRA Indicatorenrapport 2012 (Dekoninck & Botteldooren, 2011; Van Steertegem, 2013) vinden we dat in totaal 13,5 % van de bevolking potentieel ernstig gehinderd wordt door lawaai. Verkeer en vervoer blijken steeds de belangrijkste hinderende geluidsbronnen te zijn met 15 % van de bevolking die er ernstig door gehinderd wordt (Van Steertegem, 2013). Geluid is dus een belangrijk milieuprobleem in het gewest. De ecosysteemdienst geluidregulatie zou dus een bijdrage kunnen leveren bij het oplossen ervan.

Geluidshinder kan op verschillende manieren aangepakt worden, gaande van brongerichte maatregelen die de productie van geluid zelf verminderen (bv. stillere motoren of fluisterasfalt), over geluidsoverdrachtsmaatregelen (bijv. afstandsregels, het plaatsen van een geluidsmuur, ...) tot maatregelen bij de ontvanger (bijv. optimale gebouworientatie, akoestische muurisolatie, ...). Bij geluidspropagatie tussen bron en ontvanger kunnen, naast een klassieke oplossing zoals een geluidsmuur, ook 'natuurlijke' structuren zorgen voor een vermindering van geluidshinder. Die milderende werking kan te maken hebben met de **fysische reductie**, dus daling van het geluidsniveau waaraan iemand blootgesteld is, of met het **psychologisch effect** van groen op de

¹ Geluidsniveau = fysisch meetbare maat voor de geluidsenergie, uitgedrukt in decibel (dB).

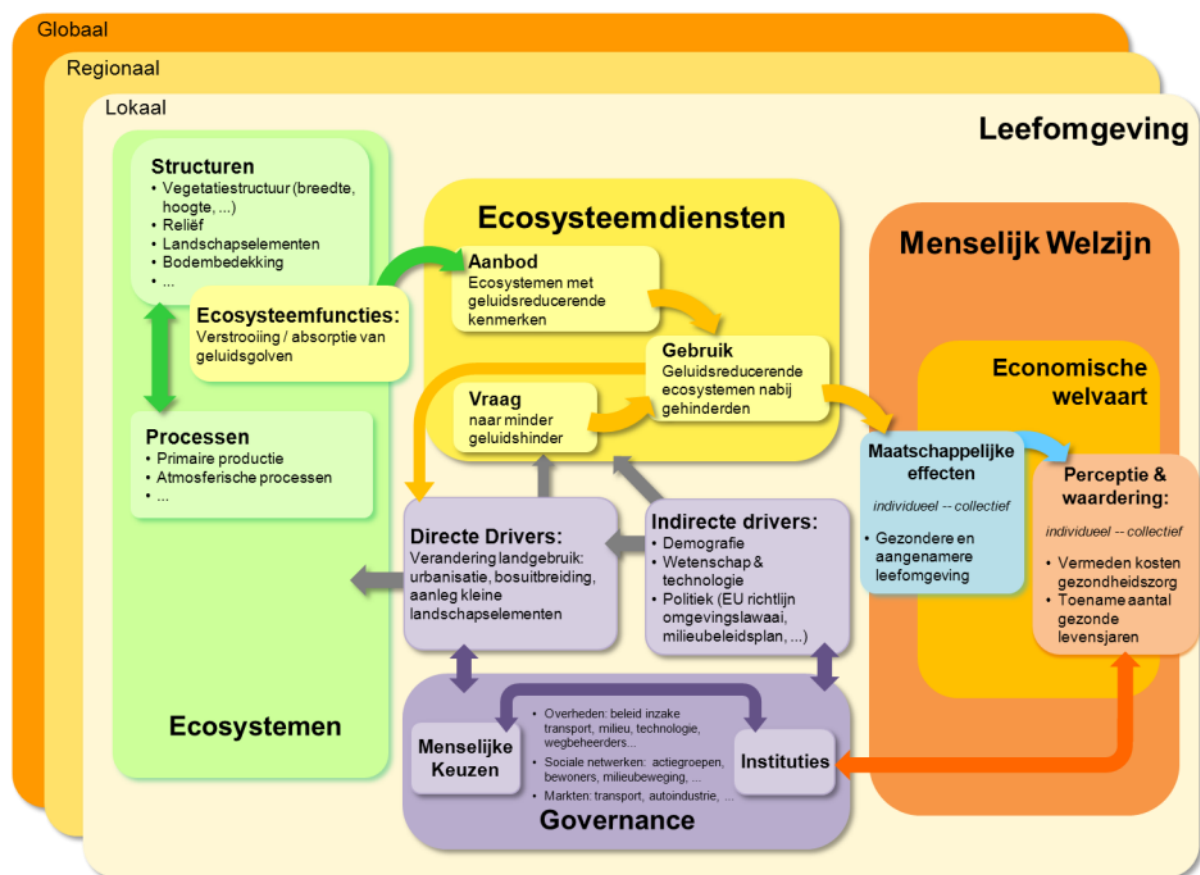
² Luidheid = maat voor hoe sterk een geluid subjectief ervaren wordt door een persoon met een gemiddeld gehoor, uitgedrukt in foon. De luidheid is afhankelijk van het geluidsniveau, de frequentie-inhoud en de tijdsstructuur van het geluid.

ervaring van geluid. Bij het eerste zorgt de landschapsopbouw voor een directe of indirecte vermindering van het geluidsniveau ter hoogte van de ontvanger. Bij het tweede zijn het de aanwezigheid van groen, de visuele afscherming van de geluidsbron of het aanwezig zijn van maskerende geluiden zoals ruisende bladeren of kabbelend water, die ervoor zorgen dat geluid als minder storend ervaren wordt. Vegetatiestructuren en kenmerken van ecosystemen kunnen dus bijdragen aan de afname van geluidshinder, waardoor er effectief gesproken kan worden van een **ecosysteemdienst geluidregulatie** die gedefinieerd kan worden als

'de regulatie van geluidsoverlast via fysische en psychologische effecten van vegetatie en landschapselementen'

1.2. ESD-cyclus

De ESD-cyclus in Figuur 1 beschrijft schematisch hoe ecosystemen en hun diensten bijdragen aan ons welzijn en onze economische welvaart, en hoe de waardering van die bijdragen een invloed heeft op hoe we als individu of maatschappij met die ecosystemen omgaan. Deze cyclus wordt in detail besproken in hoofdstuk 2 van het technisch rapport. Hieronder wordt de cyclus enkel bondig besproken.



Figuur 1. ESD cyclus. Zie hoofdstuk 2 (conceptueel raamwerk) voor een gedetailleerde bespreking van het schema (gebaseerd op Haines-Young & Potschin, 2013).

Alles begint met de kenmerken van ecosystemen en landschaps**structuren** die een invloed hebben op de voortplanting van geluid en met de **processen** die daarbij een rol spelen. De deelverzameling van proces-structuurinteracties in ecosystemen, die functies vervullen ten voordele van de mens, noemen we **ecosysteemfuncties**: de interacties tussen de geluidsgolven en milieu-, vegetatie- en landschapkenmerken hebben als resultaat dat geluid vermindert en er zo een ecosysteemdienst geleverd wordt. Belangrijk daarbij is dat mensen integraal deel uitmaken van die ecosystemen. De mens interageert met zijn omgeving en bepaalt daardoor mee waar en hoe de ecosysteemdienst geleverd wordt. Die beïnvloedingsprocessen wordt samengevat in een set van **directe en indirecte drivers**. Directe drivers zijn factoren en processen die op lokale, regionale of globale schaal rechtstreeks veranderingen teweegbrengen in ecosystemen en in de daaruit voortvloeiende ecosysteemfuncties en -diensten (bv. verstedelijking of

klimaatverandering). Aan de basis van die directe drivers ligt een complex van indirecte drivers (bv. bevolkingstoename of economische groei) die op elkaar en op die directe drivers inwerken. De directe en indirecte drivers bepalen niet alleen het aanbod van, maar ook de vraag naar ecosysteemdiensten. Zo zal een toenemende verstedelijking er niet alleen voor zorgen dat de druk op de groene ruimte toeneemt (dalend aanbod), maar ook dat de vraag naar minder geluidsoverlast toeneemt. Wanneer er op een bepaalde plaats voldaan wordt aan de vraag naar een ecosysteemdienst, wordt de ecosysteemdienst gebruikt (daling geluidspereceptie) en worden er **baten** gegenereerd. In het geval van deze ESD resulteert een vermindering van de geluidsoverlast in een gezondere leefomgeving.

Onze eigen persoonlijke kenmerken en de invloeden vanuit onze omgeving bepalen op welke wijze we de maatschappelijke effecten van ecosysteemdiensten waarnemen en **waarderen**. Die waardering heeft een invloed op de keuzes die de actoren maken (**governance**). Die keuzes bepalen direct en indirect hoe we de ecosystemen, al dan niet i.f.v. ecosysteemdiensten, beheren. De wisselwerking tussen alle actoren zal uiteindelijk bepalen welke oplossing de voorkeur krijgt en welke ingrepen op het terrein uitgevoerd worden. Onze keuzes hebben echter niet altijd een direct effect op de ecosystemen, maar kunnen ook indirect een invloed hebben. Zo kunnen technologische ontwikkelingen er bijvoorbeeld voor zorgen dat wagens minder geluid produceren, waardoor de geluidshinder vermindert en de vraag naar geluidreducerende maatregelen afneemt.

1.2.1. Ecosystemen en ecosysteemdiensten

Deze paragraaf legt de focus op het eerste deel van de ESD-cyclus: hoe dragen ecosystemen bij aan het reguleren van geluidsoverlast en welke structuren en processen spelen daarin een rol? Hierbij maken we een onderscheid tussen ecosysteemdiensten die een invloed hebben op de fysieke reductie van het geluidsniveau (dus verlaging van het aantal dB) en functies die zorgen voor een psychologisch effect op de geluidservaring.

1.2.1.1. Fysische geluidreductie

Zoals in een volgende paragraaf duidelijk zal worden, zijn niet alle typen van bodembedekking of vegetatie effectief bij de fysieke reductie van geluid. Omdat de mate waarin geluid gereduceerd kan worden van veel omgevingsfactoren afhankelijk is en in ruimte en tijd erg kan verschillen, is het niet zinvol om voor de bijdrage aan geluidregulatie uit te gaan van een gedetailleerde indeling van vegetatie en bodembedekking. Enkel ecosystemen die voldoende groot zijn en die in een deel van het jaar een relatief grote 'oppervlaktemassa' (massa per m², inclusief strooisellaag) kunnen hebben, moeten geanalyseerd worden i.v.m. een potentieel betekenisvolle fysieke reductie. Smallere stroken bomen echter, dicht langs de weg en door hun beplantingspatroon speciaal aangelegd voor geluidreductie, kunnen echter wel een nuttige reductie opleveren (Van Renterghem *et al.*, 2012b). Maar omdat we hier uitgaan van de algemene bodembedekking in het gewest, lijkt ons het onderscheiden van de volgende globale ecosysteemttypen (op basis van bodembedekkingskaarten) voldoende om een analyse van het belang van deze ecosysteemdienst op niveau van het gewest te maken.

In functie van directe fysieke geluidreductie:

- loofbos
- naaldbos
- gemengd bos
- vallei en moerasbossen
- struweel
- korte omloophout, laagstamboomgaarden, maisakker

De aanwezigheid op zich van deze ecosystemen is niet voldoende om geluidregulerend te werken. Ze zullen minimale afmetingen moeten hebben en op specifieke plaatsen t.o.v. geluidsbron en ontvanger moeten liggen om effectief te kunnen zijn.

DIRECTE EFFECTEN

Vegetatie en bodem kunnen het geluidsniveau bij een ontvanger zowel direct als indirect beïnvloeden (Van Renterghem *et al.*, 2012b). Op een directe manier gaat het om de aanwezigheid van bovengrondse biomassa en hoe deze biomassa interageert met geluidsgolven:

1. **Verstrooiing** en **reflectie** van geluidsgolven op stammen, takken, twijgen en bladeren waardoor de rechte weg tussen bron en ontvanger niet meer kan gevolgd worden. Een deel van de geluidsenergie zal bijgevolg de ontvanger niet meer bereiken. Het deel dat toch nog bij

de ontvanger terecht komt (bijv. door meervoudige verstrooiing) heeft veelal een langere weg afgelegd en wordt daardoor minder intens. Een object, in het algemeen, is slechts een goede verstrooier van akoestische energie wanneer de afmetingen in de buurt liggen van de golflengte van het geluid. Dit betekent dat vooral verstrooiing door stammen belangrijk zal zijn voor wegverkeer omdat deze een invloed hebben op voldoende lage frequenties. Verstrooiing door bladeren is in de praktijk vaak minder relevant aangezien dit vooral hogere geluidsfrequenties (kleine golflengtes) beïnvloedt; typisch vanaf 2 kHz krijgen we significante verstrooiing door bladeren.

2. **Absorptie** van geluidgolven aan het oppervlak van vegetatie-elementen en door gedempte trillingen van plantonderdelen. Ook treedt absorptie op door de boomschors. Absorptie zorgt voor omzetting van akoestische energie naar warmte.

Het Brussels Instituut voor Milieubeheer hanteert volgende attenuatiewaarden voor octaafbanden.

Middenfrequentie (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Absorptie per 100m dichte vegetatie (dB)	3	5	7	9	12	15

BIM, s.d.

Deze waarden zijn grotendeels gebaseerd op het standaardrekenmodel ISO9613-2 voor geluidspropagatie in de buitenomgeving. Bemerkt dat deze waarden uitgaan van conservatieve schattingen (dus beperkte effecten), geen onderscheid maken tussen specifieke vegetatiekenmerken, en bovendien zijn enkel de directe effecten in rekening gebracht. Verstrooiing en absorptie hangen af van de afstand die geluidsgolven afleggen doorheen de vegetatie. Er wordt hierbij een lineair verband verondersteld. Deze waarden werden gebruikt bij gebrek aan alternatieven met een beperkte rekenkost om bruikbaarheid te garanderen tijdens het opstellen van geluidskarten.

Volgende kenmerken van vegetatie spelen een rol m.b.t. deze directe effecten: de breedte en lengte van de vegetatiezone, de dichtheid (of beter de massadichtheid, massa/m²), afmetingen van individuele plantenonderdelen (bladeren en takken), de bladstructuur en oppervlaktedichtheid van bladeren, en de fenologie van de vegetatie (altijd groen of bladverliezend). De diameter van boomstammen en het stammenpatroon (willekeurig of geordend) hebben verder een invloed op de geluidreductie. Ook het patroon van de opgaande vegetatie kan vermeld worden: een ononderbroken brede bosgordel of een beplanting volgens opeenvolgende, geleidelijk opgaande stroken (strokenbeplanting).

INDIRECTE EFFECTEN

Belangrijke indirecte effecten zijn het bodemeffect en de invloed van vegetatie op de microklimatologie. Ondanks het gebruik van de term "indirecte effecten" door de aanwezigheid van vegetatie, zijn deze vaak belangrijker in de praktijk dan de eerder vermelde directe effecten.

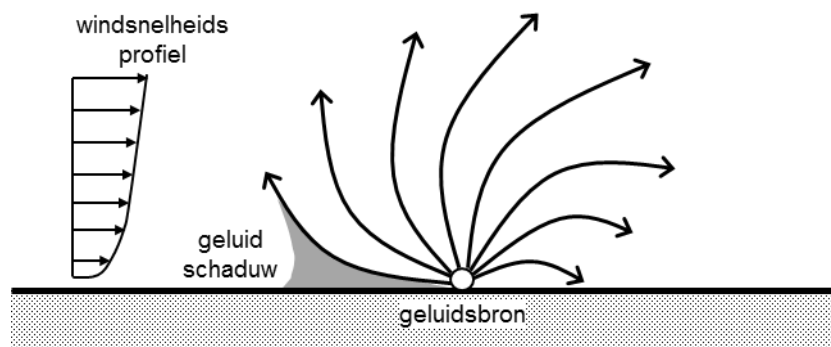
1. **Bodemeffect.** De aanwezigheid van een poreuze bodem kan een belangrijke geluidreductie opleveren bij frequenties onder 1 kHz. De oorzaak is te vinden in interferentie tussen de geluidsgolf die rechtstreeks propageert tussen bron en ontvanger, en de geluidsgolf die reflecteert op een bodem. Gezien bij verkeer de bronhoogte beperkt is, wordt boven een niet-poreuze bodem vooral constructieve interferentie waargenomen (de rechtstreekse en grond-gereflecteerde golf versterken elkaar), wat leidt tot hogere niveaus. Destructieve interferentie treedt dan pas op bij zeer hoge frequenties. Bij een poreuze bodem ondervindt de grond-gereflecteerde golf echter een extra tijdsvertraging door (gedeeltelijke) indringing in de bodem. Dit zorgt ervoor dat deze destructieve interferentie opschuift naar een relevant lager frequentiegebied. De bodem die zich ontwikkelt onder vegetatie (door het ontwikkelen van een wortelstructuur, door bodemorganismen, humuslaag) is zeer poreus en zorgt ervoor dat dit bodemeffect uitgesprokener wordt dan bijv. boven grasland. Ook een goed ontwikkelde strooisellaag kan een belangrijke bijdrage leveren aan dit effect. Bemerkt dat dit bodemeffect kan leiden tot significante reductie bij lagere frequenties, die nauwelijks direct beïnvloed worden door opstaande delen van vegetatie.

Met betrekking tot het bodemeffect zijn porositeit en stromingsweerstand van de bodem belangrijke eigenschappen. Gerangschikt naar afnemend effect, geeft dit: zeer zachte bedekking van de bodem (verse sneeuw, dik mos) > zachte bosbodem met een dik pak bladeren > ongecompacteerde losse grond > normaal ongecompacteerde bodem (een meer open bosbodem, gras- en weiland) > compacte bodembegroeiing en grind (gazons, sportvelden) > sterk gecompacteerd bodem (onverharde weg, parkeerplaatsen) > harde oppervlakten (asfalt, steen, beton, water). Men kan dus van 'akoestisch zachte' en 'akoestisch harde' bodems spreken. Een wateroppervlak is een hard akoestisch oppervlak omdat geluidsgolven hier niet indringen.

Stromend water en waterlopen kunnen echter wel een positief psychologisch effect hebben op de geluidswaarneming.

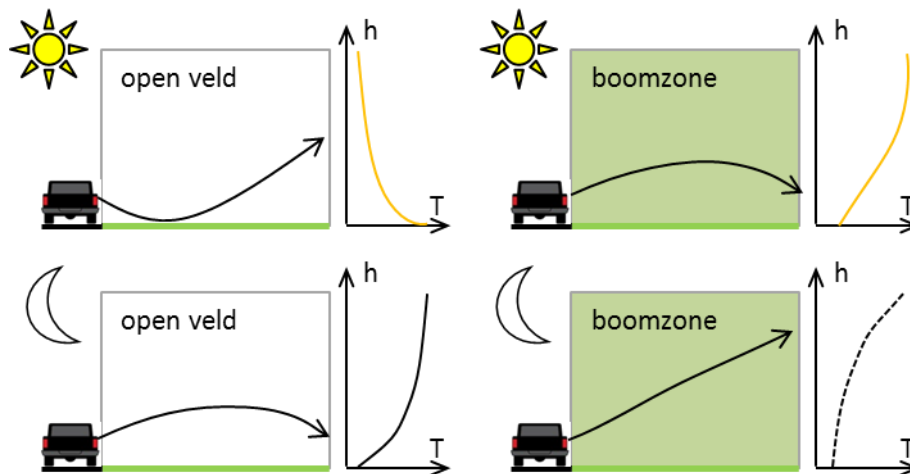
2. **Atmosferische effecten.** Vegetatie kan in sterke mate de micro-meteorologie beïnvloeden. De specifieke windsnelheids- en temperatuurprofielen bepalen op hun beurt hoe geluid zich voortplant in de atmosfeer. Variatie met de hoogte van de luchttemperatuur en windsnelheid leidt tot refractie of afbuiging van geluid. Conditie die leiden tot hogere geluidsniveaus bij een ontvanger noemen we belastende meteocondities. Daarnaast kunnen ook situaties optreden waarbij lagere niveaus voorkomen bij een ontvanger (niet-belastende condities). Dergelijke effecten zijn het meest uitgesproken op grotere afstand van een bron, en kunnen leiden tot sterke variatie in geluidsniveau wanneer een langere periode beschouwd wordt, onafhankelijk van variaties in bronvermogen.

In afwezigheid van vegetatie buigen geluidsstralen naar het aardoppervlak toe bij wind afwaartse propagatie (belastend) en naar boven bij tegenwind (niet-belastend). Bij tegenwind ontstaat er op die manier, op voldoende afstand, een 'geluidschaduwzone' waarin een specifieke bron nauwelijks bijdraagt tot het geluidsniveau in die zone (zie Figuur 2). Dit effect treedt vooral op wanneer bron en ontvanger zich dicht bij de grond bevinden. Opgaande vegetatie heeft een sterke invloed op het windprofiel en de windsnelheid en zo op de kromming van de geluidstralen. Het veranderen van het windprofiel met een bomenrij in de buurt van een klassieke geluidsmuur bleek interessant om dergelijke belastende meewind effecten te beperken (Van Renterghem & Botteldoorn, 2002).



Figuur 2. Effect van wind op de voortplanting van geluid (Bockstael et al., 2012).

Temperatuurinversie heeft een gelijkaardig effect; er treedt dan een kromming van de geluidstralen op naar het aardoppervlak toe. Dit effect is duidelijk waarneembaar wanneer het aardoppervlak en de lucht er vlak boven plots afkoelen. Dit kan voorkomen vanaf valavond bij helder weer en bereikt een maximum in de vroege ochtend. Bij temperatuurinversie wordt geluid veel duidelijker hoorbaar op afstanden van verschillende honderden meter van de geluidsbron, vergeleken met de afwezigheid van een dergelijke grond-gebaseerde temperatuurinversie. Vegetatie heeft een belangrijke invloed op de microklimatologie en kan dergelijke negatieve effecten veroorzaakt door een temperatuurinversie beperken. De onderstaande figuur maakt dit duidelijk. In een open landschap krommen de geluidsgolven van de oppervlakte weg wanneer de temperatuur afneemt met de hoogte (geen inversie, overdag bij heldere hemel) en naar het aardoppervlak toe bij inversie ('s nachts bij heldere hemel). Onder dezelfde algemene atmosferische omstandigheden in een bosrijk landschap is de temperatuur overdag bij de oppervlakte lager dan hogerop door de schaduwwerking van kruinen en krommen de geluidsgolven naar beneden, wat leidt tot een ietwat hogere geluidsbelasting. De winst door vegetatie (m.b.t. afbuiging van geluid) wordt echter 's nachts gemaakt, waarbij de sterke afkoeling van de bodem, zoals optreedt in een open landschap, wordt beperkt. Dit zorgt ervoor dat de belastende situatie m.b.t. geluidspropagatie ook sterk wordt getemperd. Deze invloed van vegetatie op de microklimatologie blijkt netto positief voor geluidsvoortplanting gedurende een typische dag-nacht cyclus (Van Renterghem et al., 2014). Het spreekt vanzelf dat dit een complex atmosferisch proces is; ook het vochtgehalte van de bodem, de bewolgingsgraad en de wind beïnvloeden dergelijke geïdealiseerde temperatuurprofielen in een dag-nacht cyclus.



Figuur 3. Typische temperatuurprofielen boven een open veld en beboste zone, gedurende dag en nacht (bij heldere hemel). Het effect op de afbuiging van geluid is geïllustreerd door middel van geluidsstralen (Figuur: Timothy Van Renterghem).

Het spreekt vanzelf dat ook de kenmerken van de geluidsbron een belangrijke rol spelen. Bij een hoogfrequente bron kan vegetatie zeer effectief zijn. Ook de ligging van de vegetatiestrook tussen bron en ontvanger heeft een belangrijke invloed. Metingen wezen uit dat een vegetatiezone die dadelijk aansluit bij de bron te verkiezen is. Ook reliëfelementen kunnen in belangrijke mate een geluidsbron (rechtstreeks) afschermen.

De fysische geluidreductie die kan bekomen worden door vegetatie blijft eerder beperkt in absolute cijfers, maar dient steeds afgewogen te worden t.o.v. andere maatregelen tijdens de overdracht van geluid tussen bron en ontvanger. Bij een optimaal ontwerp, inclusief het exploiteren van het bodemeffect, kan relevante geluidreductie verkregen worden. Met een vegetatiezone wordt op middelgrote afstand van een weg gelijkaardige afscherming voorspeld als met een klassieke geluidsmuur (Van Renterghem *et al.*, 2013), zeker wanneer ook de bovenvermelde wind afwaartse effecten beschouwd worden.

Geluidsmuren en vegetatie langs verkeerswegen verminderen de geluidsoverlast in de directe omgeving en dragen zo bij aan een verbetering van de omgevingskwaliteit. Algemene omgevingskwaliteit is echter een complex gegeven en het kan voorkomen dat geluidsmuren andere aspecten van die kwaliteit negatief beïnvloeden. Zo werd bijvoorbeeld gemeten dat direct achter een geluidsscherm (op 15m afstand) en langs de lijzijde de concentratie fijn stof beduidend lager is (45-50 %) dan in een situatie zonder scherm. Maar op een afstand van 80-100m van het scherm kan de concentratie van fijn stof en andere pollutanten dan weer meer dan 2x hoger zijn dan op eenzelfde afstand zonder scherm. Pas op 250-450m van het scherm bleek de concentratie terug overeen te komen met wat als achtergrond aanwezig is; een veel grotere afstand dan zonder geluidschermen (Ning *et al.*, 2010). De aanwezigheid van volgroeide bomen bij het scherm vergroot het verlagend effect op korte afstand (Baldauf *et al.*, 2008), maar kan negatief zijn voor de langere afstand (Ning *et al.*, 2010). Dit alles heeft te maken met de versterkte turbulentie ten gevolge van het geluidsscherm. Dit soort bevindingen betekent niet dat geluidreducerende infrastructuur dan maar achterwegen gelaten moet worden, maar wel dat er getracht moet worden om bij de inplanting ervan met zoveel mogelijk factoren van die complexe omgevingskwaliteit rekening te houden.

1.2.1.2. Psychologisch mechanisme

Zoals eerder opgemerkt, kan er ook een psychologisch effect van vegetatie, ecosystemen en andere ruimtekenmerken uitgaan op de geluidservaring (zie o.a. Anderson *et al.*, 1984; Aylor & Marks, 1976; Yang F. *et al.*, 2011). Opgaande begroeiingen en landschapselementen met een voldoende dichtheid en continuïteit die visueel afschermend werken, blijken hiervoor belangrijk te zijn. De volgende globale ecosystemen en bodembedekking kunnen we in functie van het psychologisch effect en het maskeren van achtergrondgeluiden onderscheiden:

- kleine landschapselementen + hoogstamboomgaarden
- loofbos
- naaldbos

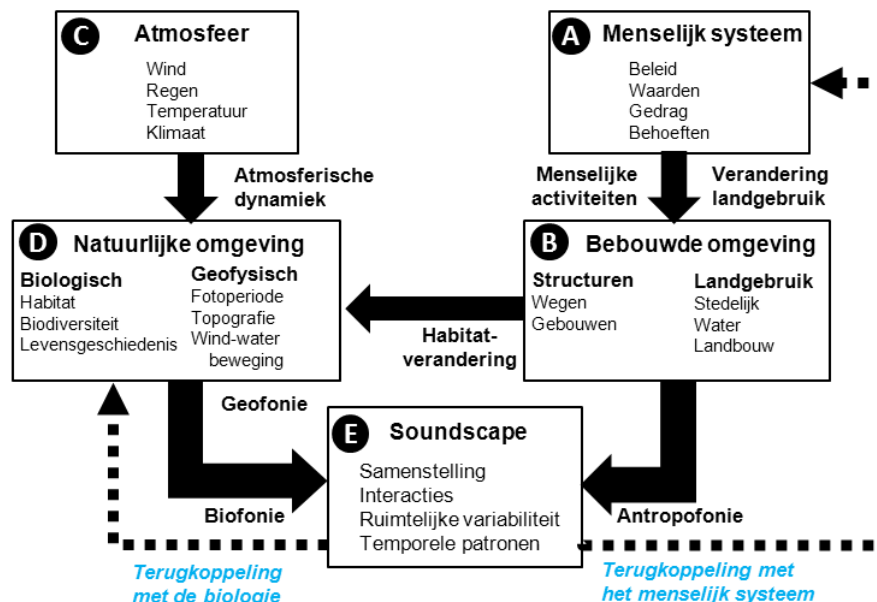
- gemengd bos
- vallei en moerasbossen
- kustduinen
- struweel
- rietland
- waterloop

Voor de bodembedekking die een psychologisch effect kan induceren, volstaat het niet om van het type 'kleine landschapselementen' uit te gaan. In het kader van geluidregulatie zijn de opgaande of diep verzonken elementen van belang, zoals houtkanten of heggen, dijken, brede en hoge rietzomen, diepe holle wegen (wanneer geluidsbron of potentieel gehinderde zich erin bevindt). Waterlopen zullen hoorbaar moeten stromen en liefst ook nog aan beide zijden afgeboord zijn met een hoge riet- en ruigtezoom opdat ze het beoogde psychologische effect zouden kunnen hebben.

De mechanismen die optreden zijn complex en niet eenduidig. Ze hebben te maken met

- De mate waarin een geluidsbron aan het zicht van een waarnemer onttrokken wordt door objecten die als aangenaam ervaren worden, zoals kleine landschapselementen, bos, park;
- De mate waarin potentieel storend geluid gemengd wordt met 'aangenaam' geluid, bijvoorbeeld een klaterende beek of een spetterend fontein;
- De mate waarin een geluid niet vreemd is aan de omgeving; het in overeenstemming zijn met de functie van de ruimte waarin het geluid ervaren wordt, waardoor het overeenkomt met het verwachtingspatroon (zie o.a. Viollon *et al.*, 2002).

Vroegere ervaringen en verwachtingen zijn doorslaggevend. Daardoor komt het waarschijnlijk ook dat visueel sterk door vegetatie afgeschermd geluidsbronnen als storender ervaren worden dan geluidsbronnen achter een meer transparante vegetatie of in een transparant landschap (Watts *et al.*, 1999). De samenstelling en appreciatie op zich van de sterk afschermd vegetatie, hebben hierop geen invloed. Ook uit recent onderzoek naar de invloed van meer of minder afschermd landschap op ervaren verkeersgeluid in een stedelijke omgeving, suggereerde dat de zelf gerapporteerde hinder kleiner is louter door de aanwezigheid van dichte vegetatie (Desiere, 2013). Ook voor artificiële geluidschermen werd gevonden dat, bij een gelijk geluidsniveau, doorschijnende elementen als effectiever ondervonden worden dan ondoorzichtige schermen (Maffei *et al.* 2013). Uiteindelijk blijkt dat geluid in een landschap een sterker effect heeft op de manier waarop men op dat landschap reageert (de totale beleving ervan), dan de visuele componenten in het landschap (Carles *et al.*, 1992).



Figuur 4. Conceptueel kader voor de processen en het mechanisme van de soundscape (uit: Pijanowski *et al.* 2011)

Een mogelijkheid om de psychische geluidservaring m.b.t. vegetatie in rekening te brengen is via het bepalen van equivalente geluidsniveaureducties die tot eenzelfde hinderervaring leiden op basis

van luistertesten in labo, zoals bijv. voorgesteld in Desiere (2013). Echter alle elementen van die omgeving spelen mee en interageren bij die ervaring en dergelijke labotesten zijn dus steeds artificieel. Geluidregulerende maatregelen die uitsluitend uitgaan van de overlastbron en zich enkel daarop richten, hebben daardoor niet altijd het gewenste (op fysische wetmatigheden gebaseerde) effect. In een complexe geluidssituatie, zoals een stedelijke omgeving, wordt daarom steeds meer van een alternatieve benadering uitgegaan, nl. de analyse van de 'soundscape' of het totaal aan geluiden in een omgeving die ons oor bereiken (Schafer, 1994). Er wordt dan onderscheid gemaakt tussen 'antropofonie', geluid van door de mens gemaakte objecten en processen, 'biofonie', niet-menselijke biologische geluiden van de organismen in een omgeving en 'geofonie', niet-biologische natuurlijke geluiden van milieufenomenen (wind, water, e.d.) (Pijanowski *et al.* 2011). Alle werken ze op elkaar in, en het is het gecombineerde effect daarvan dat uiteindelijk onze ervaring van geluid op en plaats zal bepalen (Figuur 4). Niet alle geluiden in zo'n complexe omgeving worden als storend ervaren; integendeel, bepaalde geluiden kunnen bijdragen aan een aangenaam geluidslandschap (Botteldooren *et al.* 2009). Landschapskarakteristieken en variatie in het patroon van de soundscape hangen samen. Vooral landschapsvormen en vegetatie hebben daarop een belangrijke invloed (Liu *et al.*, 2013). Vanuit deze vaststellingen is het duidelijk dat landschapsarchitecten en ruimtelijk ontwerpers een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan geluidregulatie. Bij het vormgeven en invullen van een plek kan immers gestuurd worden op de potentiële mix aan verschillende geluiden die tezamen een aangename geluidsomgeving kunnen creëren.

1.3. Actoren

De levering en het gebruik van ecosysteemdiensten wordt in belangrijke mate bepaald door keuzes die de belanghebbenden of de actoren van de dienst maken. We groeperen die stakeholders analytisch in een vijftal categorieën: (1) eigenaars/beheerders, (2) begunstigden, (3) benadeelden, (4) aanbieders van technisch, financieel, en menselijk kapitaal en (5) institutionele vertegenwoordigers. In de praktijk maken belanghebbenden meestal deel uit van meer dan één categorie, en vervullen zij in de ESD-cyclus dus meerdere rollen tegelijkertijd. In hoofdstuk 2 van het technisch rapport van NARA-T worden de verschillende belanghebbenden en hun rol in de ESD-cyclus besproken. In de volgende paragrafen beperken we ons tot een bespreking van de belangrijkste begunstigden van de dienst (vraag naar de ESD) en van de groepen die de ecosystemen die de dienst leveren beheren of de levering van de dienst ondersteunen (levering van de ESD).

1.3.1. Vraag naar de dienst

Burgers. Een begunstigde van de dienst is iedereen die potentieel hinder ondervindt van geluid. Iedereen kan een gezondheidsrisico lopen door langdurige blootstelling aan hinderlijke niveaus. Het type risico dat door geluidsoverlast veroorzaakt wordt en de grootte van de kans erop, zijn echter minder duidelijk. Klachten waarmee geluidsoverlast in verband kunnen worden gebracht, blijken van cardiovasculaire (verhoogde bloeddruk en onvoldoende bloedtoevoer naar de hartspier) en mentale (depressie, slaapproblemen) aard te zijn (Passchier-Vermeer & Passchier, 2000). Recent heeft de World Health Organization in samenwerking met het JRC van de Europese Commissie een zeer onderbouwd overzicht van de gezondheidsrisico's die verbonden zijn aan geluidsoverlast, gepubliceerd (WHO, Regional office for Europe, 2011). Gehoorschade doet zich uiteraard ook voor, maar niet bij de geluidsniveaus die we als dagelijks omgevingsgeluid kunnen typeren.

Wegverkeerlawaai dat lager blijft dan 50 dB L_{den} (gemiddelde geluidsblootstelling overdag, 's avonds en 's nachts) wordt als weinig hinderend beschouwd. Stijgt dit niveau tot 60 dB, dan zal wel een significant deel van de bewoners waar zich dit voordoet gehinderd worden. Bij een nog hogere belasting ($L_{den} > 70$ dB) neemt de ernst toe en zijn er risico's voor de volksgezondheid. Verstoring van de slaap ten slotte, met nadelige effecten voor de gezondheid, worden waargenomen vanaf 40 dB(A) L_{night} (geluidsniveau gedurende de nacht, van 23u tot 7u). Vanaf 55 dB(A) L_{night} worden de risico's voor de volksgezondheid groot (WHO, Regional office for Europe, 2009; 2011). In de 'Richtlijn Omgevingslawaai' van het gewest, wordt L_{den} 50 dB als grenswaarde genoemd (Lavrijsen *et al.* 2009).

Naast het persoonlijk gezondheidsbelang kunnen nog belangen onderscheiden worden op basis van algemenere economische of maatschappelijke gronden.

Ondernemers die door een omgeving met geluidsoverlast geen optimale bedrijfsresultaten behalen. Horeca kan klanten verliezen in een omgeving waar regelmatig geluidsoverlast optreedt. Andere ondernemers kunnen dan weer baat hebben van geluidreductie omdat ze, omwille van het

geluid dat door hun bedrijf of activiteit geproduceerd wordt, geconfronteerd worden met klachten, e.d. Geluidreducerende maatregelen kunnen dan de verdere exploitatie of uitbreiding van hun bedrijf mogelijk maken.

Overheid die doelen wil realiseren die rechtstreeks of onrechtstreeks samenhangen met een geluidarme omgeving zoals bv. de realisatie van stiltegebieden en natuurgebieden en voor de Vlaamse overheid, het opstellen van 'Actieplannen voor de vermindering van geluidhinder' zoals voorgeschreven door de Europese Richtlijn 2002/49/EG inzake de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai.

Acties en beslissingen van deze begunstigen kunnen de ecosysteemdienst op verschillende manieren ondersteunen.

- Bij de overheid of de eigenaars van terreinen kan bekomen worden dat een grondgebruik of bodembedekking die geluidreducerend werkt, behouden blijft of gerealiseerd wordt. Het kan daarbij gaan om bestemming, aanleg en inrichting, en beheer.
- De overheid kan een samenhangend actieplan voor geluidreductie uitwerken en implementeren en daarin aangeven welke rol de ecosysteemdienst daarbij speelt.
- Particulieren en ondernemers kunnen zelf de ecosysteemdienst ondersteunen en 'gebruiken' door gericht ingrijpen in vegetatie en grondgebruik. Hier gaat het dan om aanleg en beheer.

1.3.2. Levering van de dienst

Onder de actoren die de levering van de ecosysteemdienst beïnvloeden kunnen we onderscheid maken tussen de beheerders en eigenaren van de ecosystemen die de dienst leveren en groepen die de dienst ondersteunen en faciliteren (de aanbieders van technisch, financieel, en menselijk kapitaal en de institutionele vertegenwoordigers).

Burgers, al dan niet onder de vorm van terrein behorende verenigingen, kunnen eigenaar of beheerder zijn van zones met een geluidreducerende bodembedekking en deze zodanig gebruiken en beheren dat de ecosysteemdienst in meer of mindere mate wordt aangeboden. Beseigenaars zijn belangrijke vertegenwoordigers van deze categorie.

Onder de groepen die de ecosysteemdienst ondersteunen en faciliteren via het aanbieden van technisch, financieel, en menselijk kapitaal, vinden we **fabrikanten** en **O&O instellingen** die de effectiviteit van geluidreducerende infrastructuur en bodembedekking optimaliseren en de toepassing ervan bevorderen en verspreiden. Een goed voorbeeld hiervan is het Europese onderzoekproject HOSANNA (FP7/2007-2013; overeenkomst nr. 234306) waarin technieken ontwikkeld worden om verkeerslawaai in de omgeving te reduceren door het optimaal gebruik van vegetatie, bodem en andere natuurlijke en gerecycleerde materialen in combinatie met artificiële elementen (HOSANNA, 2013). Ruimtelijke planners en ontwerpers en landschapsarchitecten kunnen bij de planning en inrichting van de ruimte en het publieke domein geluidreductie als een van de na te streven doelen opnemen. Met een aangepaste inrichting en invulling (zonatie van activiteiten en functies, lokalisatie van geluidreducerende structuren, plaats en samenstelling van beplanting, e.d.) kunnen immers geluidsarme of geluids aangename omgevingen gecreëerd worden (zie ook 'soundscape').

Ook de **overheid** beïnvloedt rechtstreeks of onrechtstreeks de vraag, het aanbod en het gebruik van ecosysteemdiensten. Zij kan ten behoeve van geluidregulatie bodembestemmingen opleggen, regelgeving ontwikkelen, implementeren en opvolgen, geluidreducerende infrastructuur zoals poreus asfaltbeton (gunstig bij droog weer, maar eerder averechts effect bij nat weer) en bodembedekking realiseren, en de eigen domeinen, zoals bossen en parken, in functie van geluidregulatie inrichten en beheren.

Acties en beslissingen van deze leveranciers kunnen de ecosysteemdienst op verschillende manieren ondersteunen,

- door het behouden, uitbreiden of nieuw realiseren van een bodembedekking met een geluidreducerende werking, of door het optimaliseren van die werking door een aangepaste inrichting en beheer;
- door onderzoek te doen naar de effectiviteitverhoging van infrastructuur en bodembedekking, de resultaten daarvan te ontwikkelen tot praktische richtlijnen en inzetbare producten die aangeboden worden.

2. Actuele Toestand ESD

Het visualiseren van de ESD, het aangeven waar de dienst nu of in de toekomst potentieel geleverd zou kunnen worden, vraagt een kaartenanalyse. Bij het karteren maken we onderscheid tussen het aanbod van de ESD, de vraag naar de ESD en het gebruik ervan.

Voor de beschrijving, kwantificering en kartering van het **aanbod** van de ESD regulatie van geluidsoverlast maken we onderscheid tussen de fysische geschiktheid van het ecosysteem voor de levering van de dienst, het potentieel aanbod van de dienst en het actueel aanbod. Een kaart van de *fysische geschiktheid* geeft weer waar de juiste fysische condities heersen voor de ecosystemen die de ESD leveren. Het kan immers dat bijvoorbeeld bodemkenmerken maken dat een ecosysteem ergens niet kan voorkomen. Het ontbreken van de ESD daar heeft dan niets met grondgebruik of maatschappelijke ontwikkelingen te maken. Zijn de fysische omstandigheden geschikt en is er geluidreducerende vegetatie of bodembedekking aanwezig, dan kan in theorie de dienst geleverd worden; we spreken van het *potentiële aanbod*. Voor de *actueel aanbodkaart* wordt naast de fysische geschiktheid en de huidige bodembedekking ook het huidige landgebruik, beheer en beleid in rekening gebracht. De **vraag** naar verminderen van geluidsoverlast wordt bepaald door de aanwezigheid van bewoners in een zone waar geluid als hinderlijk wordt ervaren. Het **gebruik** van de dienst ten slotte, verwijst naar waar en in welke mate de aanwezige ecosystemen ook daadwerkelijk zorgen voor een verminderde perceptie van de geluidshinder. In dat geval moet er een directe ruimtelijke relatie zijn tussen de geluidsbron waar de druk ontstaat, de begunstigde van de dienst (gehinderden) en een geluidregulerend ecosysteem. Ze moeten in elkaars nabijheid en in een bepaalde rangschikking aanwezig zijn. In principe kunnen we al deze elementen omschrijven, kwantificeren en karteren. In de praktijk wordt dit beperkt door leemten in kennis of data. Voor de ESD regulatie van geluidsoverlast worden de fysische geschiktheid en het potentieel aanbod niet besproken. De fysische geschiktheid is in Vlaanderen immers niet limiterend voor de levering van de dienst. Het belangrijkste is dat er opgaande begroeiingen kunnen voorkomen en overall in Vlaanderen, waar er geen bebouwing is, zijn de fysische condities geschikt om bv. bos te laten groeien (zie ESD Houtproductie). We hebben er verder voor gekozen om voor deze ESD geen onderscheid te maken tussen potentieel en actueel aanbod, omdat we er van uitgaan dat het beheer en beleid geen of nauwelijks invloed heeft op de levering van de dienst door de landbedekking die nu reeds aanwezig is (maar: zie 5.1).

2.1. Actueel aanbod

De actuele betekenis die aanwezige ecosystemen en grondbedekking hebben voor het realiseren van de ecosysteemdienst geluidregulatie (de *responsfactor*), hangt af van hun ligging t.o.v. de bron van geluidsoverlast. In overeenstemming met het huidige beleid, is het daarom aangewezen om deze ecosystemen en het grondgebruik in de directe omgeving van de gewestwegen en spoorwegen en de grote agglomeraties te analyseren. Vliegverkeer, industrie en tijdelijke bronnen van geluidsoverlast zoals manifestaties en festivals, bespreken we hier niet.

Voor de kartering van ecosysteemdiensten binnen NARA-T werd in samenwerking met de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) een gemeenschappelijke landgebruikskaart van Vlaanderen opgebouwd, met een ruimtelijke resolutie van 10 m (Poelmans *et al.*, 2014). Deze kaart sluit deels aan bij de oorspronkelijke landgebruikskaart (LU_10_110204) die door VITO werd opgesteld in het kader van projecten uitgevoerd voor de Natuurverkenning 2030, de Milieuverkenning 2030 en het Steunpunt Ruimte en Wonen en MIRA. De nieuwe kaart moet echter ook voldoen aan een aantal andere voorwaarden, waardoor er werd afgeweken van de oorspronkelijke kaart. Zo moet de kaart een hiërarchische structuur hebben, zodat er steeds kan opgeschaald worden, afhankelijk van het detailniveau dat nodig is voor de kartering van een ESD. De verschillende landgebruiken werden opgedeeld in over drie hiërarchische niveaus. Niveau 1 maakt een opdeling tussen verschillende grote landgebruiksklassen: urbaan, landbouw, water en verschillende natuurtypes. In de niveaus 2 en 3 wordt dit onderscheid verder uitgediept voor een aantal groepen. Voor een gedetailleerde beschrijving van de basiskaarten en de methodologie voor de opmaak van de landgebruikskaart verwijzen we naar het rapport van Poelmans *et al.* (2014).

Deze landgebruikskaart vormt de basis van de karteringsoefening voor deze ESD. Een aantal landgebruiksklassen van deze kaart hebben de capaciteit om de perceptie van geluid fysisch of psychologisch te reduceren. Deze landgebruiken worden in Tabel 1 weergegeven. Hierbij beperken we ons tot de landgebruiken die een 'natuurlijk karakter' hebben. Bebouwing, hoewel ook potentieel geluidreducerend, werd dus niet in deze tabel opgenomen. Het gaat hierbij om een inschatting ('best professional judgement') van de bijdrage die deze landgebruiken (vegetaties)

potentieel aan de ecosysteemdienst kunnen leveren, abstractie makend van de lokale omstandigheden, weersgesteldheid, e.d.. Om bijkomend te differentiëren tussen deze landgebruiken, hebben we bovendien gewichten gegeven aan de typen, overeenkomstig het meer of minder bezitten van kenmerken die geluidreducerend werken.

Liggen deze types begroeiingen binnen een bepaalde afstand van de geluidsbron (bv. 100, 200, 500, 1000m), dan zullen ze, afhankelijk van de effectiviteit waarmee ze geluid dempen (het 'gewicht' uit Tabel 1) en de oppervlakte die ze er innemen, een groter of kleiner geluidreducerend effect hebben voor de zones die er achter liggen.

Voor de psychische reductie kan dezelfde redenering gevolgd worden (Tabel 1). In plaats van de oppervlakte te beschouwen, wordt hiervoor echter beter rekening gehouden met de dichtheid van de elementen en hun oriëntatie t.o.v. de geluidsbron.

Tabel 1. *Bodembedekking en relatieve gewichten i.f.v. de fysische en psychologische reductie van geluidspereceptie. De landgebruiksklassen werden geselecteerd uit de landgebruikskaart die door VITO gemaakt werd (Poelmans et al., 2014).*

In relatie tot fysische reductie geluid		In relatie tot psychische reductie geluid	
Type bodembedekking	gewicht*	Type bodembedekking	gewicht
ander hoog groen (niveau 2)	3	ander hoog groen (niveau 2)	3
ander laag groen (niv. 2)	2	ander laag groen (niv. 2)	2
struweel (niv. 2)	2	struweel (niv. 2)	2
loofbos ander (niv. 2)	3	loofbos ander (niv. 2)	3
loofbos populier (niv. 2)	2	loofbos populier (niv. 2)	3
naaldbos ander (niv. 2)	3	naaldbos ander (niv. 2)	3
naaldbos grove den (niv. 2)	3	naaldbos grove den (niv. 2)	3
boomgaard laagstam (niv. 2)	1	boomgaard laagstam (niv. 2)	2
korte omloophout (niv. 2)	2	korte omloophout (niv. 2)	2
korrelmais (niv. 3)	1	loofbos alluviaal (niv. 2)	3
silomais (niv. 3)	1	kustduin (niv. 2)	3
		boomgaard hoogstam (niv.2)	2
		rietland (niv. 2)	2
		horeca hoog groen (niv. 3)	1
		horeca laag groen (niv. 3)	1
		recreatie en sportterrein hoog groen (niv. 3)	1
		recreatie en sportterrein laag groen (niv. 3)	1
		residentiële bebouwing hoog groen (niv. 3)	2
		residentiële bebouwing laag groen (niv. 3)	2
		water (niv. 2)	1

*: bij de bepaling van de impact van begroeiing op geluidreductie kan een relatieve weging van de ecosystemen- en grondgebruiksklassen gebeuren, gebaseerd op de (aangenomen) ontwikkeling van kenmerken die de mate van geluidreductie sterk bepalen, nl. dichtheid en structuur, waarbij 3 = grootste bijdrage (100% van de potentiële werking), 2 = mindere bijdrage (75% van de potentiële werking van bos) en 1 = kleinste bijdrage (50% van potentiële werking van bos).

2.2. Vraag

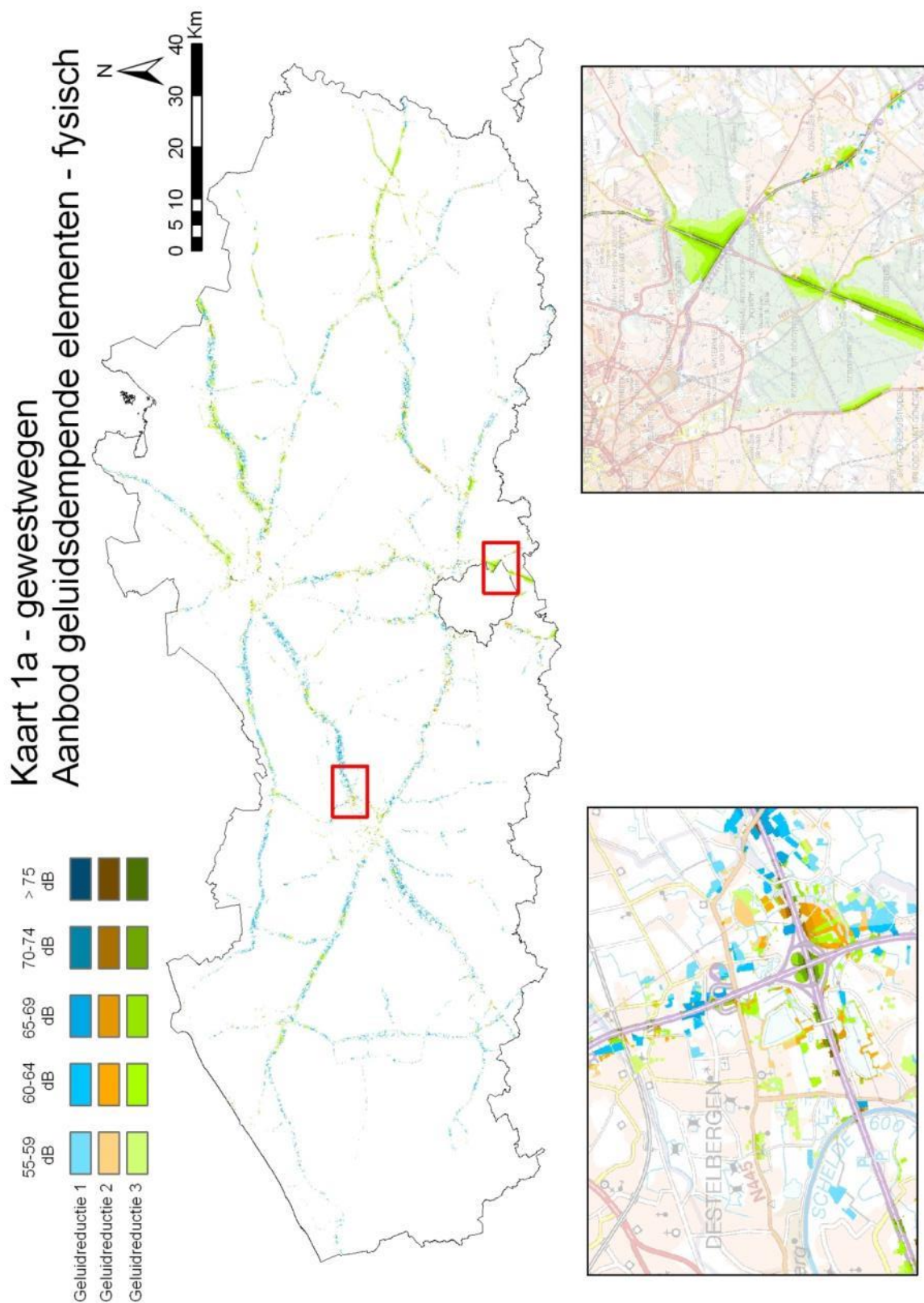
Algemene **doelstellingen t.a.v. reductie van geluidshinder** in het gewest zijn eerder kwalitatief gesteld. Het Milieubeleidsplan 2011-2015 (Vlaamse Overheid, 2011) constateert dat 'luchtverontreiniging door fijn stof en ozon, en geluidshinder samen verantwoordelijk (zijn) voor meer dan 90% van de DALY's'. In de planperiode van het Milieubeleidsplan 2011-2015 wil de overheid een significante daling bekomen van het aantal verloren gezonde levensjaren als gevolg van blootstelling aan luchtverontreiniging en geluidsoverlast. Meer specifiek moet het aantal potentieel ernstig gehinderden door geluidsoverlast door verkeer, tegen 2020 dalen met 15% t.o.v. 2010 (Vlaamse overheid, 2011). Uit de resultaten van de verschillende SLO-campagnes (2000-2003-2007-2012) is een dalende trend in de hinderbeleving waar te nemen (MAS, 2013). Uit een steekproef over een periode van 13 jaar blijkt echter dat de blootstelling aan verkeerslawaai nauwelijks evolueert (Van Renterghem et al., 2012a). Het blijft dan ook af te wachten of de dalende trend in het aantal gehinderden wordt bevestigd.

De doelen i.v.m. volksgezondheid hebben betrekking op het deel van de bevolking dat volgens de geluidskarten rechtstreeks gehinderd wordt in de grootste agglomeraties, door weg- en spoorverkeer en vliegbewegingen bij luchthavens. De karten van de eerste fase zijn onder

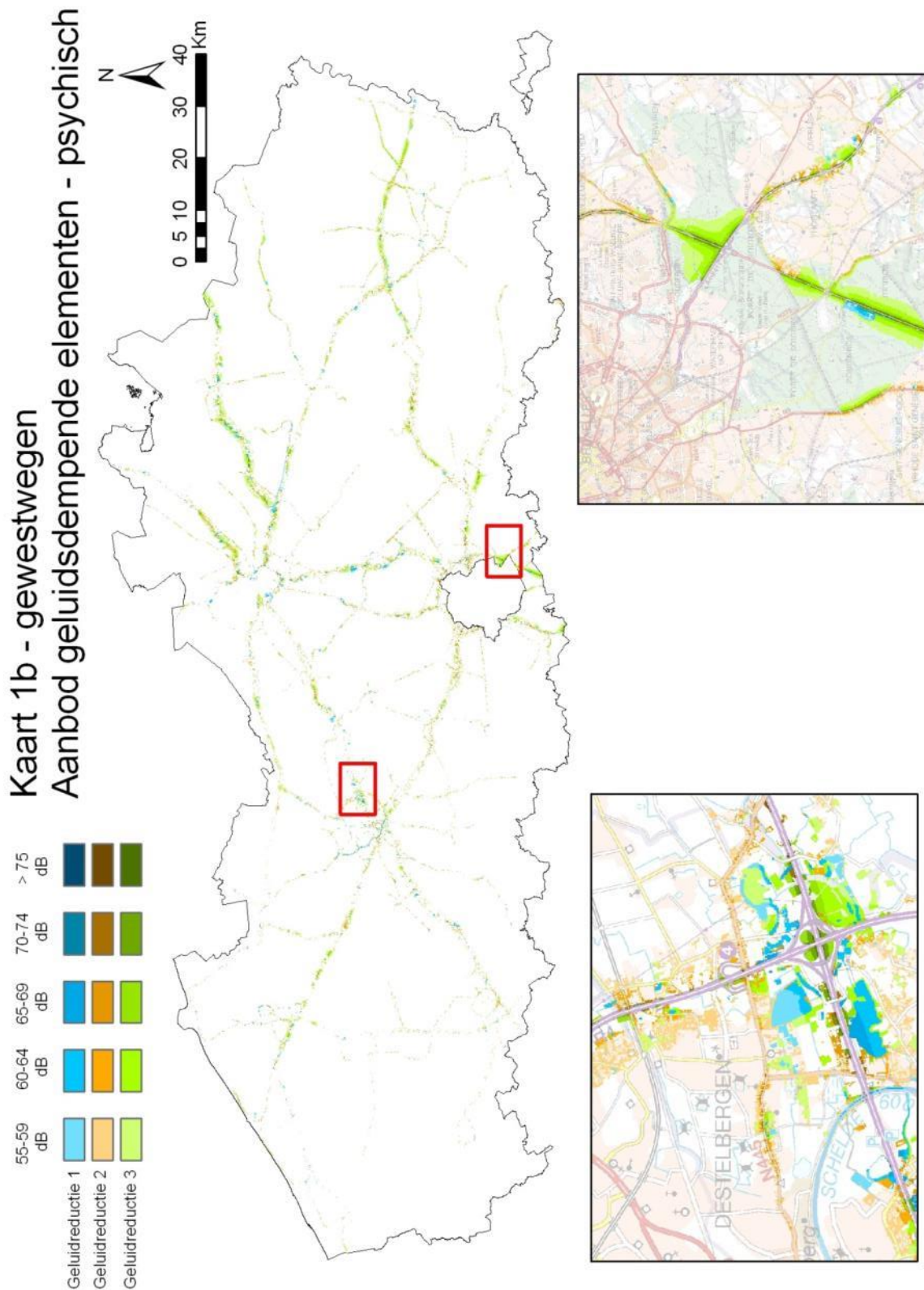
verantwoordelijkheid van het Vlaamse gewest gemaakt voor ongeveer 2500 km gewestwegen en omvatten alle wegen met meer dan zes miljoen voertuigpassages per jaar, plus de ermee samenhangende wegen. Voor het spoorverkeer gaat het om 280 km met meer dan 60000 treinen per jaar. De geluidskaarten voor de agglomeraties Antwerpen, Gent (eerste fase) en Brugge (tweede fase) zijn door de stedelijke besturen gemaakt. De kaarten kunnen geraadpleegd worden via de website van LNE, <http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/beleid/eu-richtlijn/goedgekeurde-geluidskaarten>. De voorgenomen vermindering van de geluidsoverlast wil de overheid bereiken met technische maatregelen en instrumenten van de ruimtelijke ordening. Het substantieel inzetten van geluidreducerend groen wordt in de beleidstukken niet genoemd. Men kan hieruit besluiten dat er vanwege de overheid geen formele vraag is naar deze ecosysteemdienst. Door het afbakenen en erkennen van 'stiltegebieden' te stimuleren, onderkent de overheid ten slotte de algemene vraag om geluidarme gebieden te behouden. Het doel ervan is "het in stand houden en mogelijk verbeteren van de akoestische kwaliteiten van stille gebieden, zowel voor bewoners als voor bezoekers en dit voor huidige en toekomstige generaties" (Pée en Vindevogel, 2006).

Als meer concrete voorstelling van de **vragende partij** voor de ecosysteemdienst zou het landgebruik in de directe nabijheid van de bron van geluidsoverlast weergegeven kunnen worden. Met de klassen 'bewoning' van de grondbedekkingskaart, 'natuurgebied' van de beleidskaarten Vlaams Ecologisch Netwerk en Speciale Beschermingszones in het kader van de Vogel- en Habitatrichtlijnen en, idealiter de categorie 'stiltegebieden', kan een oppervlakte gehinderden berekend worden waarvoor de toestand potentieel gunstig beïnvloed wordt door de ecosysteemdienst. Door ook 'stiltegebied' en 'natuurgebied' in rekening te brengen kan zo ook, naast gehinderden uit residentiële woonzones, het effect op zachte recreatie in beeld gebracht worden (Figuur 7). Daarvoor moet dan wel verondersteld worden dat recreanten die natuurgebieden en stiltegebieden verkiezen, dit (ook) doen vanwege hun verwachting daar effectief stilte te zullen ervaren. Is dat niet het geval, dan zijn ze 'gehinderd'. De categorie 'natuurgebied' vertegenwoordigt ten slotte nog de maatschappelijke doelstelling om rustige gebieden in stand te houden ten behoeve van de biodiversiteit. Verliezen deze gebieden hun rust, dan heeft dat potentieel een rechtstreeks negatief gevolg voor de biodiversiteit en de ecosystemen daar, en onrechtstreeks voor de maatschappij die een doelstelling met de ermee gepaard gaande investeringen, niet verwezenlijkt ziet.

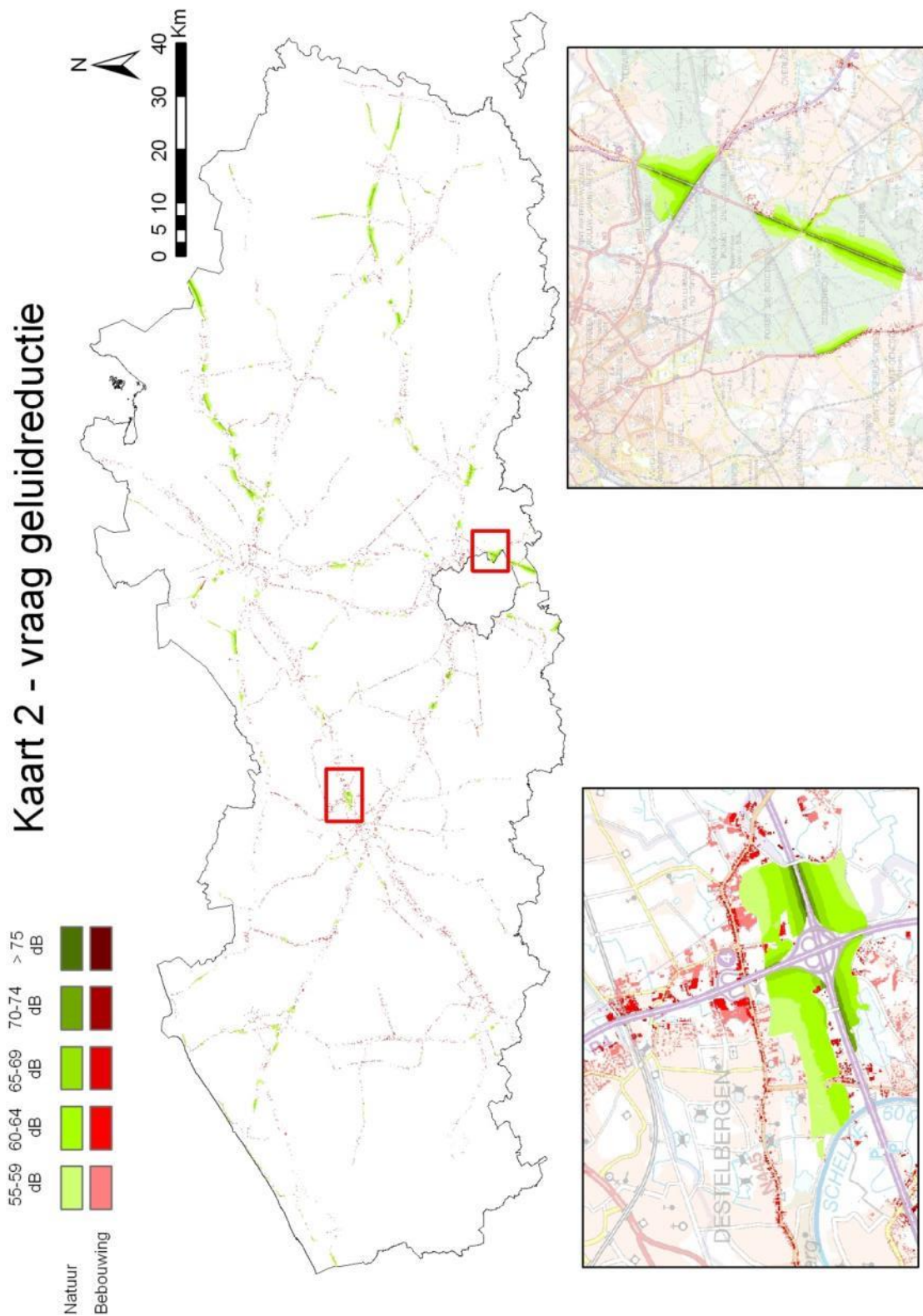
De *druk* die de vragende partij kan ondervinden, kan afgeleid worden van de geluidblootstellingskaart uit de Milieuverkenning 2030 (INTEC UGent). Daarin zijn de gewestwegen en spoorwegen, plus de agglomeraties Antwerpen, Gent en Brugge, zijn opgenomen. Op deze kaarten zijn verschillende zones van blootstelling weergegeven. In functie van een analyse van de hinder, zijn het de zones met geluidintensiteit 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 en > 75 dB en dit afzonderlijk voor de nacht (Lnight) en als gemiddelde voor een etmaal (Lden), van belang.



Figuur 5. Aanbod - Bodembedekking (vegetatie) langs gewestwegen binnen de zones met geluidsoverlast met een fysisch effect op de perceptie van geluidsoverlast. Zie Tabel 1 voor meer uitleg over de geluidreductiescores.



Figuur 6. Aanbod - Bodembedekking (vegetatie) langs gewestwegen binnen de zones met geluidsoverlast met een psychologisch effect op de perceptie van geluidsoverlast. Zie Tabel 1 voor meer uitleg over de geluidreductiescores.



Figuur 7. Vraag – Zones (natuur en bebouwing) langs gewestwegen binnen de zones met geluidoverlast. Zie tekst onder 2.3 voor de omschrijving van 'Natuur' en 'Bebouwing'.

2.3. Gebruik

Om een indruk te krijgen van het potentiële belang van de ecosysteemdienst voor de gehinderden, is de oppervlakte geluidreducerende bodembedekking berekend binnen de zones met een geluidsoverlast (Figuur 9 en Figuur 10). Daarvoor zijn de zones waarvoor gemiddeld per etmaal 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 en > 75 dB (Lden) gemodelleerd werd (geluidblootstellingskaart uit de Milieuverkenning 2030; INTEC UGent) geselecteerd (Figuur 5 en Figuur 6). De potentiële 'geluidreducerende bodembedekking' is opgedeeld volgens de categorieën die beschreven werden in paragraaf 2.1, actueel aanbod.

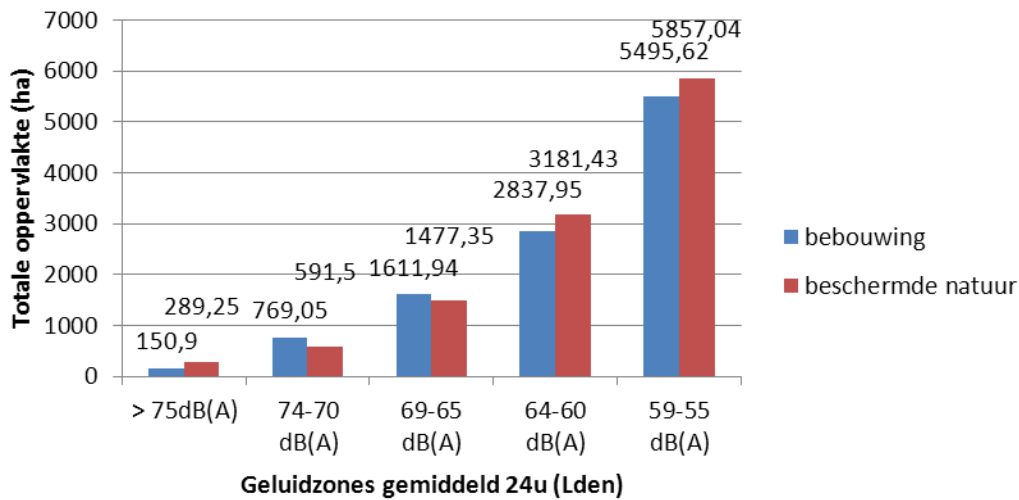
'Gehinderden' zijn de bodembedekkingscategorieën 'horeca' en 'Residentiële & commerciële bebouwing' (samen 'Bebouwing' in Figuur 7). Omdat maatschappelijk gewaardeerde natuur ook hinder van geluid kan ondervinden, en hierdoor dus voor de mens minder functioneel kan worden, zijn ook 'natuurgebied' volgens de beleidskaarten VEN en de *Speciale Beschermingszones in het kader van de Vogel- en Habitatrichtlijnen* opgenomen (samen 'Natuur' in Figuur 7).

In deze fase van het onderzoek zijn we niet verder gegaan dat het eenvoudig begroten van de oppervlakte gehinderden en reducerende bodembedekking binnen de storingszones. Dit geeft een eerste indicatie van het belang van de dienst. Of de dienst ook werkelijk geleverd wordt, is afhankelijk van de ligging van reducerende vegetaties t.o. van de geluidsbron en de gehinderden. Deze relatie is nog niet gelegd; de analyse werd nog niet voltooid. De kaart wil enkel tonen dat er een potentieel is voor de ecosysteemdienst en dat er directe belanghebbenden zijn binnen de zones die ertoe doen.

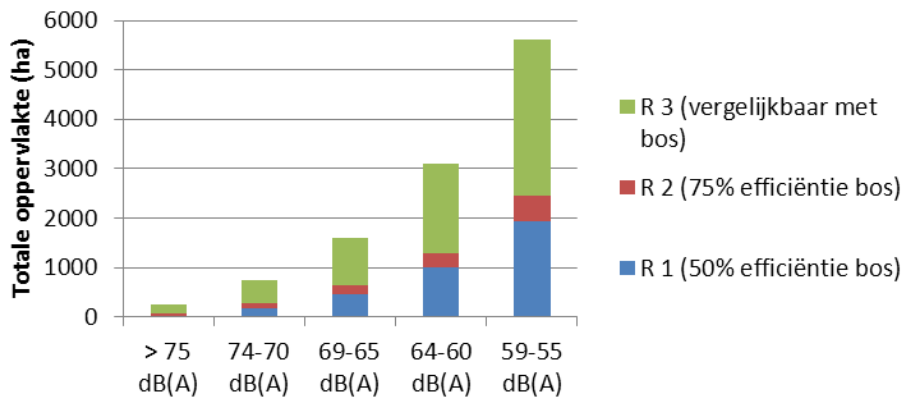
Tabel 2. Oppervlakte (ha) gehinderde en geluidreducerende bodembedekking langs gewestwegen binnen de zones met geluidsoverlast

	'Gehinderden'		Geluidreducerende bodembedekking	
	bebouwing	beschermde natuur	reducerende bodembedekking fysische werking (gewogen)	Reducerende bodembedekking, psychische werking (gewogen)
> 75dB(A)	150,9	289,25	256,16	727,04
74-70 dB(A)	769,05	591,5	738,82	1859,27
69-65 dB(A)	1611,94	1477,35	1607,88	3999,72
64-60 dB(A)	2837,95	3181,43	3091,35	7584,81
59-55 dB(A)	5495,62	5857,04	5618,11	14177,71
Totaal	10865,46	11396,57	11312,32	28348,54

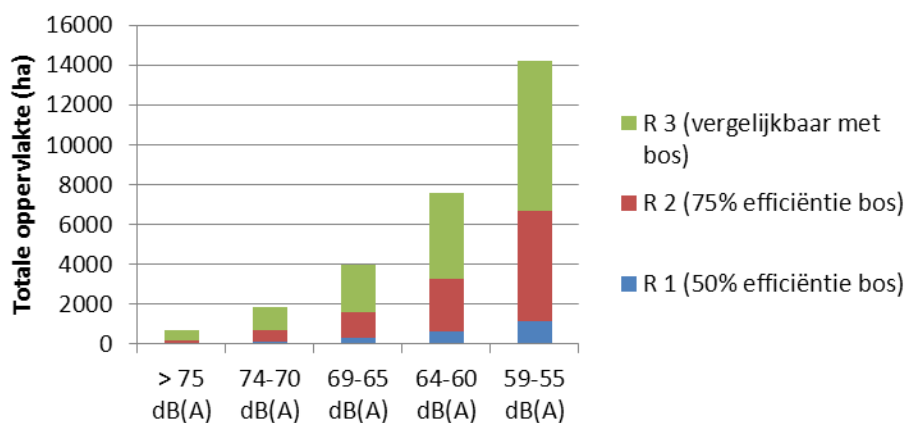
Uit Tabel 2 valt op dat de oppervlakte gehinderden quasi gelijk is aan de oppervlakte geluidreducerende bodembedekking. In theorie zou de ecosysteemdienst dus wel iets kunnen opleveren. Dat is zeker zo voor de psychische werking van vegetaties. Omdat die ook de begroeiingen omvat die een fysische reductie bewerkstelligen, is het normaal dat de gezamenlijke oppervlakte ervan groot is. Er moet opgemerkt worden dat 'beschermde natuur' en 'geluidreducerende bodembedekking' niet onafhankelijk zijn. Er zijn immers heel wat bossen die én geluid reduceren én beschermd zijn als natuurgebied. Hier zien we een conflict ontstaan wanneer er enerzijds sprake is van een positieve bijdrage van de ESD t.a.v. residentiële functies, maar anderzijds de natuurfunctie die expliciet aan het element verbonden werd, mogelijk negatief beïnvloed wordt door de verstoring van de natuurwaarden door geluid. Wat het aandeel is van 'beschermde' vegetatie bij de geluidreducerende bodembedekking, moet nog verder onderzocht worden.



Figuur 8. Oppervlakte gehinderden langs gewestwegen



Figuur 9. Oppervlakte fysische geluidreducerende bodembedekking langs gewestwegen (gewogen)



Figuur 10. Oppervlakte psychische geluidreducerende bodembedekking langs gewestwegen (gewogen)

3. Trend van de ESD

Toe- of afname van deze ESD hangen in de eerste plaats af van de mate waarin de beboste oppervlakte toeneemt en bestaande bossen door spontane ontwikkeling en beheer meer optimaal als geluidsbuffer kunnen functioneren. Het natuur- en bosbeleid streeft naar een uitbreiding van de bosoppervlakte en met het algemener toepassen van multifunctioneel bosbeheer zal ook de structuurvariatie van bossen toenemen. De verscheidenheid aan boomsoorten in bossen vergroot, bestanden worden meer ongelijkjarig en de struiklaag kan zich beter ontwikkelen. Dit alles is gunstig voor de ESD; zo bekeken zou er sprake kunnen zijn van een positieve trend. Zoals eerder gezegd, wordt de dienst echter pas geleverd als de bufferende vegetatie of landschapselementen in de onmiddellijke nabijheid van de overlastbron liggen. Dit is zeker zo voor de fysieke reductie van geluid. Voor de psychische werking, de visuele afscherming van de geluidsbron, is 'begroening' van de omgeving van de ontvanger eveneens van belang. Een toename van de ESD betekent dus een toename van bos naast drukke verkeerswegen, spoorlijnen of luchthavens én in de onmiddellijke omgeving van woonwijken, recreatiegebieden, e.d. Daar is het natuur- en bosbeleid minder op gericht, integendeel, om aan de recreatiebehoeften te voldoen zal bos eerder in rustige gebieden aangeplant of vergroot worden. De toekomstige stadsbossen vormen hier mogelijk een uitzondering op. Waar er toch bos in functie van geluidregulatie langs verstoringsbronnen aangelegd zal worden, of waar aangepaste landschapsplannen met bufferende landschapselementen (de psychische werking) nabij drukke verkeerswegen gerealiseerd worden, duurt het dan weer verschillende jaren voordat deze structuren voldoende volgroeid zijn om functioneel te zijn voor de dienst. Om al deze redenen kan de trend van de ESD niet met enige zekerheid besproken of op kaart voorgesteld worden.

In MIRA-S, Milieuverkenning 2030 (Botteldooren *et al.*, 2009), wordt gesteld dat bij voortzetting van het huidige beleid, de geluidhinder de komende decennia nog zal toenemen. Wanneer de sectormaatregelen gericht op het behalen van Europese doelstellingen gehaald worden en er verder geïnvesteerd wordt in o.a. geluidsarm wegdek en stille treinen (de maatregelen die in Milieuverkenning 2030 deel uitmaken van het Europascenario), dan is een lichte vermindering van de geluidsbelasting door weg- en spoorverkeer mogelijk.

4. Drivers voor vraag en aanbod van de ESD

Zowel het aanbod aan als de vraag naar ecosysteemdiensten worden beïnvloed door verschillende natuurlijke en antropogene mechanismen die al dan niet interageren. Deze mechanismen noemen we drivers. Drivers veroorzaken rechtstreeks of onrechtstreeks veranderingen in het ecosysteem en beïnvloeden hierdoor de levering van diensten door het ecosysteem. In deze paragraaf bespreken we de belangrijkste drivers die in Vlaanderen de vraag en het aanbod van de ecosysteemdienst beïnvloeden. Hierbij beperken we ons tot de vijf directe en vijf indirecte drivers, die ook in het Millenium Ecosystem assessment (Nelson *et al.*, 2005) onderscheiden worden, maar vullen die in vanuit de Vlaamse context. Indirecte drivers zijn factoren die geen rechtstreeks effect op de ecosysteemprocessen hebben, maar deze wel beïnvloeden via directe drivers. Directe drivers werken rechtstreeks in op ecosysteemprocessen en veroorzaken meestal een meetbare fysieke verandering in het ecosysteem en via deze weg op het aanbod van diensten door die ecosystemen.

De mate waarin de ecosysteemdienst effectief is en de evolutie van die effectiviteit, worden bepaald door een aantal algemene maatschappelijke drivers. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen de directe en indirecte drivers die in de internationale ecosysteemdienstenanalyses zoals de UK NEA (Winn *et al.*, 2011) en MEA (Nelson *et al.*, 2005) gebruikt worden.

Verandering van landgebruik is veruit de belangrijkste directe driver voor wijzigingen in het aanbod van de ecosysteemdienst. Bij de **landconversie** waarbij de grondbedekking totaal verandert, springt op de schaal van het gewest (gebaseerd op de resultaten van de Milieu- en Natuurverkenning 2030) *Urbanisatie* het meest in het oog. Voor deze ecosysteemdienst gaat het dan voornamelijk om *de toename van bebouwing en industrie ten koste van akker- en tuinbouw*. Deze verschuiving resulteert in een direct verlies van de ecosysteemdienst doordat potentieel geluidreducerende bodembedekking verdwijnt en er een akoestisch minder temperende bodembedekking in de plaats komt. Daarnaast kan urbanisatie voor gevolg hebben dat de ecosysteemdienst geleverd door vegetaties en landschapselementen, vervangen wordt door meer technische oplossingen. Dit laatste hoeft echter niet steeds het geval te zijn. Vooral wanneer urbanisatieprojecten sterk op duurzaamheid gericht zijn en streven naar ecologische inpasbaarheid, blijken er immers verschillende mogelijkheden te zijn om geluidreductie te verkrijgen door meer natuurlijke systemen te combineren met technische ingrepen (zie bv. HOSANNA, 2013).

Toenemende urbanisatie heeft ook voor gevolg dat woongebieden steeds meer bij storende verkeerswegen ingeplant worden, en daarenboven zelf nog eens verkeerslawaaï genereren, waardoor het aandeel potentieel gehinderden verder stijgt.

Toename bos ten koste van akker- en tuinbouw is een andere landconversie die volgens de Milieu- en Natuurverkenning kan optreden. Als deze verschuiving plaatsvindt, zal de ecosysteemdienst op termijn, als het bos volledig uitgroeit, toenemen. Bij de *toename van overige groene ruimte ten koste van akker- en tuinbouw* volgens de Milieu- en Natuurverkenning, zal het afhangen van het type 'groen' dat toeneemt. Is het opgaand groen in de vorm van bosbestanden of een netwerk van kleine landschapselementen, dan kan dit leiden tot een toename van de ecosysteemdienst.

Naast totale verandering van grondbedekking moet ook rekening gehouden worden met **gebruiksconversie** waarbij grondbedekking gelijk blijft, maar een ander gebruik krijgt. Van de verwachtingen op de schaal van het gewest zijn dan, volgens de Milieu- en Natuurverkenning 2030, twee processen voor de geluidregulatie van belang. *Uitbreiding van de oppervlakte landbouwgrond met milieu-/natuurdoelen* kan er toe leiden dat er een toename van opgaande kleine landschapselementen komt, wat op zijn beurt een versterking van de ecosysteemdienst kan betekenen. Maar *uitbreiding van de oppervlakte grootschalig intensief gebruikte landbouwgrond* waarbij kleine landschapselementen verdwijnen en de uniformiteit toeneemt, kan dan weer op andere plaatsen een vermindering van de ecosysteemdienst voor wat betreft de psychische reductie van ervaren geluid door 'groen' tot gevolg hebben.

Polluenten kunnen mee de vitaliteit van ecosystemen negatief beïnvloeden. De bosgezondheid in het gewest kent geen merkelijke verbetering; integendeel, de laatste jaren gaat ze, na een lichte verbetering sinds 2005, terug achteruit. Het aandeel beschadigde bomen bedroeg in 2011 iets meer dan 20%. Ook het gemiddeld bladverlies ligt boven de 20% (Verstraeten *et al.*, 2012). Deze afname van vitaliteit die tot versnelde bossterfte kan leiden, heeft uiteraard een negatieve invloed op de ecosysteemdienst.

Exoten en niet-inheemse cultivars of rassen worden soms in het openbaar groenbeheer gebruikt in geluidreducerende beplantingen, of maken deel uit van aangelegde landschapselementen die een aangename geluidomgeving creëren (de soundscape benadering). Zo toegepast, ondersteunen ze de ecosysteemdienst, eerder dan dat ze er een negatieve impact op hebben. Anderzijds kunnen exoten en niet-inheemse cultivars of rassen ook '**ziektes**' meebrengen wat opnieuw tot verminderde vitaliteit en dichtheid van bos kan leiden, met vermindering van de effectiviteit van de ecosysteemdienst als gevolg.

Bij de indirecte *drivers* zal de **demografie**, de evolutie in bevolkingsgroei en –samenstelling, zeker een belangrijke invloed hebben op de vraag naar de ecosysteemdienst. Door de toename in aantal geboorten de volgende jaren en de aanhoudende vergrijzing van de bevolking (zie o.a. Hertveldt *et al.*, 2009), zal vooral op het lokale niveau de nood aan een geluidrustige omgeving groot zijn. Het gebruiken van groen om een optimale leefomgeving te creëren, zal daarbij aan belang winnen. Van de **sociopolitieke** drivers zijn **wetgeving** en **subsidies** belangrijk sturend t.a.v. het grondgebruik en de toename van geluidregulerende vegetaties, en daarmee dus op de mate waarin de ecosysteemdienst effectief kan zijn. De Europese Richtlijn Omgevingslawaaï (Richtlijn 2002/49/EC) en de Europese Verordening Typegoedkeuringsvoorschriften voor de algemene veiligheid van motorvoertuigen en hun onderdelen en systemen (EU Richtlijn 2001/43/EC en Verordening 661/2009/EC) die de grenswaarden voor het geluid dat geproduceerd wordt door banden vastlegt (grenswaarde: 70 – 76 dB(A)), beogen rechtstreeks de vermindering van geluidoverlast door verkeer. Medio 2019 zouden alle nieuwe banden in de EU aan deze richtlijn moeten voldoen. Andere Europese regelgeving die met homologatietesten de milieuprestaties van te koop aangeboden voertuigen duidelijk maakt, tracht ook bij te dragen aan de afname van geluidoverlast. In Vlaanderen bestaat daarvoor het Ecoscore-instrument, waarvan de emissie van motorgeluid deel uitmaakt (<http://www.ecoscore.be/book/export/html/21>), echter slechts voor 10% van de totale score. Uit de statistieken van verkochte wagens kan zo de gemiddelde gehomologeerde geluidemissie berekend worden (zie bv. Botteldooren *et al.*, 2007). De focus van de overheid ligt bij het uitvoeren van de Europese richtlijn Omgevingslawaaï (Richtlijn 2002/49/EC). In dat verband worden actieplannen opgesteld. Geluidshinder door weg- en spoorverkeer wordt op drie manieren aangepakt. Ten eerste moet het ontstaan van nieuwe knelpunten vermeden worden. Dit wordt o.a. nagestreefd via de ruimtelijke ordening. Ten tweede moeten de 'prioritaire knelpunten geluidoverlast door verkeer' aangepakt worden. Daarvoor worden de locaties met zeer hoge blootstellingen gedetecteerd en worden er oplossingen uitgewerkt. Het Milieubeleidsplan 2011-2015 spreekt over geluidschermen, stiller wegdek, snelheidsbeperking, e.d. Ten derde zal worden ingezet op een daling van de globale geluidsblootstelling, door het Europese beleid hiervoor te volgen en door de meest stille transportmiddelen te promoten ten voordele van meer lawaaierige alternatieven (Vlaamse Overheid, 2011). Groene infrastructuur of vegetatie die geluidreducerend

kunnen werken worden nergens genoemd als mogelijke instrumenten. Een verwijzing naar deze ecosysteemdienst is dus niet terug te vinden in het huidige overheidsbeleid.

Van een heel andere aard in het beleid zijn de 'stiltegebieden'. Er is geen wettelijk kader voor deze gebieden, maar de nood om 'stille gebieden' te behouden wordt wel onderkend (<http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/stiltegebieden>). Om dit te verwezenlijken, kan een 'Kwaliteitslabel Stiltegebied' toegekend worden. Het initiatief hiervoor ligt bij gemeenten of provincies die hiermee een actief stiltebeleid willen stimuleren en zich engageren om stilte mee op te nemen in hun beleid. De kwalificatie 'stiltegebied' houdt enkel stimulansen in en betekent niet dat er specifieke beperkingen gelden voor het gebied.

Met het beleid t.a.v. bosuitbreiding en de aanleg van stadsbossen ten slotte, kan de overheid de ecosysteemdienst eveneens positief beïnvloeden. Het instrument van de ruimtelijke uitvoeringsplannen (RUP) ten slotte, kan bijdragen tot het behoud of de uitbreiding van een bodembedekking en vegetaties die geluidreducerend werken.

5. Impact op biodiversiteit en milieu

5.1. Bijdrage biodiversiteit aan levering ESD

Niet alleen de structuren en processen in ecosystemen op zich zijn bepalend voor de levering van de ecosysteemdienst, maar ook de variatie in de kenmerken van die processen en structuren speelt een rol. Soortenrijkdom van de vegetatie op zich kan een invloed hebben op de mate waarin geluid gedempt wordt doordat de begroeiing zo kan bestaan uit een menging van plantensoorten met verschillende bladgrootten en -vormen die elk meer of minder met een bepaalde geluidsfrequentie kunnen interfereren. De kenmerken van individuele soorten zijn dus bepalend. Zo is duidelijk dat struiken en bomen een grotere rol spelen bij de levering van deze ecosysteemdienst dan lage kruiden. Gaat het om struiken en bomen die van nature een dichte tak- en bladmassa hebben, zijn ze bebladerd vanaf de grond, niet bladverliezend en zijn de bladeren relatief dik, dan zal hun gezamenlijke bijdrage groot zijn.

5.2. Impact ESD op biodiversiteit

Er gaat waarschijnlijk geen specifieke impact van de ecosysteemdienst geluidreductie (door vegetatie en landschapkenmerken) uit op de biodiversiteit. Als er effecten zijn, dan hebben die in de eerste plaats te maken met de positie van geluidreducerende begroeiingen en elementen in het landschap. Een positief effect kan samenhangen met de habitat- of corridorfunctie die landschapselementen en geluidreducerende begroeiingen kunnen hebben. We moeten wel opmerkingen dat de kwaliteit van dit habitat niet altijd optimaal is en juist verstoring door geluid tot minder ontwikkelde en volledige levensgemeenschappen (van vogels en zoogdieren) kan leiden (zie bv. Reijnen *et al.*, 1995; Reijnen & Foppen, 1995; Reijnen *et al.*, 1997; Foppen *et al.*, 2002). Negatief kan dan weer zijn dat deze elementen en begroeiingen met het doel geluid te reduceren, aangelegd zijn op plaatsen waar een andere vegetatie een grote biodiversiteit ondersteunden (bv. bebossing van soortenrijke graslanden). Daarnaast kunnen ze voor bepaalde soorten een barrièrewerking hebben en zo versnippering in de hand werken. De soortenkeuze en het beheer van de geluidreducerende begroeiingen kan van die aard zijn dat de kwaliteit als habitat ervan daalt. Dicht geplante bomen bijvoorbeeld, positief voor de geluidreductie, geven veel schaduw wat dan weer negatief is voor de ontwikkeling van de typische kruidlaag (Verstraeten *et al.*, submitted). Waarschijnlijk moet dit soort negatieve gevolgen echter gerelativeerd worden; het gaat immers om habitat op plaatsen waar voordien al veel (geluids)verstoring optrad en de (fauna)biodiversiteit dus niet optimaal ontwikkeld was. De ene suboptimale situatie wordt er dus vervangen door een andere.

6. Maatschappelijk welzijn en waardering

In voorgaande paragrafen is duidelijk gemaakt dat geluidsoverlast negatieve effecten voor de mens heeft. Een groot aantal daarvan heeft te maken met slaapverstoring en de lichamelijke en mentale problemen die daarmee kunnen samenhangen (WHO, Regional office for Europe. 2009; 2011). Zoals gezegd kunnen die effecten van cardiovasculaire en mentale aard zijn. Verhoogde bloeddruk als gevolg van verkeerslawaaï werd aangetoond. Over het algemeen zouden kwetsbare groepen zoals volwassenen met hypertensie, diabetes of cardiovasculaire aandoeningen de grootste risico's

lopen (Dratva *et al.*, 2012). De moeilijkheid blijft echter om echte causale relaties met omgevingslawaai aan te geven. Fyhri en Klæboe (2009) vonden geen verband tussen de blootstelling aan verkeerslawaai in een stad en gezondheidsklachten. Dat de persoonlijke gevoeligheid voor geluid toch gerelateerd is aan hoge bloeddruk en 'borstpijn', kan er ook op wijzen dat klachten i.v.m. een slechte gezondheid en de gevoeligheid voor geluid, beide een uiting zijn van een verhoogde kwetsbaarheid (Fyhri en Klæboe, 2009). Ook verminderde schoolprestaties zijn in verband gebracht met continue blootstelling aan veel omgevingslawaai (Haines *et al.* 2001). Dit kan een gevolg zijn van de interferentie tussen het lawaai en activiteiten zoals leren, communiceren, werk, e.d., wat tot stress leidt. De concentratie aan stress-biomarkers alpha-amylase en speeksel cortisol, verhoogt immers significant bij blootstelling aan veel lawaai (75 dB ($L_{A,eq}$) voor 20 minuten) (Wagner *et al.*, 2010).

De ecosysteemdienst geluidregulatie door vegetatie heeft dus een duidelijke invloed op de aspecten 'gepaste leefomgeving' (adequate livelihoods) en 'algemeen welzijn' (feeling well) van de Millennium Assessment 2005. Iedereen die zich permanent of tijdelijk binnen de invloedssfeer van een hinderlijke geluidsbron bevindt, profiteert ervan. Voor de lichamelijke gezondheidsklachten geldt dat in de eerste plaats voor personen die meer geluidsgevoelig zijn.

Aangeven hoe belangrijk het *psychologisch effect* is, is niet eenvoudig. Kwantitatieve metingen suggereren een eerder beperkt effect. Zo vond Desiere (2013) een vermindering van 0,17 dB(A) tot 2,48 dB(A) door puur de visuele aanwezigheid van vegetatie. Echter, dergelijke reducties dienen steeds gezien te worden in het licht van klassieke maatregelen. Een reductie met 3 dB(A) is equivalent met het halveren van de verkeersintensiteit, wat drastische maatregelen zou vragen. Verder blijken aan- of afwezigheid van vegetatie en landschapselementen een verschil te maken in de gewaarwording, de perceptie, van storend geluid, zoals uit acties van lokale bevolking die geluidsoverlast aanklagen en maatregelen eisen, (Stragier, 2010). Het feit dat bestrijding van geluidshinder een prioritair aandachtspunt voor het regionale en Europese milieubeleid is, maar dat de maatregelen van dit beleid toch op de eerste plaats gericht zijn op het beperken van de geluidproductie en het toepassen van technische en organisatorische maatregelen, illustreert eveneens dat van de ecosysteemdienst (geluidreductie geleverd door vegetatie) ongekend is of dat een eerder beperkt effect verwacht wordt. Daartegenover staat dat burgerinitiatieven en actiegroepen dan weer oproepen om meer groen te gebruiken om geluidsoverlast van verkeer te verminderen; mogelijk een directe uiting van het psychologische effect.

Er bestaan pogingen om het welzijnseffect van de ecosysteemdienst geluidreductie in *sociale/niet-monetaire termen* in te schatten. Uit het MIRA Indicatorenrapport 2012 (Van Steertegem, 2012) kunnen we bijvoorbeeld afleiden dat voor de totale Vlaamse bevolking jaarlijks ongeveer 7600 gezonde levensjaren verloren gaan als gevolg van geluidsoverlast. Het totaal wegwerken van die geluidsoverlast zou dus het positieve sociaal effect van een equivalent aantal gezonde levensjaren betekenen. In *economisch/monetaire termen* geven de gemiddelde huizenprijzen een indicatie van het omgevingsgeluid. Daarbij wordt een zeker percentage waardevermindering in rekening gebracht per toename van 5 dB(A), te beginnen bij een geluidsblootstelling van 40 dB(A) (den Boer *et al.*, 2008). In de Natuurwaardeverkenner wordt deze methode toegepast om te schatten wat de monetaire baten van een vegetatiegordel van een bepaalde breedte kan zijn bij een bepaalde geluidlast en waarde van de woningen (Liekens *et al.*, 2010). Omdat een bomenrij ook van belang kan zijn voor andere aspecten van algemene leefbaarheid en aantrekkelijkheid van een plaats dan geluidreductie alleen, kan de gecombineerde kosten-baten verhouding toch groot zijn (Klæboe *et al.*, 2013), en vaak hoger dan klassieke (niet-groene) geluidreducerende oplossingen.

7. Interacties huidig en toekomstig ESD gebruik

Het huidige 'gebruik' van de ecosysteemdienst kan mogelijk interfereren met andere ecosysteemdiensten, nu of in de toekomst.

Aangezien de ecosystemen die de dienst geluidregulatie leveren enkel passief gebruikt worden – er wordt niet uit geoogst of er wordt niets op regelmatige basis aan toegevoegd – is er geen reden om te veronderstellen dat het huidige gebruik een impact zou hebben op de toekomstige levering van de dienst. De mechanismen die tot geluidreductie leiden, veranderen het ecosysteem niet.

Het is wel denkbaar dat door een optimale inrichting en beheer van bijvoorbeeld bos in functie van het leveren van de dienst geluidregulatie, andere ecosysteefuncties van dat bos beïnvloed worden. Zo kunnen kleine plantafstanden positief zijn voor de geluidreductie, maar zijn ze niet optimaal voor de productie van kwaliteitshout, bijvoorbeeld. Anderzijds betekent toename van bos,

van netwerken van kleine landschapselementen en van ander opgaand groen, dat het landschap mogelijk aantrekkelijker wordt en daardoor de potenties voor recreatie toenemen. Zoals eerder opgemerkt kan hiervan ook een positief effect op de habitatfunctie uitgaan; er wordt nieuw habitat gecreëerd waardoor een gebied voor meer soorten functioneel wordt. En opgaand groen en landschapselementen langs drukke verkeerswegen en in een stedelijke omgeving hebben ook een belangrijke 'luchtfilerende' werking waardoor vegetaties als geluidschermen eveneens een positieve invloed op de lokale luchtkwaliteit kunnen hebben. In open en hellende gebieden kunnen dezelfde opgaande begroeiingen en landschapselementen een rol spelen bij het verhinderen van erosie. Anderzijds kan door de aanleg van dat nieuwe element een bestaand habitat en de daarmee samenhangende ecosystemendiensten, vernietigd worden. Een potentieel overstromingsgebied bebossen met een geluidscherm-bos is een ander voorbeeld van een negatieve impact. Deze laatste gevallen hebben echter allemaal te maken met de verandering in bodembedekking omwille van de uitbreiding van de ecosystemendienst. De maatschappelijke keuze dus om een dienst een hogere prioriteit te geven dan een andere. De impact op de huidige en toekomstige levering van andere diensten heeft dus niets te maken met de specifieke kenmerken van de dienst geluidregulatie, maar met de keuze voor deze dienst. Doordat de werking helemaal plaatselijk is en niet afhangt van in- of outputs van of naar andere gebieden, kunnen we ten slotte besluiten dat het gebruik van deze dienst geen impact heeft op de kenmerken of het functioneren van ecosystemen elders.

In de praktijk zouden vegetaties die geluidreducerend werken en technologische infrastructuur en maatregelen gecombineerd kunnen worden. Er zijn dan immers betere resultaten te verwachten. Ook de vegetaties zelf zouden meer toegespitst op geluidreductie ingericht en beheerd kunnen worden. Plantenkeuze, bv. met meer altijdgroene struiken, kan voor gevolg hebben dat een oorspronkelijk licht en halfopen bos, donker en gesloten wordt, of dat bloemrijke bosranden vervangen worden door dichte altijdgroene struikranden (hulst, exoten). Waar het dus op neer komt is, dat de plantensoortenkeuze, in functie van geluidreductie, zo kan zijn dat de habitatfunctie, bestuivingsfunctie en plaagbestrijdingsfunctie in het gedrang komen.

Aangezien er voor het leveren van de dienst niets aan de ecosystemen onttrokken wordt of er geen verandering in de vegetaties veroorzaakt wordt, stelt zich voor geluidreductie door vegetatie niet direct een probleem van 'limieten'. Wat uiteraard wel kan, is dat voor de optimalisatie van de dienst, de ecosystemen zo sterk aangepast worden (naar structuur en soortenkeuze) dat ze niet meer als het oorspronkelijk systeem beschouwd kunnen worden. Beplanting in combinatie met geluidschermen bijvoorbeeld kunnen op deze wijze tot artificiële (eco)systemen worden. Op zich hoeft dat geen bezwaar te zijn, als er tenminste niet verwacht werd dat ze naast geluidreductie ook nog andere biodiversiteit-gerelateerde diensten zouden leveren, zoals ondersteuning van een grote en gebiedspecifieke soortenrijkdom.

De effectiviteit voor het leveren van de 'eigen' dienst en de mogelijke negatieve impacts op andere diensten kunnen dus gestuurd worden door inrichting, beheer en soortenkeuze en dit zowel op de schaal van het ecosysteem als op die van het landschap. Vooral voor dit laatste kan er winst gehaald worden uit het werken met goed ontworpen, intelligente landschapsplannen. Dit is het uitgangspunt van de geïntegreerde landschaps- en beheerplannen en van de soundscape benadering. Een landschapsecologische analyse die de verschillende relaties in een gebied beschrijft, gecombineerd met een ecosystemebenadering die de functionaliteit van de verschillende deelgebieden in relatie brengt met de maatschappelijke vraag, moeten hiervoor de basis vormen.

8. Kennislacunes

De kennis over de bijdrage van vegetaties, bodembedekking en landschapskenmerken aan het reduceren van storend geluid, breidt voortdurend uit. Dat er belangrijke potenties zijn is duidelijk. Ook de wijze waarop bestaand bodemgebruik en de natuurlijke elementen kunnen geoptimaliseerd worden of nieuwe vegetaties en elementen kunnen ingebracht worden om de ecosystemendienst ten volle te kunnen benutten, is bekend. Maar door de complexiteit van de werking, veroorzaakt door allerlei interacties van kenmerken van vegetatie, bodem en grondgebruik met seizoenen, atmosferische omstandigheden, ruimtelijke afmetingen en posities t.o.v. geluidsbron en -ontvanger, e.d., is het niet eenvoudig om die kennis ook daadwerkelijk toe te passen in algemeen geldende inrichtingsmodellen. De plaatselijke omstandigheden zijn zo bepalend voor succes of falen, dat enkel een geïntegreerde aanpak, waarbij alle aspecten van bestemming, inrichting en gebruik in rekening gebracht worden om storend geluid te reduceren, tot de gewenste resultaten kan leiden.

De complexiteit van de potentiële geluidreducerende werking van vegetatie, bodembedekking en landschapskenmerken, maakt ook dat het in kaart brengen van de ecosystemendienst niet

eenvoudig is. Hier is verder onderzoek zeker gewenst. De basiskennis is aanwezig; het ontbreekt eerder aan praktische instrumenten om op een eenvoudige manier atmosferische modellen, geluidvoortplantingsmodellen, landschaps- en grondgebruikskarten in combinatie met hun geluidreducerende kenmerken, met elkaar te verwerken om tot ruimtelijk expliciete karten van de ecosysteemdienst te komen. Bij gebrek aan dit overzicht hebben we het (potentiële) belang van deze ecosysteemdienst op het niveau van het gewest niet goed kunnen becijferen. We merken op dat voor de fysische werking in de toekomst zeker betere karten te maken zijn; voor de psychische werking is dat veel minder zeker. De gepercipieerde werking is immers afhankelijk van veel meer dan de gemodelleerde fysische en gekarteerde geografische informatie.

Lectoren

Koen De Ridder, Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO)

Lon Lommaert, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Gilke Pée, Dep. LNE, Afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid, Dienst Milieuhinder

Philippe van Haver, Dep. LNE, Afdeling Milieu-, Natuur- en Energiebeleid

Referenties

- Agentschap Wegen en Verkeer. (s.d.) Geluidsbeperkingen aan de bron. <http://www.wegenenverkeer.be/geluidsbeperkingen-aan-de-bron>
- Anderson L.M., B.E. Mulligan and L.S. Goodman (1984). Effects of vegetation on human response to sound. *Journal of Arboriculture*, 10: 45-49.
- Aylor, D. E., & Marks, L. E. (1976). Perception of noise transmitted through barriers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 59 (2): 397-400.
- Baldauf R., E. Thoma, A. Khlystov, V. Isakov, G. Bowker, T. Long & R. Snow (2008). Impacts of noise barriers on near-road air quality. *Atmospheric Environment*, 42: 7502-7507.
- Bockstael, A., Botteldooren, D., De Coensel, B., Geentjens, G., Kelders, L., Glorieux, C. (2012). Impact van geluid op welzijn, leefmilieu en volksgezondheid, in Vlaanderen. Rapport in opdracht van het Instituut Samenleving en Technologie. Brussel. 46 p.
- Botteldooren D., L. Dekoninck, T. Van Renterghem, G. Philips, T. Van Elst, P. Van Tichelen, K. De Roo, H. Van Langenhove & M. Bossuyt (2007). Hinder. Verschillende wegen voor aanpak van hinder door wegverkeer. MIRA-T 2007, VMM, Aalst, p.146-173.
- Botteldooren, D., De Coensel B., Van Renterghem T., Dekoninck L. & Gillis D. (2009). The urban soundscape: A different perspective. Ghent University, Department of Information Technology, Acoustics Group.
- Botteldooren D., L. Dekoninck, T. Van Renterghem, G. Geentjens, W. Lauriks en M. Bossuyt. 2009. Lawaai. In M. Van Steertegem (eindred.) (2009). Milieuverkenning 2030. Milieurapport Vlaanderen, VMM, Aalst, p.325-339.
- BIM, Brussels Instituut voor Milieubeheer (s.d.). Vademecum voor wegverkeerslawaai in de stad. Volume 1. Geluidsschermen en absorberende materialen. Brochure, 38p.
- Carles J., F. Bernáldez & J. de Lucio. 1992. Audio-visual interactions and soundscape preferences. *Landscape Research*, 17: 52-56.
- Dekoninck L. & D. Botteldooren (2011). Geluidsdruk door wegverkeer – actualisering van geluidsdrukkniveaus door wegverkeer op basis van geluidskarten en berekening van potentiële hinder. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2012/05, INTEC, UGent, 15p. + bijlagen.
- den Boer L.C., G.J. van de Vreede, F.L. de Jong, S.M. de Bruyn (2008). Beleving en MKBA in het geluidsbeleid. Een verkenning naar beleving en kosten-batenanalyse bij de aanpak van geluidshinder, Delft, CE, 2008.
- Desiere M. (2013). Invloed van het visuele aspect van vegetatie op de ervaren geluidshinder. Masterproef voorgedragen tot het behalen van de graad van Master na Master in de Milieusanering en het Milieubeheer. Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, Universiteit Gent. 60p.
- Devilee J., E. Maris en I. van Kamp. (2010). De maatschappelijke betekenis van geluid. RIVM Rapport 815120004/2010, Bilthoven, 59p.
- Dratva, J., Phuleria, H. C., Foraster, M., Gaspoz, J. M., Keidel, D., Kunzli, N., Liu, L. J. S., *et al.* (2012). Transportation Noise and Blood Pressure in a Population-Based Sample of Adults. *Environmental Health Perspectives*, 120 (1): 50-55. doi:10.1289/ehp.1103448
- Economou P; & P. Charalampous (2012). A comparison of ISO 9613-2 and advanced calculation methods using olive tree lab-terrain, an outdoor sound propagation software application: predictions versus experimental results. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, Vol. 34. Pt.1.
- EU (2009). Verordening (EG) nr. 661/2009 van het Europees Parlement en de Raad van 13 juli 2009 betreffende typegoedkeuringsvoorschriften voor de algemene veiligheid van motorvoertuigen, aanhangwagens daarvan en daarvoor bestemde systemen, onderdelen en technische eenheden.
- Foppen, R., van Kleunen, A., Loos, W.B., Nienhuis, J. & Sierdsema, H. (2002). Broedvogels en de invloed van hoofdwegen, een nationaal perspectief. Onderzoeksrapport nr 2002/08 SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.
- Fyhri, A., & Klæboe, R. (2009). Road traffic noise, sensitivity, annoyance and self-reported health—A structural equation model exercise. *Environment International*, 35 (1): 91-97.

- Haines M.M., S. A. Stansfeld, R.F.S. Job, B. Berglund and J. Head (2001). Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychological Medicine* 31: 265-277.
- Haines-Young R., Potschin M. (2008). England's Terrestrial Ecosystem Services and the Rationale for an Ecosystem Approach. Full technical report CEM, School of Geography, University of Nottingham. Defra Project Code NR0107. 89 p.
- Haines-Young R., Potschin M. (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. Report to the European Environment Agency. Centre for Environmental Management, University of Nottingham. EEA Framework Contract number EEA/IEA/09/003. 34 p.
- Hertveldt B., J. Brouwers, J. De Schrijver (2009). Sociaal-economische verkenning. In: Van Steertegem M. (red.). 2009. Milieuverkenning 2030. Milieurapport Vlaanderen, VMM, Aalst, p. 41-58.
- HOSSANA (2013). Novel solutions for quieter and greener cities. Brochure Research project FP7/2007-2013; grant agreement n° 234306, 48p.
- Klæboe R., K. Veisten, M. Mosslemi, T. Van Renterghem, D. Van Maercke & T. Leissing (2013). Cost-benefit analyses of tree belts for noise reduction, including aesthetic and amenity values. Proceedings of the 42nd international congress and exposition on noise control engineering (Internoise 2013), Innsbruck, Austria.
- Lavrijsen J., R. Geens, G. Pée, G. Vindevogel, T. Van Mierlo, K. Van Neer en B. Vanhooreweder (2009). Richtlijn Omgevingslawaaï. Geluidskarten en actieplannen in Vlaanderen. Brussel, Vlaamse Overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie. D/2009/3241/337. 52p.
- Liekens I., Schaafsma M., Staes J., Brouwer R., De Nocker L., Meire P. (2010). Economische waardering van ecosysteemdiensten, een handleiding. Studie in opdracht van LNE, afdeling milieu-, natuur- en energiebeleid, maart 2010.
- Liu J., J. Kang, T. Luo, H. Behm & T. Coppack (2013). Spatiotemporal variability of soundscapes in a multiple functional urban area. *Landscape and Urban Planning*, 115: 1-9.
- LNE, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie (s.d.). Definitie omgevingslawaaï. <http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/beleid/eu-richtlijn/definitie-omgevingslawaaï>
- Maffei L., M. Masullo, F. Aletta and M. Di Gabriele (2013). The influence of visual characteristics of barriers on railway noise perception. *Science of the Total Environment*, 445-446: 41-47.
- MAS (2013). Uitvoeren van een uitgebreide schriftelijke enquête en een beperkte CAWI-enquête ter bepaling van het percentage gehinderden door geur, geluid en licht in Vlaanderen – SLO-3. Onderzoeksopdracht in opdracht van de Vlaamse overheid, departement LNE, afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu & Gezondheid. 253 p.
- Meiresonne L. & Turkelboom F. (2012). Biodiversiteit als basis voor ecosysteemdiensten in regio Vlaanderen. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (1). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel, p.190-198.
- Nelson G.C., Bennett E., Asefaw Berhe A., Cassman K.G., DeFries R., Dietz T., Dobson A., Dobermann A., Janetos A., Levy M., Marco D., Nakic 'enovic ' N., O'Neill B., Norgaard R., Petschel-Held G., Ojima D., Pingali P., Watson R., Zurek M. (2005). Drivers of Change in Ecosystem Condition and Services. In: *Ecosystems and human well-being: scenarios v2: findings of the Scenarios Working Group, Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, DC.
- Ning Z., Hudda N., Daher N., Kama W., Herner J., Kozawa K., Mara S. & Sioutas C. (2010). Impact of roadside noise barriers on particle size distributions and pollutants concentrations near freeways. *Atmospheric Environment*, 44: 3118-3127.
- Passchier-Vermeer W. and W.F. Passchier (2000). Noise Exposure and Public Health. *Environmental Health Perspectives*, Vol 108, Supplement I: 123-131.
- Pée G. en G. Vindevogel (2006). Stillegebieden in Vlaanderen. Leidraad bij het creëren van een landelijk stillegebied. Uitgave LNE, Afdeling Lucht, Hinder, Milieu & Gezondheid, Brussel, 68p.
- Pijanowski B.C., A. Farina, S.H. Gage, S.L. Dumyahn & B.L. Krause (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecology*, 26:1213-1232.

Poelmans L., Engelen G., Van Daele T. (2014): landgebruikskarta NARA-T 2014. VITO in opdracht van INBO.

Reijnen, R. & R. Foppen (1995). The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. IV. Influence of population size on the reduction of density close to a highway. *Journal of Applied Ecology* 32: 481-491.

Reijnen, R., R. Foppen, Ter Braak, C. & Thissen, J. (1995). The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III. Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *Journal of Applied Ecology* 32: 187-202.

Reijnen, R., R. Foppen & G. Veenbaas (1997). Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations in planning and managing road corridors. *Biodiversity and Conservation* 6: 567-581.

Schafer R.M. (1994). *The soundscape: The tuning of the world*. Rochester, Inner Traditions International Limited.

Stragier F. (2010). Hoofdstuk XII. Natuurlijke structuren als fysieke en psychologische geluidsbufler. In Jacobs, S., Staes J., De Meulenaer B., Schneiders A., Vrebos D., Stragier F., Vandevenne F., Simoens I., Van Der Biest K., Lettens S., De Vos B., Van der Aa B., Turkelboom F., Van Daele T., Genar O., Van Ballaer B., Temmerman S. & Meire P. 2010. Ecosysteemdiensten in Vlaanderen: een verkennende inventarisatie van ecosysteemdiensten en potentiële ecosysteemwinsten. University of Antwerp, Ecosystem Management Research Group, ECOBE 010-R127, p. 205-220.

Van Renterghem T., Botteldooren D. (2002). Effect of a row of trees behind noise barriers in wind. *Acta Acustica united with Acustica*, 88 (6): 869-878.

Van Renterghem T., Botteldooren D. & Dekoninck, L. (2012a). Evolution of building facade road traffic noise levels in Flanders. *Journal of Environmental Monitoring*, 14: 677-686.

Van Renterghem T., Botteldooren D., Verheyen K. (2012b). Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration* 331: 2404-2425.

Van Renterghem, T., De Coensel, B., Botteldooren, D. (2013). Loudness evaluation of road traffic noise abatement by tree belts. *Proceedings of the 42nd international congress and exposition on noise control engineering (Inter-Noise 2013)*. Innsbruck. Austria.

Van Renterghem, T., Attenborough, K., Jean, P. (2014). Designing vegetation and tree belts along roads. In: Nilsson, M.E. *et al.* (Eds.). *Environmental Methods for Transport Noise Reduction*. Spoon Press, Oxford, UK.

Van Steertegem M. 2012. MIRA Indicatorrapport (2011). Milieurapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij, 176p.

Van Steertegem M. 2013. MIRA Indicatorrapport (2012). Milieurapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij, 162 p.

Verstraeten A., G. Sioen, J. Neiryneck, P. Roskams en M. Hens. (2012). Bosgezondheid in Vlaanderen. Bosvitaliteitsinventaris, meetnet Intensieve Monitoring Bosecosystemen en meetstation luchtverontreiniging. Resultaten 2010-2011. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2012 (INBO.R.2012.28). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel, 64p.

Verstraeten, G., Baeten, L., De Frenne, P., Thomaes, A., Demey, A., Muys, B. & Verheyen, K. (submitted). Forest herbs show species-specific responses to the variation in light regime and soil acidification: an experiment mimicking forest conversion scenarios. *Basic and Applied Ecology* Viollon S., C. Lavandier and C. Drake. 2002. Influence of visual setting on sound ratings in an urban environment. *Applied Acoustics*, 63 (5): 493-511.

Vlaamse Overheid (2011). Milieubeleidsplan 2011-2015. Brussel, D/2011/3241/178, 169p.

Wagner J., M. Cik, E. Marth, B.I. Santner, E. Gallasch, A. Lackner en R.B. Raggam (2010). Feasibility of testing three salivary stress biomarkers in relation to naturalistic traffic noise exposure. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213: 153-155.

Watts G., Linda Chinn and Nigel Godfrey (1999). The effects of vegetation on the perception of traffic noise. *Applied Acoustics*, 56: 39-56.

WHO, Regional office for Europe (2009). *Night noise guidelines for Europe*. Copenhagen, 162p. ISBN 978 92 890 4173 7

WHO, Regional office for Europe (2011). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen, 106p., ISBN: 978 92 890 0229 5

Yang Fan, Zhi Yi Bao and Zhu Jun Zhu (2011). An Assessment of Psychological Noise Reduction by Landscape Plants. *Int. J. Environ. Res. and Public Health*, 8: 1032–1048.