Vlaanderen
is omgeving

Ontwikkeling en toepassing van een gewestelijk voorschrift voor de akoestische gevelisolatie van woningen tegen weg-, spoor-en luchtverkeers-lawaai

Deel 2: evaluatie van het gewestelijk isolatievoorschrift

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

ONTWIKKELING EN TOEPASSING VAN EEN GEWESTELIJK VOORSCHRIFT VOOR DE AKOESTISCHE GEVELISOLATIE VAN WONINGEN TEGEN WEG-, SPOOR-EN LUCHTVERKEERSLAWAAI

De belangrijkste doelstelling van deze studieis om een voorliggend ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift nader te evalueren,uit te werken, indien nodig aan te passen en op punt te stellen, zodanig dat dit inzetbaar is in het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen en later geoperationaliseerd kan worden in geschikte instrumenten binnen het ruimtelijk beleid als onderdeel van een algemene, ruimtelijke strategie om rekening te houden met omgevingslawaai bij nieuwe woonontwikkelingen.Dit wordt onderbouwd aan de hand van een internationale verkennende literatuurstudie en praktische casestudies.

Voorliggend rapport betreft deel 2 van deze studie: evaluatie van het gewestelijk isolatievoorschrift.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Peter Cabus
Departement Omgeving
Afdeling Beleidsontwikkeling en Juridische Ondersteuning (BJO)
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
bjo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs:
Poncelet Patrick –Tractebel –Urban –Cities & Territories –Acoustics & Vibrations
Luc Schillemans -Tractebel –Urban –Cities & Territories –Acoustics & Vibrations

Depotnummer
D/2020/3241/228

ISBN nummer
9789040304194

PARTNERS

MANAGEMENTSAMENVATTING

Om rekening te houden met het omgevingslawaai bij nieuwe woonontwikkelingen werd een ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift opgesteld voor de akoestische gevelisolatie van woningen tegen weg-, spoor- en luchtverkeerslawaai.
Voorliggende studie bestaat erin om het bovenstaande ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift voor weg-spoor- en luchtverkeersgeluid nader te evalueren, uit te werken, indien nodig aan te passen en op punt te stellen in functie van een doelmatige toepassing binnen het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen.

In voorliggende deel van dit onderzoek (deel 2: evaluatie van het gewestelijk isolatievoorschrift) wordt het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift nader geëvalueerd aan de hand van praktische casestudies samen met een algemene benchmarking van het ontwerp van isolatievoorschrift onder andere met inzichten uit de internationale verkenning. Uit de resultaten van dit onderzoek werden beleidsaanbevelingen afgeleid.

Beknopt samengevat worden in het onderzoek de grootheden en criteria van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift grondig vergeleken met deze van de huidige norm NBN S01-400-1 'Akoestische criteria voor woongebouwen' van 2008 en het werkdocument (dd. 07/2019) met een nieuw normontwerp prNBN S 01-400-1:2019 'Akoestische criteria voor woongebouwen'. Dit gebeurde aan de hand van een analyse van de verschillende grootheden van deze NBN normen en het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift en een analyse van de eisen die aan de gevelisolatie worden opgelegd door beide normen en het voorschrift. Ook werd dit vergeleken met andere criteria in andere Europese landen (zie studie deel 1).
Vervolgens werd dit toegepast op een 6-tal cases en op vroegere metingen van gelijkaardige situaties. Deze cases en metingen gaven interessante inzichten over de grootheden, de manier waarop de grootheden bepaald worden en tot welke gevelisolaties dit in de verschillende normen en het voorschrift kan leiden. Aan de hand van deze voorstellen blijkt dat het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift bij toepassing op situaties met spoor- en wegverkeerslawaai over het algemeen minder streng is dan de huidige NBN-norm en zeker ook de nieuwe ontwerp NBN norm. Voor weg- en spoorverkeerslawaai kan het voorschrift aangepast en sterk vereenvoudigd worden, wat nader uitgewerkt werd als beleidsaanbeveling. De toepassing van een aanvullend criterium voor nachtruimten om rekening te houden met nachtelijke blootstelling aan geluidspieken (van spoorverkeer) werd nader onderzocht maar de toepassing blijft echter problematisch.

Het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift gebruikt voor karakterisering van de gevelisolatie de grootheid D_{Atr}. Deze grootheid geeft het verschil tussen het geluidsdrukniveau dat buiten gemeten wordt op 2m van een gevel van een verblijfsruimte en het geluidsdrukniveau binnen in de verblijfsruimte uitgaande van een referentienagalmtijd. Deze grootheid houdt rekening met het feit dat de bron (weg)verkeerslawaai is en wordt eenduidig gedefinieerd in de internationale normen. Deze grootheid wordt ook gebruikt in de huidige NBN en het ontwerp van nieuwe NBN. Daarenboven wordt hij ook in andere landen gebruikt.

De waarde waaraan D_{Atr} dient te voldoen in het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift wordt bepaald door grootheden die de gevelbelasting karakteriseren. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van de Europese indicatoren $L_{d(ay)}$ en $L_{n(ight)}$, die beide het equivalent A-gewogen geluidsdrukniveau geven dat op de gevel invalt,

gemiddeld over een jaar, en dit respectievelijk voor de dagperiode (van 7u-23u) en voor de nachtperiode (van 23u-7u). Met deze grootheden worden er eisen aan de gevelisolatie opgelegd die verschillend zijn voor de dag- en nachtruimten en verschillend voor het type verkeerslawaai (wegverkeer, spoorverkeer en luchtverkeer). Het voordeel van deze grootheden voor gevelbelasting is dat ze eenduidig kunnen bepaald worden, internationaal gebruikt worden en kunnen berekend worden via akoestische simulatie software.
Dit is niet het geval voor de grootheden die het omgevingslawaai karakteriseren in de beide NBN normen. In de huidige norm NBN S01-400-1 (2008) wordt gebruik gemaakt van één enkele grootheid die het omgevingslawaai op 2m van de gevel (inclusief gevelreflecties van de gevel) gebruikt en die afgeleid wordt uit ofwel metingen van minstens 30 minuten ofwel via een vereenvoudigde methode (enkel voor wegverkeer) via een bijlage in de norm. In het nieuwe voorstel van norm prNBN SO1-400-1 (2019) gebeurt dit gelijkaardig maar wordt gebruik gemaakt van een aparte grootheid voor de dag en nacht. Deze laatste norm geeft ook aan hoe deze grootheid kan omgevormd worden naar de Europese indicatoren voor dag en nacht. De methode van meten en berekenen van beide NBN normen kan leiden tot verschillende eisen en is niet eenduidig. De werkwijze van beide normen is daarom minder geschikt. Vergelijking met werkwijzen in andere Europese landen leert ook dat er steeds meer overgegaan wordt naar het gebruik van de Europese parameters om eisen van gevelisolatie vast te leggen.

Het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift gebruikt als bijkomende grootheid voor het vastleggen van de gevelisolatie van nachtruimten ook het invallende piekgeluid op de gevel. Hiervoor wordt als karakteristieke grootheid $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ genomen. Dit is het hoogste, 1 seconde A-gewogen equivalente geluidsdrukniveau tijdens de passage van een trein van de 5^{de} luidste passage tijdens de nacht (23u-07u) en dit gemiddeld over de nachten van het jaar. Voor vliegtuiglawaai worden aangepaste criteria in functie van $L_{Amax,nx}$ gebruikt. De beide NBN normen gebruiken een gelijkaardige parameter $L_{Amax,3x,23\text{-}07u}$, zijnde de waarde van de 3^{de} hoogste piek, maar die dan minstens 1 dag per week voorkomt. Deze waarde zal dan ook hoger liggen en is moeilijker eenduidig vast te leggen. In het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift stelt deze parameter andere eisen voor spoorverkeer dan voor luchtverkeer. In de huidige norm NBN S 01-400-1 (2008) zijn de eisen gelijk en in het voorstel van nieuwe norm prNBN S01-400-1 (2019) wordt ook een onderscheid gemaakt in functie van de aard van de bron.

Omdat deze criteria van zowel het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift als van de beide NBN normen van verschillende grootheden afhangen en ook verschillende eisen hebben werden ze onderling vergeleken aan de hand van 6 cases en 8 bijkomende metingen.
Elk van deze 6 cases betreft een verkeerssite met druk verkeer, afkomstig van wegverkeer en/of tramverkeer en/of spoorverkeer. Bij elk van deze cases werd in 2 of 3 referentiepunten het geluidsdrukniveau gemeten (elke seconde), en dit over de periode van ca. 1 week. Het betreffen meetpunten in het open veld zonder gevelreflecties en metingen vlak bij gevels (inclusief gevelreflecties). Met behulp van deze metingen werd voor elke meting elk van de boven vermelde grootheden voor gevelbelasting/omgevingslawaai en piekbelasting bepaald.
Bijkomend beschikte Tractebel nog over gelijkaardige metingen op andere sites over een langere periode. Ook voor deze metingen werden dezelfde grootheden afgeleid om een grotere steekproef te bekomen.

Vervolgens werden de resultaten van de metingen van de cases vergeleken met de geluidsniveaus zoals deze op geluidskaarten opgesteld in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG kunnen worden afgelezen. Omdat deze kaarten niet altijd makkelijk en eenduidig afleesbaar zijn op de plaatsen waar de metingen werden uitgevoerd, werd met behulp van de invoergegevens van deze geluidskaarten de berekeningen opnieuw uitgevoerd voor de exacte locatie. Op deze locaties bleken er toch vaak opmerkelijke verschillen te bestaan

tussen deze kaarten en de gemeten waarden en werd er gezocht naar oorzaken die deze verschillen kunnen verklaren. Het betreffen voornamelijk aanpassingen zoals deze op de site konden worden vastgesteld. Met de gevalideerde geluidsmodellen werden er dan simulaties gemaakt met de inplanting van een nieuwe gebouwsituaties om het effect van de ligging van deze gebouwen op de gevelbelasting te kunnen begroten.
Een eerste conclusie die uit deze cases volgt is dat de bestaande geluidsbelastingskaarten opgesteld in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG, enkel maar indicatief te gebruiken zijn. Ze zijn zeker niet geschikt voor een (nauwkeurige) bepaling van de gevelbelasting bij nieuwe bouwprojecten en voor aanwending bij de bepaling van de nodige gevelisolaties.

Met behulp van een simulatie via een akoestisch rekenprogramma werd, voor elk van deze cases, met de inplanting van nieuwe bouwprojecten, onderzocht welke geluidsniveaus buiten aan de gevels optreden. Het betreffen geluidskaarten met de berekende geluidsniveaus over het terrein op verschillende hoogtes en de optredende geluidsdrukniveaus op 2m van de gevels van enkele gebouwen. Deze simulaties tonen aan welke geluidsniveaus optreden aan de gevels van de gebouwen en hoe deze geluidsniveaus zich verdelen over de verschillende gevels. Deze simulaties leren dat de vereenvoudigde methodes die gebruikt worden in de norm om de geluidsniveaus aan de verschillende gevelvlakken van een verblijfsruimte af te leiden wel correct, maar conservatief zijn en enkel toepasbaar zijn voor eenvoudige situaties met wegverkeer. Voor andere situaties zijn rekensimulaties veel nauwkeuriger en eenduidiger.

De verschillende grootheden die de gevelbelastingen karakteriseren in de verschillende NBN normen en het voorstel en waarvan de waarden berekend werden in de meetpunten van de verschillende cases en in de meetpunten van bijkomende vroegere metingen, werden ook onderling met elkaar vergeleken voor elk meetpunt. Dit gebeurde voor zowel de waarden van het buitenlawaai als de waarden die aan de gevelisolatie worden opgelegd.

Tussen de verschillende grootheden die het buitenlawaai karakteriseren zijn er een aantal verbanden, die redelijk aansluiten met de verbanden die ook in het ontwerp van nieuwe norm worden gehanteerd. Deze verbanden zijn echter gebaseerd op gemiddelde waarden, in praktijk kunnen er toch soms belangrijke afwijkingen optreden. Het is daarom niet zo eenduidig en correct om over te gaan van één grootheid naar een andere of criteria te gebruiken die kunnen bepaald worden aan de hand van verschillende grootheden. Beter is één enkele grootheid te gebruiken die de representatieve gevelbelasting tijdens respectievelijk de dag- en nachtperiode geeft of een grootheid die beide bevat. Dit om de verschillen te beperken.

Voor de vergelijking van de criteria die gehanteerd worden voor de gevelisolaties werd nog een bijkomend aanvullend vereenvoudigd criterium gekozen gebaseerd op L_{den} en $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$.
Vergelijking van dit aanvullend criterium en de criteria van het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift en de criteria van de NBN normen met behulp van de meetresultaten, leidt tot onderstaande voornaamste conclusies:

- Voor de dagruimten:
    - Er blijken grote verschillen te zijn tussen de eisen. Onderlinge verschillen van 2 tot 6 dB komen voor, met uitzonderlijk zelfs 9 dB verschil tussen de hoogste en laagste eis.
    - Bij nagenoeg alle metingen geeft het aanvullend criterium de hoogste waarden, maar deze waarden verschillen zeer weinig met deze van de huidige NBN norm. Gemiddeld zijn de eisen meestal 1 dB strenger.

    - De criteria van het ontwerp van nieuwe NBN norm zijn gemiddeld 0 tot 4 dB minder streng dan de strengste eis behalve bij de eis van spoorlawaai.
    - De eisen voor spoorweglawaai zijn steeds de laagste in het ontwerp van nieuwe NBN norm. Zij liggen gemiddeld iets lager dan de eisen van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift voor spoorlawaai maar duidelijk lager dan alle andere eisen.
    - Het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is steeds minder streng dan de huidige NBN norm en ook gunstiger dan de meeste eisen van het ontwerp van nieuwe NBN norm. De eisen van treinverkeer zijn steeds lager.
- Voor de nachtruimten werden de eisen zonder pieklawaai eerst afzonderlijk bekeken en daarna de bijkomende voorwaarden ten gevolge van pieklawaai. Zonder pieklawaai geldt er:
    - De verschillen tussen de hoogste en laagste isolatie-eisen situeren zich tussen 4 en 9 dB wat zeer veel is.
    - De hoogste geluidsisolatie-eisen worden steeds gevraagd in het ontwerp van nieuwe NBN norm.
    - Sommige eisen van de nieuwe NBN norm zullen moeilijk te realiseren zijn (eisen boven ca. 42 dB).
    - De eisen van de huidige NBN norm liggen duidelijk lager dan deze van de nieuwe NBN norm.
    - De eisen van het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift liggen steeds het laagst, zeker voor treinlawaai. Deze eisen liggen meestal ca. 2 à 4 dB lager dan de huidige NBN norm.
    - Het aanvullend criterium met L_{den} is iets hoger dan dit van de huidige NBN norm, maar lager dan het ontwerp van nieuwe NBN norm
- De bijkomende eisen ten gevolge van piekgeluiden zijn enkel van toepassing bij treinlawaai en vliegtuiglawaai (dit laatste werd hier niet beschouwd) en zijn enkel geldig voor nachtruimten. Globaal worden de eisen van nachtruimten voornamelijk strenger bij het ontwerp van de nieuwe NBN norm en bij het aanvullend criterium. Verhogingen door piekgeluiden komen vooral voor wanneer het buitengeluid laag is. Bij het ontwerp van nieuwe NBN norm en het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift moeten de waarden van de piekgeluiden al redelijk hoog boven het buitenlawaai liggen om een invloed te hebben. Bij het aanvullend criterium is dit veel minder het geval.

De waarden voor de grootheid die gebruikt wordt voor piekbelastingen zijn moeilijk eenduidig te bepalen, zeker ter hoogte van elk gevelvlak. Het gebruik van deze grootheid is dan ook niet zo evident. In de meeste (onderzochte) landen van Europa blijkt hij ook niet gebruikt te zijn voor de bepaling van gevelbelasting. In de (beperkte) gevallen van treinlawaai die onderzocht werden blijkt dat hij ook nauwelijks invloed heeft op het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift maar wel op het aanvullend criterium en op het ontwerp van nieuwe NBN norm.
Er werd een berekeningsmanier voorgesteld om het maximaal geluidsdrukniveau bij de passage van een trein af te leiden van de A-gewogen equivalente uurlijkse waarde van dezelfde trein.

Als gevolg van voorgaande onderzoek blijkt dat het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift een aantal voordelen heeft ten opzichte van de huidige NBN norm en voorstel van nieuwe NBN norm, maar dat de criteria niet zo streng zijn en ook eenvoudiger kunnen. Daarom werd als beleidsaanbeveling een alternatief eenvoudiger voorstel gedaan dat voor de volledige gevel van elke verblijfsruimte een minimale eis oplegt onafhankelijk van de waarde van de gevelbelasting én een waarde afhankelijk van de L_{den} waarde van het hoogst belaste gevelvlak van elke verblijfsruimte. Deze eis is geldig voor zowel weg- als spoorverkeerslawaai. Bijkomend wordt voor

nachtruimten een extra eis opgelegd die bepaald wordt aan de hand van de gevelbelasting ten gevolge van de gemiddelde $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ aan het meest belaste gevelvlak van de nachtruimte, en dit bij spoorverkeerslawaai.
Voor luchtverkeerslawaai kan naar analogie als voor weg- en spoorverkeersgeluid eenzelfde vereenvoudiging overwogen worden. De huidige criteria van het gewestelijk isolatievoorschrift werden hier echter behouden, omdat deze aanpassing een meer diepgaande evaluatie vraagt met de toepassing van de criteria in meer concrete gevallen van vliegtuiglawaai.
De waarden van de gevelbelastingen (invallend geluid), zijn aan elk gevelvlak te bepalen aan de hand van een akoestische simulatie van het terrein met het nieuwe bouwproject en de wijdere omgeving. Deze simulatie is te toetsen met metingen waarbij de omgevingsparameters van de metingen gelijkaardig zijn aan deze van de simulatie. Deze metingen dienen ook om waarden van het pieklawaai op enkele locaties van de site te bepalen, in het geval van treinverkeerslawaai.

INHOUD

1 ONDERWERP 12

2 CONTEXT 13

2.1 Situering van de studie 13
2.1.1 Beleidsmatige context 13
2.1.2 Algemene beleidsstrategie 13
2.1.3 Akoestische gevelisolatie als milderende maatregel 14
2.1.4 Akoestische gevelisolatie in MER-dossiers 14
2.1.5 Akoestische criteria voor woongebouwen 15

2.2 Doel van de studie 15
2.3 Het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift 16
2.4 Toegepaste aanpak voor de evaluatie van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift 18
2.4.1 Algemene benchmarking van het ontwerp van isolatievoorschrift 18
2.4.2 Evaluatie van het ontwerp van isolatievoorschrift (toegepast onderzoek) 18
2.4.3 Beleidsaanbevelingen 20

3 BEGRIPPEN 21

4 ALGEMENE BENCHMARKING VAN HET ONTWERP VAN ISOLATIEVOORSCHRIFT 22

4.1 Inleiding 22
4.2 Het buitengeluid 23
4.2.1 Europese indicatoren 23
4.2.2 Grootheden van de huidige Belgische norm NBN S 01-400-1 (2008) 24
4.2.3 Grootheden van Belgische ontwerpnorm prNBN S 01-400-1:2019 26
4.2.4 Ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift 29
4.2.5 Andere grootheden 30

4.3 Akoestische gevelisolatie 30
4.4 Eisen akoestische gevelisolatie 32
4.4.1 De huidige norm NBN S01-400-1 (2008) 32

4.5 normontwerp PRNBN S01-400-1 (2019) 34
4.6 Het ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift 37
4.7 Het ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift en internationale criteria 39

5 TOEGEPAST CASE ONDERZOEK 45

5.1 Doel van het onderzoek en werkwijze 45
5.2 Het onderzoek 46
5.2.1 Algemene werkwijze 46
5.2.2 Bepaling van de grootheden voor gevelbelasting uit metingen 48
5.2.3 Bepaling van de grootheden voor gevelbelasting uit berekeningen 52
5.2.4 Akoestische simulaties van de cases 55

5.3 Resultaten van de studie van de cases 56
5.3.1 Overzicht cases 56
5.3.2 Case 1 – Botelaarbaan te Antwerpen 60
5.3.3 Case 2 – Sint-Bernardsesteenweg te Antwerpen 66
5.3.4 Case 3 – Noordhoutstraat E40 te Gent 72
5.3.5 Case 4 – Voskenslaan te Gent 78
5.3.6 Case 5 – Burgravenlaan te Gent 84
5.3.7 Case 6 – Slachthuisstraat te Gent 90
5.3.8 Overzicht metingen en simulatie cases 95

5.4 Conclusies bij het gebruik van geluidskaarten en simulaties 95
5.4.1 Gebruik van bestaande stratgische geluidskaarten 95
5.4.2 Gebruik van akoestische simulaties 96
5.4.3 Gebruik van de methode van de norm 97

5.5 Resultaten gevelbelasting van de cases 98
5.5.1 Opzet 98
5.5.2 Vergelijking tussen de indicatoren L_d, L_e, L_n en L_{den} 99
5.5.3 Vergelijking tussen de grootheden L_{Aref}, $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ 104
5.5.4 Vergelijking tussen de grootheden L_d, L_e, L_n en L_{den} en de L_A-grootheden 106
5.5.5 Conclusies 110

5.6 Piekgeluidniveaus van de cases 110

6 AKOESTISCHE GEVELISOLATIE 113

6.1 Toetsingscriteria 113
6.2 Aanvullend toetsingscriterium 114
6.3 geluidsisolaties van dagruimten 114
6.4 geluidsisolaties van nachtruimten zonder de pieklawaai-eis 117
6.5 geluidsisolaties van nachtruimten met pieklawaai-eis 119
6.5.1 Analyse criteria 119
6.5.2 Toepassing op de metingen 122

6.6 Criteria bij verhoogd comfort 124
6.7 Geluidsisolaties bij luchtverkeerslawaai 125

7 BEREKENING VAN PIEKGELUIDEN 130
8 SAMENVATTING VAN DE ONDERZOEKSBEVINDINGEN 138

8.1 Inleiding 138
8.2 Onderzoek 138

9 BELEIDSAANBEVELINGEN 147

9.1 Algemene overwegingen 147
9.2 Voorstel voor aanpassing van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift 154

10 BIJLAGE: RESULTATEN VAN UITGEVOERDE CASES EN METINGEN 157

1 ONDERWERP

Het voorwerp van de opdracht betreft de "Ontwikkeling en toepassing van een gewestelijk voorschrift voor de akoestische gevelisolatie van woningen tegen weg-, spoor- en luchtverkeerslawaai".

De belangrijkste doelstelling van de studieopdracht is om een voorliggend ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift nader te evalueren, uit te werken, indien nodig aan te passen en op punt te stellen, zodanig dat dit inzetbaar is in het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen en later geoperationaliseerd kan worden in geschikte instrumenten binnen het ruimtelijk beleid als onderdeel van een algemene, ruimtelijke strategie om rekening te houden met omgevingslawaai bij nieuwe woonontwikkelingen.

De studieopdracht wordt opgevat als een opdracht in gedeelten en bestaat uit 3 onderdelen:

1. Een internationale verkenning
2. De evaluatie van het gewestelijk isolatievoorschrift
3. Toepassing en dimensionering

Het voorliggende onderdeel betreft deel 2 van de studieopdracht: 'De evaluatie van het gewestelijk isolatievoorschrift'.

2 CONTEXT

2.1 SITUERING VAN DE STUDIE

2.1.1 Beleidsmatige context

Heel wat Vlamingen worden blootgesteld aan omgevingslawaai. Enquêtes tonen aan dat de effecten van die blootstelling, in eerste instantie geluidshinder en slaapverstoring, de kwaliteit van de leefomgeving voor de Vlaming in belangrijke mate beïnvloeden. De effecten van langdurige blootstelling aan omgevingslawaai, met mogelijke impact op de gezondheid, treden gradueel op en worden ernstiger naarmate de geluidblootstelling toeneemt. Veruit de belangrijkste bron van geluidsoverlast in Vlaanderen is het verkeerslawaai (weg-, spoor-, en luchtverkeer).
De Europese richtlijn 2002/49/EG ter evaluatie en beheersing van omgevingslawaai, die lidstaten oplegt om 5-jaarlijks strategische geluidsbelastingskaarten en actieplannen op te maken van de belangrijkste infrastructuren (wegen, spoorwegen, luchthavens en agglomeraties), vormt een belangrijk referentie- en werkkader voor het voorkomen, beheersen en bestrijden van omgevingslawaai.
In uitvoering van deze richtlijn 2002/49/EG keurde de Vlaamse Regering in 2016-2017 de maatregelen goed zoals opgenomen in de gewestelijke geluidsactieplannen voor de belangrijke wegen, spoorwegen en de luchthaven Brussel-Nationaal. Meer info:
https://omgeving.vlaanderen.be/geluidsactieplannen. In uitvoering van de 3de uitvoeringscyclus van de richtlijn werden de actieplannen van belangrijke wegen, spoorwegen (en agglomeraties) intussen geactualiseerd en in 2019 goedgekeurd door de Vlaamse Regering. De maatregelen zijn in eerste instantie gericht op de prioritaire problemen zoals die kunnen worden vastgesteld op basis van de strategische geluidsbelastingkaarten.
Bij de geluidssanering van de vastgestelde knelpunten is uiteraard een belangrijke rol weggelegd voor de beheerder van infrastructuur (brongerichte en overdrachtsmaatregelen). Echter, in het voorkomen en beheersen van geluidsoverlast, kunnen ook maatregelen gedetecteerd worden op niveau van de ontvanger (woningen en andere geluidgevoelige bestemmingen). Dit is een belangrijk element van de langetermijnstrategie in de geluidsactieplannen van lawaaibeheersing waarbij veroorzaker en ontvanger een gedeelde verantwoordelijkheid hebben in het voorkomen van geluidshinder. Zo zal bij nieuwe woonontwikkelingen de initiatiefnemer ook rekening moeten houden met de aanwezigheid van de aanwezige geluidbelasting en instaan voor milderende maatregelen indien de geluidimmissie niet doelmatig verlaagd kan worden door andere maatregelen.
In de door de Vlaamse Regering goedgekeurde gewestelijk geluidsactieplannen gaat specifieke aandacht naar het onderzoek van de invoering en de operationalisering van voorschriften met betrekking tot akoestische gevelisolatie van woningen op geluidsbelaste locaties.

2.1.2 Algemene beleidsstrategie

Het uitwerken van een algemene beleidsstrategie ter beheersing van omgevingslawaai bij nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen vormt een belangrijke uitdaging. Deze strategie bevat doelmatige instrumenten die toelaten om bij de inplanting van nieuwe receptoren (woningen) in de omgeving van bestaande geluidsbronnen voldoende rekening te houden met de mogelijke geluidshinder. Dit moet anderzijds ook worden afgestemd met het

ruimtelijk beleid dat ernaar streeft de mobiliteitsuitdaging beheersbaar te maken door de dichtheid van woongelegenheden en werkplekken nabij collectieve vervoersknooppunten te verhogen. Dit vraagt een samenhangend pakket aan ruimtelijke strategieën en maatregelen met bijhorende instrumentenkeuzes.
Om de integratie van omgevingslawaai in het ruimtelijk beleid verder te onderbouwen is er nood aan bijkomend onderzoek, concrete oplossingsrichtingen en testen in de praktijk. Binnen het departement Omgeving lopen sinds 2015 onderzoeksinitiatieven met als doel om bij ruimtelijke ontwikkelingen meer rekening te houden met de impact van ruimtelijke keuzes op de luchtkwaliteit, omgevingslawaai en hittestress. Bijkomend onderzoek wordt binnen het departement Omgeving verricht naar de mogelijke reguliere instrumenten (vergunningen, plannen, verordeningen, …) die ingezet kunnen worden om bij besluitvorming beter rekening te houden met gezondheid.

2.1.3 Akoestische gevelisolatie als milderende maatregel

Wanneer de kwaliteit van de leef- en woonomgeving in gedrang komt door de aanwezigheid van omgevingslawaai kan een verhoogde akoestische isolatie van de gevel een mitigerende rol vervullen in het beheersen van de negatieve effecten (hinder, slaapverstoring, …).
De maatregel komt in beeld wanneer de geluidniveaus in de buitenomgeving niet meer toereikend verlaagd kunnen worden door brongerichte maatregelen of maatregelen in de overdrachtsweg.
Door geluidwerende maatregelen op niveau van de gevels kan immers het geluidsniveau in de verblijfsruimten van een woongebouw verlaagd worden ter compensatie van een verminderde leefbaarheid van de buitenomgeving (in tuinen, op terrassen, …). Naast een verhoogde gevelisolatie kunnen ook andere maatregelen op niveau van de ontvanger (vb. de woningindeling, de aanwezigheid van een stille gevel, …) compenserend werken ten aanzien van overmatige geluidblootstelling aan omgevingslawaai.
Het doel van akoestische gevelisolatie is uiteindelijk een bepaald akoestische comfortniveau in de verblijfsruimten van een woning te kunnen garanderen uitgaande van vooropgestelde of na te streven eisen in verband met de optredende binnenniveaus. Deze eisen zijn bepalend voor de benodigde isolatieprestatie van de gebouwschil en de bijhorende geluidwerende maatregelen.

2.1.4 Akoestische gevelisolatie in MER-dossiers

In vergelijking met onze buurlanden is er momenteel in Vlaanderen geen specifiek wettelijk kader, met drempel- of grenswaarden voor de toegestane geluidimmissie van verkeersgeluid, aangevuld met een complementaire toepassing van akoestische isolatie-eisen voor woningen en andere geluidgevoelige bestemmingen wanneer bepaalde drempel- of grenswaarden overschreden worden.
Wel dient voor plan- of project MER plichtige ontwikkelingen rekening gehouden te worden met het algemene afwegingskader zoals actueel opgenomen in het MER-richtlijnenboek Geluid & Trillingen. Dit kader voorziet in milderende maatregelen bij de ontvanger wanneer brongerichte maatregelen en/of maatregelen in de overdracht ontoereikend zijn. Als milderende maatregelen wordt onder meer verwezen naar de toepassing van de eisen voor akoestische gevelisolatie uit de normreeks NBN S01-400, die in Vlaanderen geldt als ‘code van de goede praktijk’. Voor woongebouwen is het deel 1 van deze technische norm (NBN S01-400-1:2008 ‘Akoestische criteria voor woongebouwen’) van toepassing. De doorwerking van akoestische isolatie, opgelegd als milderende maatregel in concrete MER-dossiers, is echter niet altijd gegarandeerd.
Actueel wordt deze technische norm herzien. Er werd een nieuw normontwerp prNBN S 01-400-1:2019 ‘Akoestische criteria voor woongebouwen’, als ontwerp NBN norm door het Bureau voor Normalisatie ter publieke consultatie voorgelegd tijdens een openbaar onderzoek van 11.09.2019 tot 15.02.2020.

Het MER-richtlijnenboek Geluid & Trillingen is momenteel in herziening met een voorstel van een nieuw en aangepast afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen. Akoestische gevelisolatie blijft hierin een essentieel onderdeel, dat bij de beoordeling van de geluidimmissie ten aanzien van de voorgestelde drempelwaarden voor nieuwe situaties in beeld komt als een milderende maatregel.
Ten behoeve van de effectieve doorwerking van akoestische gevelisolatie als milderende maatregel in plan/project MER (screenings)procedures is ondersteuning wenselijk, ter precisering van de prestatie-eisen voor verschillende bronnen (weg- spoor- en luchtverkeer) en de dimensionering van de vereiste maatregelen op gebouwniveau. Bovendien is het aangewezen dat de toe te passen eisen uitgedrukt worden in dezelfde geluidindicatoren als gebruikt in het afwegingskader voor het karakteriseren van de gevelbelasting. In lijn met de richtlijn 2002/49/EG zijn dit de geharmoniseerde EU-indicatoren (L_{day}, $L_{evening}$, L_{night} en L_{den}).
Dit vraagt bijgevolg de ontwikkeling en het op punt stellen van een specifiek gewestelijk isolatievoorschrift**.**

2.1.5 Akoestische criteria voor woongebouwen

In 2003 werd in opdracht van het Vlaamse Gewest een beleidsvoorbereidende studie [1] uitgevoerd met als onderwerp de berekening en kostenraming van geluidsisolatie in de nieuw- en vernieuwbouw ten opzichte van buitenlawaai veroorzaakt door weg-, vlieg- en spoorverkeer. Deze uitgebreide studie, uitgevoerd o.l.v. de KU Leuven, is op heel wat punten nog steeds actueel. Als beleidsaanbeveling werden in de studie specifieke beleidsvoorstellen geformuleerd in verband met de vereiste isolatie uitgaande van een optredende gevelbelasting uitgedrukt in EU-indicatoren. Dit voorstel, later nog aangepast en aangevuld met isolatiecriteria specifiek voor de luchthaven Brussel-Nationaal[2], heeft geleid tot een ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift.
Dit ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift, bestaande uit een set van eisen of criteria waaraan de akoestische gevelisolatie van de te beschermen ruimten in woongebouwen moet voldoen voor de verschillende beschouwde bronnen (weg, spoor- en/of luchtverkeer), vormt het uitgangspunt van voorliggende studie.

2.2 DOEL VAN DE STUDIE

De belangrijkste doelstelling van de studieopdracht is om het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift nader te evalueren, uit te werken en, indien nodig, aan te passen en op punt te stellen, zodanig dat dit inzetbaar is in het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen en later geoperationaliseerd kan worden in geschikte instrumenten binnen het ruimtelijk beleid als onderdeel van een algemene, ruimtelijke strategie om rekening te houden met omgevingslawaai bij nieuwe woonontwikkelingen.

[1] "Berekening en kostenraming van geluidsisolatie in de nieuw- en vernieuwbouw ten opzichte van buitenlawaai veroorzaakt door weg-, vlieg- en spoorverkeer", studie in opdracht van de Vlaamse Gemeenschap (AMINAL), KU Leuven - Laboratorium Bouwfysica en het laboratorium Akoestiek en Thermische Fysica, o.l.v. Prof. Dr. Ir. G. Vermeir en Prof. J. Thoen, i.s.m. met het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor de Bouwnijverheid (WTCB), Daedalos en Sound&Silence, Eindrapport 31 mei 2003
[2] "Richtlijn 2002/49/EG – Opmaak van actieplan voor Brussels Airport – Onderzoek naar maatregelen ruimtelijke ordening", studie in opdracht van het departement LNE van de Vlaamse overheid, SUM Research i.s.m. Daedalos-Peutz en G.I.M., Eindrapport van 5 april 2011

2.3 HET ONTWERP VAN GEWESTELIJK ISOLATIEVOORSCHRIFT

In het MER-richtlijnboek Geluid & Trillingen wordt momenteel verwezen naar de toepassing van de eisen van de NBN S01-400-1 van januari 2008 (Akoestische criteria voor woongebouwen) als uitgangspunt voor milderende maatregelen bij nieuwe woonontwikkelingen.
Het beoogde isolatiepeil in MER-dossiers komt daarbij overeen met de eisen voor 'verhoogd comfort' uit de norm. De eisen uit de NBN-S01-400-1 (2008) zijn slechts eenduidig toepasbaar in situaties met overwegend wegverkeerslawaai. De methode steunt op de voorafgaande bepaling van de referentie gevelbelasting op basis van een referentiemeting op het bouwterrein of, in een vereenvoudigde benadering, gebruik makend 4 categorieën, overeenstemmend met typebeschrijvingen van 4 verkeerssituaties.
Voor spoor- en luchtverkeerslawaai, waarbij het omgevingslawaai eerder een intermitterend karakter heeft en gekarakteriseerd wordt door opeenvolgende geluidspieken, is de methode uit de NBN-norm minder geschikt.

Binnen de toepassing van het nieuwe ontwerp afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen, is het wenselijk om te komen tot een meer eenduidige toepassing van isolatiecriteria in situaties met dominant weg-, spoor- of luchtverkeersgeluid. Bij voorkeur worden de eisen met betrekking tot de vereiste gevelisolatie (D_{Atr}) geformuleerd in functie van de berekende immissieniveaus zoals die in het kader van het MER voortvloeien uit een overdrachtsberekening met een rekenmodel. De immissieniveaus die binnen het MER-afwegingskader geëvalueerd worden zijn berekende immissieniveaus, beoordeeld als 'invallend geluid', en uitgedrukt in jaargemiddelde EU-indicatoren (L_{day}, $L_{evening}$, L_{night} en L_{den}).
Een ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift dat rekening houdt met deze vereiste(n) en een uitdrukking op basis van EU-indicatoren als uitgangspunt neemt is opgenomen in onderstaande tabel.

Te beschermen ruimte	**Eis met betrekking tot de gevelisolatie D_{Atr}**
Algemeen (absolute ondergrens, onafhankelijk van gevelbelasting en van type bron)	
Dag- en nachtruimten	$D_{Atr} \geq 26$ dB
Wegverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 33$ dB
Nachtruimten	$D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 28$ dB
Spoorverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 35$ dB
Nachtruimten	Hoogste waarde van: $D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 30$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u} +3 - 50$ dB
Luchtverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 30$ dB
Nachtruimten	Hoogste waarde van: $D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 25$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u} +3 - 45$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,1x,23\text{-}07u} +3 - 50$ dB

Tabel 1: Criteria van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift

In deze tabel is per brontype de vereiste isolatieprestatie van de gevel opgenomen, uitgedrukt als één specifiek cijfer voor de kenmerkende isolatiegrootheid D_{Atr}. De prestatie-eis voor de gevelisolatie D_{Atr} is afhankelijk van de (invallende) gevelbelasting en dient afzonderlijk geëvalueerd te worden per gevelvlak van elke te beschermen verblijfsruimte binnen het woongebouw.
Voor toelichting bij de gebruikte grootheden: zie verder onder §3.

Voor spoorverkeer wordt het 5x overschrijdingsniveau $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ bepaald voor nachten die representatief zijn voor de nachtelijke belasting door spoorverkeer.
Voor luchtverkeer worden de 5x en 1x overschrijdingsniveaus $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ en $L_{Amax,1x,23\text{-}07u}$ bepaald voor nachten met vliegbewegingen die representatief zijn voor vliegbewegingen die jaarlijks minstens 5% van de tijd voorkomen. De waarden worden voor de situatie van de luchthaven Brussel-Nationaal praktisch bepaald als de hoogste waarden van een berekening van het 1x en 5x overschrijdingsniveau tijdens een jaargemiddelde weeknacht (ma, di, woe en do-nacht), onder respectievelijk hoofdbaangebruik en alternatief baangebruik.
De geluidbelasting uitgedrukt in L_{day}, L_{night} en het nx overschrijdingsniveau $L_{Amax,nx,23\text{-}07u}$ worden, in tegenstelling tot de evaluatie van de gevelbelasting in de NBN S01-400-1:2008, geëvalueerd als 'invallend geluid' op de meest belaste gevel van de te beschermen dag- of nachtruimte (vrije veld condities, dus zonder invloed van de aanwezigheid van de gevel).
Het is een complex isolatievoorschrift dat voor luchtverkeer (Brussel-Nationaal) reeds nader werd geëvalueerd en geconcretiseerd in de vorm van iso-contouren van de vereiste gevelisolatie D_{Atr} voor respectievelijk dag- en nachtruimten. Deze 'isolatiecontouren', steunend op een prognose van de geluidimmissie met als referentiejaar 2020, zijn opgenomen in het gewestelijk geluidsactieplan voor de luchthaven Brussel-Nationaal. Voor spoorverkeer werd het isolatiecriterium op basis van het 5x overschrijdingsniveau echter nog niet nader geëvalueerd.
Voorliggende studie bestaat erin om het bovenstaande ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift voor weg-spoor- en luchtverkeersgeluid nader te evalueren, uit te werken, indien nodig aan te passen en op punt te stellen in functie van een doelmatige toepassing binnen het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen (en bij uitbreiding ook in andere situaties als uitgangspunt voor opname in andere instrumenten).

De gevraagde evaluatie heeft uitsluitend betrekking op de precieze formulering en de bepalingsmethode van de vereiste isolatieprestatie van de gevel uitgedrukt als één specifiek cijfer voor de kenmerkende grootheid D_{Atr}, en nader vast te stellen voor elke gevel van elke te beschermen verblijfsruimte binnen het woongebouw. Hierbij onderscheiden we volgende onderdelen:

- Algemene benchmarking van het ontwerp van isolatievoorschrift
- Evaluatie van het ontwerp van isolatievoorschrift (toegepast onderzoek)
- Beleidsaanbevelingen

Deze 3 onderdelen worden in volgende paragaaf toegelicht.

2.4 TOEGEPASTE AANPAK VOOR DE EVALUATIE VAN HET ONTWERP VAN GEWESTELIJK ISOLATIEVOORSCHRIFT

2.4.1 Algemene benchmarking van het ontwerp van isolatievoorschrift

Het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift wordt vergeleken met de huidige norm NBN S 01-400-1 (2008) – 'Akoestische criteria voor woongebouwen' en het voorstel van ontwerp van nieuwe norm prNBN S 01-400-1 (2019) – 'Akoestische criteria voor woongebouwen'. Hierbij worden in eerste instantie de verschillende grootheden die gebruikt worden onderling met elkaar vergeleken. Het betreffen grootheden die het buitengeluid en de gevelisolatie karakteriseren.
De beide NBN normen en het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift leggen ook eisen op aan de gevelisolatie. Deze eisen worden eveneens onderling met elkaar vergeleken. Zij worden ook vergeleken met de eisen in andere Europese landen die naar voor zijn gekomen in deel 1 van deze studie.

2.4.2 Evaluatie van het ontwerp van isolatievoorschrift (toegepast onderzoek)

De methodologie ter evaluatie van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift steunt op een toegepast (case)onderzoek. Volgende aspecten komen aan bod:

→ **Bepalingsmethoden (van de gevelbelasting):**

Een belangrijke variabele bij de vaststelling van de vereiste gevelisolatie D_{Atr} is de in rekening te brengen gevelbelasting, die in principe variabel is over de verschillende gevelvlakken van het woongebouw. Dit geldt in mindere mate voor luchtverkeersgeluid waarbij uitgegaan kan worden van een meer homogene gevelbelasting.

De gevelbelasting, uitgedrukt in de kenmerkende grootheden, zal bij spoor- en wegverkeerslawaai in principe bepaald worden op basis van een gedetailleerde akoestische modellering. Binnen een uitgebreid MER-onderzoek zijn hiervoor de benodigde invoergegevens (verkeersintensiteiten, gebouwenmodel, …) in principe voorhanden. Het gaat daarbij om gevelbelastingskaarten met waarneempunten ter plaatse van de gevel (invallend geluid, zonder gevelreflectie).

In het kader van beperktere onderzoeken met lagere complexiteit kan de vraag gesteld worden of voldoende betrouwbare informatie over de gevelbelasting niet op een vereenvoudigde wijze kan verkregen worden. Mogelijke opties zijn:
- gebruik van informatie zoals beschikbaar in de strategische geluidsbelastingkaarten (L_{den} en L_{night});
- een vereenvoudigde overdrachtsberekening (vb. steunend op uitgebreide of beperkte telgegevens van het verkeer);
- een verkennende meting van het omgevingslawaai, …

→ **Vergelijking met de eisen uit de norm NBN S01-400-1:**

De vereiste gevelisolatie D_{Atr} overeenkomstig het ontwerp isolatievoorschrift worden vergeleken worden met de eisen uit NBN S01-400-1 'Akoestische criteria voor woongebouwen' van 2008. Deze vergelijking is zinvol voor

wegverkeersgeluid, in mindere mate voor spoor- en luchtverkeersgeluid, waarvoor het NBN-voorschrift minder geschikt is.

Ondertussen is er het nieuw normontwerp prNBN S 01-400-1:2019 'Akoestische criteria voor woongebouwen' met aangepaste eisen voor gevelisolatie waarbij wel een onderscheid gemaakt wordt tussen wegverkeersgeluid, spoor- en luchtverkeersgeluid. Ook dit wordt vergeleken.

- **Evaluatie van het piekgeluidencriterium voor spoorgeluid:**

De evaluatie van het bijkomende piekgeluidencriterium voor nachtelijke geluidblootstelling bij spoor- en luchtverkeersgeluid is relatief complex. Het criterium voor spoorgeluid is in tegenstelling tot dat van luchtverkeersgeluid, nog niet in detail geëvalueerd. De benodigde gegevens ter evaluatie het isolatiecriterium voor spoorgeluid zijn in de praktijk niet altijd beschikbaar. Rekening houdend met beschikbare gegevens ter karakterisering van de gevelbelasting wordt daarom nader onderzocht in hoeverre het voorschrift voor spoorverkeersgeluid vereenvoudigd kan worden zonder aan effectiviteit in te boeten.

- **Onderzoek naar vereenvoudiging van het voorschrift:**

Het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen steunt op de evaluatie van de geluidsimmissie ter plaatse van woongebouwen uitgedrukt in de indicator L_{den}. Het kan overwogen worden om het isolatievoorschrift compacter te formuleren door dit uit te drukken in dezelfde grootheid.

Om een gemotiveerd antwoord en inzicht te kunnen bieden op de hiervoor vermelde onderzoeksvragen worden de isolatiecriteria van het voorschrift toegepast in concrete cases van weg- en spoorverkeersgeluid, die duidelijk gedefinieerd zijn en waarvoor alle benodigde gegevens beschikbaar zijn voor de toepassing van het ontwerp voorschrift, en die een vergelijking mogelijk moeten maken met de toepassing van de eisen uit de huidige NBN S01-400-1:2008 en het ontwerpvoorstel prNBN S01-400-1: 2019 van dezelfde norm.

In eerste instantie werden hiertoe werden 6 nieuwe cases onderzocht (2 voor wegverkeerslawaai; 2 voor een combinatie van wegverkeerslawaai en tramlawaai; 2 voor een combinatie van wegverkeerslawaai en spoorverkeerslawaai), waarbij de gevelbelastingen van te beschermen ruimten berekend worden op basis van een gedetailleerd akoestisch rekenmodel en waarvoor bijkomende meetgegevens (metingen gedurende ongeveer 1 week per case) verzameld werden ter karakterisering van de samenstelling van het optredende omgevingslawaai en ter bijkomende evaluatie van de isolatiecriteria uit de huidige NBN S01-400-1 (2008) en ontwerpnorm prNBN S01-400-1 (2019).

Bij de keuze van de te onderzoeken cases werd maximaal rekening gehouden worden met de volgende randvoorwaarden:

- het betreft concrete woonontwikkelingen in de vorm van bestaande of geprojecteerde woongebouwen;
- gelegen op (sterk) geluidsbelaste locaties van weg of spoorverkeer (met een indicatieve onderdrempel voor de geluidbelasting van wegverkeer L_{den} > 60 dB en voor spoorverkeer L_{den} > 65 dB);

- alle cases zijn gelegen binnen de strategische geluidsbelastingskaarten (van Gent en Antwerpen);
- met aandacht naar de keuze van verschillende woontypologieën (hoogbouw/laagbouw, groepswoningbouw/individuele woningbouw, rijbebouwing/verspreide bebouwing).

Aanvullend werden ook de metingen van 8 bestaande onderzoeken, waarvoor metingen in 1 of meer meetpunten in het verleden werden uitgevoerd gedurende een periode van enkele dagen tot ca. 1 week, eveneens opnieuw geanalyseerd ter karakterisering van de samenstelling van het optredende omgevingslawaai en ter bijkomende evaluatie van de isolatiecriteria uit de huidige NBN S01-400-1:2008, deze van het ontwerpvoorstel van nieuwe norm prNBN S01-400-1:2019 én deze van het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift. Van deze laatste onderzoeken werd er geen rekenmodel opgesteld. Ze zijn ook niet gelegen binnen de strategische geluidsbelastingskaarten.

Deze aspecten worden behandeld in hoofdstukken 5, 6, 7 en 8.

2.4.3 Beleidsaanbevelingen

Op basis van de resultaten van het (toegepast) onderzoek en eerdere bevindingen uit een internationale verkenning zullen tenslotte aanbevelingen gegeven worden met betrekking tot de formulering van het voorschrift en de bepalingsmethode(n) van de vereiste isolatieprestatie. Zij worden afgeleid uit de resultaten van het toegepaste onderzoek, waarbij ook reeds een aanvullend criterium mee onderzocht wordt.

Dit wordt beschreven in hoofdstuk 9.

Alvorens de voorgestelde aanpak verder uit te werken worden in volgende hoofdstuk enkele begrippen die verder gebruikt zullen worden gedefinieerd.

3 BEGRIPPEN

Voor een eenduidige begripsvorming in het verder verloop van de tekst worden hierna enkele begrippen nader gedefinieerd. De hierna vermelde definities zijn overgenomen uit de referentiestudie van de KU Leuven uit 2003[3] en mogen in principe slechts in relatie met de toepassing van het te evalueren gewestelijk isolatievoorschrift gezien worden. In andere voorschriften (normen, richtlijnen, ...) die in het kader van deze studie onderzocht werden, kunnen evenwel andere, afwijkende definities gehanteerd worden.

- Binnengeluid is het verkeersgeluid in de binnenruimte. De kenmerkende grootheid is hier het gestandaardiseerde ontvangniveau.
- Buitengeluid is geluid veroorzaakt in de buitenomgeving door verkeersgeluid. In dit onderzoek is buitengeluid maar relevant voor zover het invalt op een woongebouw en door de gevel naar binnen dringt. In de NBN-normen spreekt men niet over buitengeluid maar specifiek over (de bescherming tegen) "omgevingslawaai", dat nader gedefinieerd is:
  - NBN S01-400-1: 2018: 'geluid buiten de woning in hoofdzaak veroorzaakt door wegverkeer, spoorverkeer en vliegverkeer.'
  - prNBN S01-400-1: 2019: 'geluid buiten de woning in hoofdzaak veroorzaakt door wegverkeer, spoorverkeer en vliegverkeer, industriële en commerciële activiteiten en technische installaties. Slechts het deel van het buitenlawaai dat voldoet aan de geldende reglementeringen betreffende omgevingslawaai en de van toepassing zijnde normen dient beschouwd te worden. Burenlawaai of geluid van spelende kinderen worden niet tot het omgevingslawaai gerekend.'

  Voor andere voorschriften uit de internationale verkenningen in deel 1 is dit niet systematisch onderzocht.
- Gevelisolatie / geluidsisolatie van gevel: eigenschap van een gevel om het buitengeluid te reduceren tot een aanvaardbaar geluidsniveau binnen (in het kader van het te evalueren gewestelijk voorschrift is de kenmerkende grootheid van de gevelisolatie de akoestische grootheid D_{Atr}).
- Gevel: het geheel van gevelvlakken die samen de scheidingsconstructie tussen de buitenomgeving en een binnenruimte vormen (inclusief de dakvlakken). Een gevel kan bestaan uit één of meerdere gevelvlakken. Elk gevelvlak kan één of meerdere gevelelementen bevatten.
- Gevelvlak: deel van een gevel met dezelfde oriëntatie (voorgevel, zijgevel, dakvlak, ...)
- Gevelelement: deel van een gevelvlak met een bepaalde samenstelling, en waarvoor de eigenschappen inzake geluidwering tegen luchtgeluid apart gemeten of berekend wordt (vb. spouwmuur, dakconstructie, raam, deur, ventilatierooster, dakvlakvenster ...).
- Gevelbelasting: de kenmerkende grootheid van het buitengeluid: het geluiddrukniveau van het invallende geluidveld. Om duidelijk te benadrukken dat dit invallend geluid betreft, zonder gevelreflecties gebruiken de ISO-normen hiervoor het symbool $L_{1,in}$.
- Isolatievoorschrift: het geheel van de eisen of criteria waaraan de akoestische gevelisolatie van de te beschermen in ruimten in woongebouwen moet voldoen voor de verschillende beschouwde bronnen (weg, spoor- en/of luchtverkeer).

[3] "Berekening en kostenraming van geluidsisolatie in de nieuw- en vernieuwbouw ten opzichte van buitenlawaai veroorzaakt door weg-, vlieg- en spoorverkeer", studie in opdracht van de Vlaamse Gemeenschap (AMINAL), KU Leuven - Laboratorium Bouwfysica en het laboratorium Akoestiek en Thermische Fysica, o.l.v. Prof. Dr. Ir. G. Vermeir en Prof. J. Thoen, i.s.m. met het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor de Bouwnijverheid (WTCB), Daedalos en Sound&Silence, Eindrapport 31 mei 2003

- Verblijfsruimte: ruimte in een woongebouw waar mensen tijdens hun aanwezigheid in hoofdzaak verblijven. In het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift wordt onderscheid gemaakt tussen:
  - dagruimte: verblijfsruimte waar mensen tijdens hun aanwezigheid in hoofdzaak tijdens de dag- en avondperiode (meestal 07-23u) verblijven (vb. woonkamer, keuken, studeerkamer, …)
  - nachtruimte: verblijfsruimte waar mensen tijdens hun aanwezigheid in hoofdzaak tijdens de nachtperiode (meestal 23-07u) verblijven (vb. slaapkamer).

  Ruimtes die met elkaar verbonden zijn door een opening van minstens 5 m², die niet kan afgesloten worden, beschouwt men als 1 ruimte.
- Woongebouw: gebouw bestemd voor individuele of collectieve huisvesting met permanente of tijdelijke bezetting. In de NBN S01-400-1:2008 en de prNBN S01-400-1:2019 wordt een woongebouw gedefinieerd als 'een gebouw dat één of meerdere woningen bevat', waarbij een woning een geheel is van aansluitende ruimten dat normaal alleen toegankelijk is voor de eigen bewoners. Onder deze definitie wordt de gebruikelijke interpretatie van het begrip woning begrepen en dus bijvoorbeeld niet hotels, ziekenhuiskamers, rusthuizen enz…
- Verkeersgeluid: geluid veroorzaakt door wegverkeer, spoorverkeer en vliegverkeer.
- Spoorverkeer: passagiers- en goederenverkeer op openbare spoorlijnen.
- Vliegverkeer: burgerlijk en militair luchtverkeer tijdens de vlucht, het landen en opstijgen inbegrepen.
- Wegverkeer: gemotoriseerd verkeer op de openbare weg: bromfietsen, motorfietsen, wagens, bestelwagens, vrachtwagens, autobussen, landbouwvoertuigen, ...

4 ALGEMENE BENCHMARKING VAN HET ONTWERP VAN ISOLATIEVOORSCHRIFT

4.1 INLEIDING

In deel 1 van de studie werd onderzocht welke verschillende akoestische indicatoren in verschillende EU-lidstaten gebruikt worden voor het opstellen van wetgeving, normen en richtlijnen tot het reduceren van het buitengeluid tot een aanvaardbaar geluidsniveau binnen. Dit blijkt niet overal op dezelfde manier te gebeuren. In de meeste landen wordt een eis opgelegd aan de gevelisolatie; in enkele landen stelt men een eis aan het toegelaten geluidsniveau binnen. In het geval van gevelisolatie-eisen worden verschillende grootheden gehanteerd.

Het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift gebruikt de akoestische grootheid D_{Atr} als kenmerkende grootheid om de geluidsisolatie van de gevel te karakteriseren. Dit is ook het geval voor de NBN normen (NBN S01-400-1:2018 en prNBN S01-400-1:2019). Voor deze grootheid worden criteria opgelegd. Deze opgelegde waarden zijn niet alleen verschillend bij het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift en de normen, maar ze worden ook anders bepaald. Om de waarden die aan deze grootheden opgelegd worden te kunnen evalueren moet duidelijk zijn hoe ze bepaald worden. Zowel het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift als de NBN normen gebruiken hiervoor respectievelijk het buitengeluid of het omgevingsgeluid, maar de grootheid die dit karakteriseert verschilt. Ook de geluidsbronnen zijn niet gelijk. In een eerstvolgende paragraaf worden eerst de

verschillen tussen de grootheden bekeken, die het buitengeluid en de gevelisolatie karakteriseren. Vervolgens worden de eisen die opgelegd worden aan de gevelisolatie gedetailleerd bestudeerd in zowel beide normen als in het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift. Dit wordt ook vergeleken met de eisen van enkele Europese landen uit het onderzoek van deel 1.

4.2 HET BUITENGELUID

Er is een duidelijk verschil tussen het buitengeluid of omgevingsgeluid dat gebruikt wordt om eisen op te leggen aan de gevelisolatie:

- De eisen die in het gewestelijk isolatievoorstel oplegt aan de akoestische grootheid voor gevelisolatie (D_{Atr}) voor dag- en nachtruimten gaan uit van het buitengeluid dat wordt veroorzaakt in de buitenomgeving door wegverkeer, spoorverkeer of vliegverkeer en dat invalt op een woongebouw en door de gevel naar binnen dringt.
- De eisen die NBN S01-400-1:2008 oplegt aan de akoestische grootheid voor gevelisolatie (D_{Atr}) voor binnenruimten (woonkamer, keuken, studeerruimte en slaapkamer) gaan uit van omgevingslawaai dat in hoofdzaak wordt veroorzaakt buiten de woning door wegverkeer, spoorverkeer of vliegverkeer en dat optreedt op 2m van de gevel en door de gevel naar binnen dringt.
- De eisen die prNBN S01-400-1:2019 oplegt aan de akoestische grootheid voor gevelisolatie (D_{Atr}) voor binnenruimten (woonkamer, keuken, studeerruimte en slaapkamer) gaan uit van omgevingslawaai dat in hoofdzaak wordt veroorzaakt buiten de woning in hoofdzaak veroorzaakt door wegverkeer, spoorverkeer en vliegverkeer, industriële en commerciële activiteiten en technische installaties en dat optreedt op 2m van de gevel en door de gevel naar binnen dringt.

Dit leidt tot verschillende grootheden die op een andere manier bepaald worden en dus aanleiding zullen geven tot een andere formulering van het criterium voor de vereiste gevelisolatie D_{Atr}. De grootheden, ter karakterisering van het buitenlawaai, worden verder toegelicht.

4.2.1 Europese indicatoren

De Europese unie ontwikkelde de Europese Geluidsrichtlijn (“European Noise Directive” END 2002/49) betreffende de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai. Deze richtlijn heeft tot doel in Europa een gemeenschappelijke aanpak in te voeren om schadelijke effecten van blootstelling aan omgevingslawaai te vermijden, te voorkomen of te verminderen. Deze richtlijn vraagt de Europese lidstaten om het publiek te informeren en te raadplegen, om 5 jaarlijks strategische geluidsbelasting kaarten op te maken en om 5 jaarlijks actieplannen te ontwikkelen. Hierbij maakt men gebruik van Europese indicatoren, namelijk het dag-avond-nachtniveau L_{den} en het nachtniveau L_{night}.
De kenmerkende grootheid voor het buitengeluid is het geluiddrukniveau van het geluidveld dat op de gevel invalt, kortweg de gevelbelasting met als symbool $L_{1,in}$ [dB ref. 2.10-5 Pa].
Deze gevelbelasting $L_{1,in}$ is het geluiddrukniveau van de invallende geluidgolf of van een combinatie van invallende geluidgolven, bijvoorbeeld uit verschillende richtingen, voor een uitgestrekte geluidbron, na reflecties op gebouwen in de omgeving, ... Geluidgolven die niet op de gevel invallen, maar door de gevel zelf gereflecteerd worden en weg van de gevel bewegen, dragen niet bij tot de gevelbelasting $L_{1,in}$. Dit betekent dat

bij metingen op 2m van een gevel een correctie van 3 dB is toe te passen om het gereflecteerde geluid te annuleren.
Voor geluidsniveaus gemeten op 2 m voor de gevel, dus met inbegrip van de reflectie van de gevel, wordt het symbool $L_{1,2\ m}$ gebruikt.
Deze Europese indicatoren betreffen aldus enkel het invallende geluidveld, zonder reflecties van de gevel van het woongebouw. Deze geluidniveaus zijn steeds gemiddelde A-gewogen geluidsdrukniveaus bepaald over een lange termijn (jaar), als gedefinieerd in ISO 1996-2 :1987. Men definieert hierbij:

- L_{day} of L_d (dB): het A-gewogen gemiddelde geluidsdrukniveau over lange termijn, vastgesteld over alle dagperioden van een jaar, waarbij de dagperiode 12 uren beslaat. De standaardperiode is van 07.00-19.00 uur
- $L_{evening}$ of L_e (dB): het A-gewogen gemiddelde geluidsdrukniveau over lange termijn, vastgesteld over alle avondperioden van een jaar, waarbij de avondperiode 4 uren beslaat. De standaardperiode is van 19.00-23.00 uur
- L_{night} of L_n (dB): het A-gewogen gemiddelde geluidsdrukniveau over lange termijn, vastgesteld over alle nachtperioden van een jaar, waarbij de nachtperiode 8 uren beslaat. De standaardperiode is van 23.00-07.00 uur.
- L_{den} (dB): het A-gewogen gemiddelde geluidsdrukniveau over lange termijn, vastgesteld over de dag-, avond- en nachtperioden van een jaar, waarbij voor de avond en nacht straffactoren van respectievelijk 5 dB en 10 dB worden opgeteld:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} (12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}) \qquad \text{(dB(A))}$$

Volgens de norm ISO 1996-2 :1987 zijn deze waarden bij metingen te bepalen op een hoogte tussen 3 en 11m boven het maaiveld. Voor de berekeningen van de strategische geluidskaarten worden de waarden van L_{den} en L_{night} bepaald op 4 m hoogte. Voor andere doeleinden mogen volgens bijlage I van richtlijn 2002/49/EG ook andere waarneemhoogtes gebruikt worden, maar nooit minder dan 1,5 m boven de grond.

4.2.2 Grootheden van de huidige Belgische norm NBN S 01-400-1 (2008)

4.2.2.1 Gebruikte grootheden

In de huidige Belgische norm NBN S 01-400-1 (jan 2008) 'Akoestische criteria voor woongebouwen' gebruikt men voor de karakterisering van het omgevingslawaai grootheden gebaseerd op het A-gewogen equivalente geluidsdrukniveau buiten, namelijk L_{Aref} en L_A (in dB(A)) en een grootheid gebaseerd op de maximale waarde van het geluidsdrukniveau buiten $L_{Aeq,1s,max,T}$ (in dB(A)).

De grootheid **L_{Aref}** wordt bepaald uit metingen in een referentiemeetpunt buiten op 2 m hoogte boven het maaiveld en op 2 m loodrechte afstand van het midden van de akoestisch meest belaste gevel van het gebouw waarin de te beschermen ruimte gelegen is.
Ze is gelijk aan de grootste van de volgende twee meetwaarden :

- Het A-gewogen equivalent geluiddrukniveau $L_{Aeq,T}$ van het omgevingslawaai over een tijdsinterval T van minstens 30 minuten gemeten op een tijdstip tussen 06 u 's morgens en 22 u 's avonds dat representatief is voor de mogelijke hinder door het omgevingslawaai;

- Het met 5 dB vermeerderde A-gewogen equivalent geluiddrukniveau $L_{Aeq,T}$ van het omgevingslawaai over een tijdsinterval T van minstens 30 minuten gemeten op een tijdstip tussen 22 u 's avonds en 06 u 's morgens dat representatief is voor de mogelijke hinder door het omgevingslawaai.

Voor de bepaling van de waarden van deze grootheid geldt:
- Ofwel wordt gemeten zoals hierboven op 2 m van een gebouw. In dat geval is L_{Aref} de meetwaarde (inclusief gevelreflecties).
- Ofwel wordt gemeten op het naakte terrein in een meetpunt op 2 m hoogte boven het maaiveld en op 2 m loodrechte afstand voor het midden van de akoestisch meest belaste gevel van het toekomstige gebouw waarin de woning zich zal bevinden. L_{Aref} is dan gelijk aan de met 3 dB verhoogde meetwaarde.
- Ofwel wordt de waarde afgeleid uit de typebeschrijving van de verkeersweg volgens bijlage A van de norm (enkel geldig voor wegverkeerslawaai).

De grootheid **L_A** is een A-gewogen grootheid, die voor elk gevelvlak van de te beschermen ruimte uit de grootheid L_{Aref} berekend wordt via de methode in de informatieve bijlage B die rekenregels geeft. Deze bijlage zegt ook dat voor het ontwerp de waarde voor L_A voor de verschillende gevelvlakken ook via andere berekeningsmethoden kan afgeleid worden, maar zegt niet hoe.

De grootheid **$L_{Aeq,1s,max,T}$** (in dB(A)) is de maximale waarde van alle $L_{Aeq,1s}$-waarden die gemeten worden gedurende een meetperiode T. De $L_{Aeq,1s}$-waarden worden hierbij gemeten over aaneensluitende 1s intervallen gedurende de meetperiode T. In de toepassing van een nachtelijk isolatiecriterium uit de norm wordt dit maximaal geluidsdrukniveau bepaald bij nachtelijke lawaaibelasting ten gevolge van regelmatig vliegtuig- of spoorverkeer tussen 22 u 's avonds en 06 u 's morgens en dit in een vrij te kiezen meetpunt op 2 m buiten voor het gevelvlak van een slaapkamer.

4.2.2.2 Beoordeling van deze grootheden

Deze grootheden verschillen duidelijk van de Europese indicatoren en dit op verschillende vlakken. Terwijl de Europese indicatoren gebaseerd zijn op jaargemiddelde waarden, zijn deze grootheden bepaald aan de hand van een meting die beperkt is in tijdsduur, of afgeleid van een typebeschrijving. Dit laatste is echter enkel mogelijk voor wegverkeer en de grootheid L_{Aref}.
In tegenstelling met de Europese indicatoren gaan deze grootheden ook uit van een geluidsdrukniveau gemeten op 2m van de gevel, inclusief gevelreflecties. Wanneer ze bepaald worden op het naakte terrein is er een factor van 3 dB toe te voegen om rekening te houden met de gevelreflecties.

Hieronder worden een aantal beperkingen, onduidelijkheden en niet eenduidige eigenschappen gegeven van deze grootheden:
- Indien de lengte van een gebouw groter is dan 20m is het gebouw op te delen en dient de grootheid L_{Aref} bepaald te worden voor elk deelgebouw waarvan de lengte van de gevel kleiner of gelijk is aan 20 m. Voor een grote site betekent dit heel wat metingen indien niet wordt uitgegaan van de informatieve bijlage. Ook moet voor elk deelgebouw kunnen bepaald worden wat de meest belaste gevel is van het deelgebouw.

- Bij het bepalen van L_{Aref} en $L_{Aeq,1s,max,T}$ uit metingen wordt niet aangegeven wat een representatieve periode is. Afhankelijk van het tijdstip van de dag of nacht kan dit tot andere resultaten leiden.
- De norm geeft aan dat een waarde van L_{Aref} die afgeleid wordt van de typebeschrijving van de verkeersweg volgens informatieve bijlage A van de norm het minst nauwkeurig is, maar maakt verder geen onderscheid. Beide methodes kunnen gebruikt worden wat kan leiden tot verschillen afhankelijk van de gebruikte methode. Ook zijn het aantal typebeschrijvingen beperkt tot 4 met intervallen van 5 dB of meer tussen de verschillende types wat leidt tot grotere onnauwkeurigheden. Daarenboven geven deze typebeschrijvingen ook niet op welke afstand de gebouwen gelegen zijn van de rijwegen. Ze maken geen onderscheid tussen woningen kort of ver van de straat, open of gesloten bebouwing, …
- De grootheid $L_{Aeq,1s,max,T}$ kan enkel gemeten worden. Afhankelijk van de nacht dat er gemeten wordt kan dit andere resultaten geven.
- De norm zegt ook dat de grootheid $L_{Aeq,1s,max,T}$ vast te stellen is in een vrij te kiezen meetpunt op 2m buiten voor het gevelvlak van een slaapkamer. Dit is onduidelijk omdat er zogezegd aan elke slaapkamer moet gemeten worden.
- De norm gaat er van uit dat de meest belaste gevel zich op 2m boven het maaiveld bevindt.
- De waarde van L_A voor elk gevelvlak wordt bepaald volgens de normatieve bijlage B van de norm. Deze bijlage geldt enkel voor eenvoudige verkeersassen en voor een aantal standaardsituaties. Wanneer in het ontwerp de situatie akoestisch te sterk afwijkt en niet teruggebracht kan worden tot één van deze situaties in deze bijlage, zal bij nieuwbouw een alternatieve deskundige berekening zelfs noodzakelijk zijn en bij renovaties dient dan de L_A –waarde gemeten te worden.
- L_A dient enkel bepaald te worden voor elk gevelvlak. Een deel van eenzelfde gevelvlak dat vlak bij de weg ligt en een deel van hetzelfde gevelvlak dat minder dan 20m verder ligt krijgt hierbij dezelfde waarde. Ook is er geen verschil in functie van de hoogte van het gevelvlak.

Voorgaande aspecten hebben als gevolg dat de waarde van de grootheden voor de bepaling van het buitenlawaai niet eenduidig zijn en dus tot verschillende resultaten kunnen leiden afhankelijk van de werkwijze en het ogenblik van metingen (indien uitgegaan wordt van metingen). Daarbij kunnen de resultaten ook soms vrij onnauwkeurig zijn afhankelijk van de werkwijze en/of interpretatie.

4.2.3 Grootheden van Belgische ontwerpnorm prNBN S 01-400-1:2019

In het voorstel voor de nieuwe Belgische ontwerpnorm prNBN S 01-400-1:2019 ‘Akoestische criteria voor woongebouwen’ worden; voor de karakterisering van het buitenlawaai, verscheidene grootheden gebruikt die hieronder worden toegelicht. Ook hier worden grootheden gebruikt gebaseerd op het A-gewogen equivalente geluidsdrukniveau buiten, namelijk L_{Aref} en L_A (in dB(A)) en een grootheid gebaseerd op de maximale waarden van het geluidsdrukniveau buiten $L_{Aeq,1s,max,passage}$ (in dB(A)). De definities van deze grootheden verschillen echter van deze van de huidige norm.

4.2.3.1 Gebruikte grootheden

Grootheden L_{Aref}

In het ontwerp van nieuwe norm wordt een andere grootheid voor het buitenlawaai gebruikt voor de dag en de nacht:

- De grootheid $L_{Aref,day}$ is het A-gewogen equivalent geluiddrukniveau $L_{Aeq,Tm}$ van het wegverkeerslawaai over een tijdsinterval T_m van minstens 30 minuten gemeten op een tijdstip tussen 07 u en 23 u dat representatief is voor de mogelijke hinder door het wegverkeerslawaai overdag, bepaald uit metingen in een referentiemeetpunt buiten op 2 m loodrechte afstand van het midden van het akoestisch meest belaste gevelvlak.
- De grootheid $L_{Aref,night}$ is het A-gewogen equivalent geluiddrukniveau $L_{Aeq,Tm}$ van het wegverkeerslawaai over een tijdsinterval T_m van minstens 30 minuten gemeten op een tijdstip tussen 23u en 07 u dat representatief is voor de mogelijke hinder door het wegverkeerslawaai 's nachts, bepaald uit metingen in een referentiemeetpunt buiten op 2 m loodrechte afstand van het midden van het akoestisch meest belaste gevelvlak.

Net zoals in de huidige norm worden ze :
- Ofwel gemeten op 2 m boven het maaiveld en op 2 m van een gebouw. In dat geval is L_{Aref} de meetwaarde (inclusief gevelreflecties).
- Ofwel gemeten op het naakte terrein in een meetpunt op 2 m hoogte boven het maaiveld en op 2 m loodrechte afstand voor het midden van de akoestisch meest belaste gevel van het toekomstige gebouw waarin de woning zich zal bevinden. L_{Aref} is dan gelijk aan de met 3 dB verhoogde meetwaarde.
- Ofwel afgeleid uit de typebeschrijving van de verkeersweg volgens bijlage B van de norm (enkel geldig voor wegverkeerslawaai).

Grootheden L_A

De grootheid $L_{A,day}$ is het A-gewogen equivalent geluiddrukniveau $L_{Aeq,Tm}$ van het omgevingslawaai geëvalueerd in een meetpunt op 2 m loodrechte afstand vóór het midden van een gevelvlak op een tijdstip tussen 07 u en 23 u dat representatief is voor de mogelijke hinder door het omgevingslawaai overdag. Het kan ofwel gemeten worden over een tijdsinterval T_m van minstens 30 minuten, ofwel berekend worden in een specifieke akoestische studie.

De grootheid $L_{A,night}$ is het A-gewogen equivalent geluiddrukniveau $L_{Aeq,Tm}$ van het omgevingslawaai 's nachts, geëvalueerd in een meetpunt op 2 m loodrechte afstand vóór het midden van een gevelvlak op een tijdstip tussen 23 u en 07 u dat representatief is voor de mogelijke hinder door het omgevingslawaai 's nachts. Het kan ofwel gemeten worden over een tijdsinterval T_m van minstens 30 minuten, ofwel berekend worden in een specifieke akoestische studie.

Wanneer wegverkeerslawaai het omgevingslawaai domineert, kunnen de waardes voor $L_{A,day}$ en $L_{A,night}$ uit $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ uit de bepalingen in de informatieve bijlage C afgeleid worden.

Belangrijk is dat er een verschil is tussen deze grootheden $L_{A,day}$ en $L_{A,night}$ van deze NBN norm en de Europese indicatoren L_{day} en L_{night}. Onder meer omwille van het feit dat de geluidbelasting ten gevolge van verkeerslawaai varieert over een etmaalperiode van 24u, dat deze grootheden tijdens andere periodes bepaald worden en dat de Europese indicatoren op 4m hoogte bepaald worden in tegenstelling tot deze van de norm (2m) is er geen eenduidig verband tussen beide grootheden.

Toch geeft de norm aan op welke manier deze indicatoren van de norm benaderend kunnen bepaald worden uit de Europese geluidbelastingsindicatoren (zie de informatieve bijlage D van de ontwerpnorm). Dit geldt enkel in situaties waar verkeerslawaai de dominante bron is voor het omgevingslawaai.
Volgens deze bijlage gelden onderstaande relaties afgeleid uit een specifiek onderzoeksrapport opgenomen als bibliografische referentie in de ontwerpnorm prNBN S01-400-1:2019.[4]

Voor $L_{A,day}$ (waarbij een bijdrage ten gevolge van de gevelreflectie van 3 dB wordt verondersteld):

- Uitgaande van L_{day}: $L_{A,day} = L_{day} + 1\ dB + 3\ dB$
- Uitgaande van L_{den}:
  - Voor wegverkeerslawaai en luchtverkeerslawaai: $L_{A,day} = L_{den} - 1\ dB + 3\ dB$
  - Voor spoorverkeerslawaai: $L_{A,day} = L_{den} - 5\ dB + 3\ dB$

Voor $L_{A,night}$ (waarbij een bijdrage ten gevolge van de gevelreflectie van 3 dB wordt verondersteld):

- Uitgaande van L_{night}: $L_{A,night} = L_{night} + 5\ dB + 3\ dB$

Grootheid $L_{Aeq,1s,max,passage}$
De grootheid **$L_{Aeq,1s,max,passage}$** (in dB(A)) is de maximale waarde van alle $L_{Aeq,1s}$-waarden die gemeten worden gedurende de passage van een voertuig (tram, trein, bus, vliegtuig, …). De $L_{Aeq,1s}$-waarden worden hierbij gemeten over aaneensluitende 1s intervallen gedurende de volledige passage.
Deze norm definieert ook **$L_{Amax,3x,night}$** zijnde het maximale geluiddrukniveau $L_{Aeq,1s,max,passage}$, gemeten in een meetpunt op 2m loodrechte afstand vóór het midden van het gevelvlak van een slaapkamer, veroorzaakt door de passage van een voertuig (tram, trein, bus, vliegtuig, …), dat minstens drie maal per nacht (tussen 23 u en 07 u) gedurende minstens één nacht per week overschreden wordt.

4.2.3.2 Beoordeling van deze grootheden

Deze grootheden verschillen eveneens van de Europese indicatoren. De norm laat wel toe ook de Europese grootheden te gebruiken maar dan zijn deze om te vormen, via enkele benaderende formules. Deze formules kunnen gebruikt worden ondanks het feit dat de Europese indicatoren gebaseerd zijn op jaargemiddelde waarden, terwijl de grootheden van de norm bepaald worden aan de hand van een meting die beperkt is in tijdsduur, of afgeleid van een typebeschrijving. Dit laatste is echter enkel mogelijk voor wegverkeer en de grootheid $L_{Aref,day/night}$. Daarenboven, in tegenstelling met de Europese indicatoren, gaan deze grootheden ook uit van een geluidsdrukniveau gemeten op 2m van de gevel, inclusief gevelreflecties. (wanneer ze bepaald worden op het naakte terrein is er een factor van 3 dB toe te voegen om rekening te houden met de gevelreflecties).

Ook hier kunnen, net zoals voor de huidige norm, ook een aantal beperkingen, onduidelijkheden en niet eenduidige eigenschappen geformuleerd worden die van toepassing zijn op deze grootheden:

[4] Zie hiervoor ook Brink, Schäffer, Pieren, Wunderli. Conversion between noise exposure indicators L_{eq24h}, L_{Day}, $L_{Evening}$, L_{Night}, L_{dn}, and L_{den}: Principles and practical guidance. International Journal of Hygiene and Environmental Health 221 (2018) 54-63

- Indien de lengte van een gebouw groter is dan 20m is het gebouw op te delen en dient de grootheid L_{Aref} bepaald te worden voor elk deelgebouw waarvan de lengte van de gevel kleiner of gelijk is aan 20 dB. Voor een grote site betekent dit heel wat metingen indien niet wordt uitgegaan van de informatieve bijlage C (ter info: in de NBN S01-400-1:2008 waren deze rekenschema's opgenomen in een 'normatieve' bijlage). Ook moet voor elk deelgebouw kunnen bepaald worden wat de meest belaste gevel is van het deelgebouw.
- Bij het bepalen van $L_{Aref,day/night}$, $L_{A,day/night}$ uit metingen wordt niet aangegeven wat een representatieve periode is. Afhankelijk van het tijdstip van de dag of nacht kan dit tot andere resultaten leiden.
- Ook hier worden dezelfde typebeschrijvingen gegeven om $L_{Aref,\ day/night}$ bij wegverkeerslawaai via informatieve bijlage B van de norm af te leiden waarbij gezegd wordt dat dit de minst nauwkeurig methode is, maar verder maakt men geen onderscheid met andere methodes. Beide methodes kunnen gebruikt worden wat kan leiden tot verschillen afhankelijk van de gebruikte methode. Ook zijn het aantal typebeschrijvingen beperkt tot 4 met intervallen van 5 dB of meer tussen de verschillende types wat leidt tot grotere onnauwkeurigheden. Daarenboven geven deze typebeschrijvingen ook niet op welke afstand de gebouwen gelegen zijn van de rijwegen. Ze maken geen onderscheid tussen woningen kort of ver van de straat, open of gesloten bebouwing, …
- Er wordt in de norm ook niet aangegeven hoelang er dient gemeten te worden om $L_{Amax,3x,night}$ te bepalen.
- Ook hier zegt de norm dat $L_{Amax,3x,night}$ te bepalen is in een meetpunt op 2m buiten voor het midden van het gevelvlak van een slaapkamer. Dit is het onduidelijk of dit voor elk gevelvlak van elke slaapkamer dient te gebeuren.
- In deze nieuwe norm wordt $L_{Aeq,1s,max,passage}$ en dus ook $L_{Amax,3x,night}$ veroorzaakt door de passage van een voertuig waarbij dit een tram, trein, bus, vliegtuig, … kan zijn.
- $L_{Aday/night}$ dient enkel bepaald te worden voor elk gevelvlak. Een deel van eenzelfde gevelvlak dat vlak bij de weg ligt en een deel van hetzelfde gevelvlak dat minder dan 20m verder ligt krijgt hierbij dezelfde waarde. Ook is er geen verschil in functie van de hoogte van het gevelvlak.
- De norm laat toe te vertrekken van de Europese indicatoren en deze om te rekenen naar de grootheden van de norm. Dit blijft een benaderende relatie die gemiddeld wel beperkt zal afwijken, maar geval per geval toch grote verschillen kan geven (zie cases).

Voorgaande aspecten hebben als gevolg dat de waarde van de grootheden voor de bepaling van het buitenlawaai niet eenduidig zijn en dus tot verschillende resultaten kunnen leiden afhankelijk van de werkwijze en het ogenblik van metingen (indien uitgegaan wordt van metingen). Daarbij kunnen de resultaten ook soms vrij onnauwkeurig zijn afhankelijk van de werkwijze en/of interpretatie

4.2.4 Ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift

4.2.4.1 Gebruikte grootheden

In het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift worden de Europese indicatoren **L_{day}** en **L_{night}** gebruikt zoals hoger gedefinieerd. Daarenboven wordt ook gebruik gemaakt van de grootheden **$L_{Amax,5x,23-07u}$** en **$L_{Amax,1x,23-07u}$**.
Voor spoorverkeer wordt het 5x overschrijdingsniveau $L_{Amax,5x,23-07u}$ bepaald voor nachten die representatief zijn voor de nachtelijke belasting door spoorverkeer.
Voor luchtverkeer worden de 5x en 1x overschrijdingsniveaus $L_{Amax,5x,23-07u}$ en $L_{Amax,1x,23-07u}$ bepaald voor nachten met vliegbewegingen die representatief zijn voor vliegbewegingen die jaarlijks minstens 5% van de tijd voorkomen. De waarden worden voor de situatie van de luchthaven Brussel-Nationaal praktisch bepaald als de

hoogste waarden van een berekening van het 1x en 5x overschrijdingsniveau tijdens een jaargemiddelde weeknacht (ma, di, woe en do-nacht), onder respectievelijk hoofdbaangebruik en alternatief baangebruik.

De geluidbelasting uitgedrukt in L_{day}, L_{night} en het nx overschrijdingsniveau $L_{Amax,nx,23\text{-}07u}$ worden, in tegenstelling tot de evaluatie van de gevelbelasting in de NBN S01-400-1:2008, geëvalueerd als 'invallend geluid' op de meest belaste gevel van de te beschermen dag- of nachtruimte (vrije veld condities, dus zonder invloed van de aanwezigheid van de gevel).

4.2.4.2 Beoordeling van deze grootheden

De Europese indicatoren L_{day} en L_{night} die gebruikt worden, worden in tegenstelling met de grootheden van de bovenstaande NBN normen ook internationaal gebruikt en zijn als zodanig ook eenduidig gedefinieerd in internationale normen.
Zij kunnen ook eenduidig bepaald worden aan de hand van metingen over een periode, maar ze zijn dan in principe enkel geldig voor deze meetperiode. Deze waarden kunnen dan ook afwijken van de gemiddelde waarden die over een periode van 1 jaar vastgesteld worden.
Rekenprogramma's maken eveneens gebruik van deze grootheden, wat niet het geval is voor de grootheden van de NBN normen.

4.2.5 Andere grootheden

Er zijn nog tal van andere grootheden gangbaar die het buitengeluid karakteriseren. Hier wordt niet verder op ingegaan en wordt verwezen naar de literatuurstudie van deel 1.

4.3 AKOESTISCHE GEVELISOLATIE

Met een geschikte gevelisolatie kan het buitengeluid dat binnendringt in een verblijfsruimte van een woongebouw gereduceerd worden tot een bepaalde waarde (binnengeluid).
Om een aanvaardbaar geluidsdrukniveau binnen te realiseren, afkomstig van het buitengeluid, kunnen er eisen opgelegd worden aan:

- het maximaal toegelaten geluidsdrukniveau binnen
- de geluidsreductie tussen buiten en binnen
- de geluidsisolatie van de gevel of gevelvlak

De grootheden die hiervoor gebruikt zijn verschillend. Voor de eerste eis wordt er een grootheid gekozen die geluidsdrukniveau binnen karakteriseert en hieraan wordt een maximale waarde opgelegd die niet mag overschreden worden. In het tweede geval wordt een eis opgelegd aan het verschil tussen het buitengeluid en het binnengeluid. In het laatste geval stelt men dat de gevel of een gevelvlak een welbepaalde geluidsisolatie moet hebben. Het betreft dan bijgevolg een isolatieprestatie-eis voor de gevelschil of zijn samenstellende elementen (uitgedrukt in R'_w, met verwijzing naar het begrippenkader onder hoofdstuk 3 van deel 1).
Zowel de NBN S01-400-1: 2008 als prNBN S01-400-1: 2019 en het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift leggen eisen op aan de geluidsreductie tussen buiten en binnen, in toepasselijke normering gedefinieerd als : "geluidsdrukniveauverschil".

Een kenmerkende grootheid voor de gevelisolatie die internationaal gebruikt wordt is het gestandaardiseerde geluidsdrukniveauverschil $D_{2m,nT}$ tussen buiten en binnen:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10\lg\frac{T}{T_0}$$

Met:

- $L_{1,2m}$: het geluiddrukniveau gemeten op 2 m loodrechte afstand van het centrum van het gevelvlak (dB)
- L_2 : het gemiddelde geluiddrukniveau in de verblijfsruimte (dB)
- T : de nagalmtijd in de verblijfsruimte in seconden (s)
- T_0 : de referentienagalmtijd in seconden (s) = 0.5s voor verblijfsruimten van woongebouwen.

Bij deze grootheid wordt uitgegaan van het geluidsdrukniveau bepaald op 2 m van het gevelvlak, dus inclusief gevelreflecties, in tegenstelling met de gevelbelasting en de Europese indicatoren die uitgaan van het invallend geluidsdrukniveau op het gevelvlak.

Het gestandaardiseerde geluidsdrukniveauverschil tussen buiten en binnen wordt meestal bepaald in tertsbanden van 100 Hz tot en met 3150 Hz. Er is ook meer en meer de tendens om dit te verlagen tot de tertsbanden van 50 Hz tot en met 3150 Hz. Om meer eenvoudige berekeningen mogelijk te maken worden de waarden bij deze tertsbanden meestal omgerekend naar een ééngetalsaanduiding. De procedure hiervoor is bepaald in de norm NBN EN ISO 717-1 : (2013) 'Akoestiek - Eengetal-aanduiding voor de geluidisolatie in gebouwen en van bouwelementen - Deel 1: Luchtgeluidisolatie'. Is dit het geval dan voegt men de letter 'w' (van weighted) toe aan de grootheid.
Dan wordt deze grootheid $D_{2m,nT,w}$ genoemd, zijnde het volgens NBN EN ISO 717-1: 2013 gewogen gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil tussen buiten en binnen.

De geluidsenergie van het buitengeluid is niet gelijk bij de verschillende frequenties. Ook de geluidsenergie die door een constructie doorgelaten wordt is niet gelijk bij de verschillende frequenties. De globale luchtgeluidisolatie van een gevelvlak wordt aldus ook bepaald door het spectrum van de geluidsbron. Een geluidsbron met eenzelfde geluidsdrukniveau aan de gevel maar met een verschillend spectrum zal dan ook een ander binnengeluid geven. Om hiermee rekening te houden worden de spectrale aanpassingstermen C (spectrum 1) en C_{tr} (spectrum 2) gebruikt. Deze houden rekening met de specifieke spectra van de bronnen en worden beschreven in de reeds vernoemde norm NBN EN ISO 717-1: 2013
In principe dient de aanpassingsterm C gebruikt te worden voor volgende geluidsbronnen (spectrum 1):

- Activiteiten in de woning (spraak, muziek, radio, televisie)
- Spelende kinderen
- **Spoorwegverkeer, bij gemiddelde en hoge snelheden**
- **Wegverkeer, op snelwegen bij hoge snelheden > 80 km/u**
- **Straalvliegtuigen, op korte afstanden**
- Bedrijven die vooral midden- en hoogfrequent geluid uitstralen

De aanpassingsterm C_{tr} is te gebruiken voor onderstaande bronnen (spectrum 2):

- **Wegverkeer in de stad**
- **Spoorwegverkeer, bij lage snelheden**

- **Schroefvliegtuigen**
- **Straalvliegtuigen, op grote afstanden**
- Muziek in discotheken
- Bedrijven die vooral laagfrequent geluid uitstralen

In praktijk gebruiken de meeste normen en regelgevingen echter enkel de C_{tr} correctie en dit voor alle soorten verkeerslawaai: wegverkeerslawaai, treinverkeerslawaai, vliegverkeerslawaai. Dit wordt geïmplementeerd door de grootheid $D_{2m,nT,w}$ aan te passen met deze C_{tr}-correctie:

$$D_{Atr} = D_{2m,nT,w} + C_{tr}$$

D_{Atr} (dB) is dan een ééngetalsaanduiding die het gewogen, gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil voor een gevelvlak met het typespectrum voor wegverkeerslawaai volgens NBN EN ISO 717-1: 2013 geeft.

Zowel de NBN S01-400-1: 2008 als prNBN S01-400-1: 2019 en het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift leggen eisen op aan deze grootheid. Deze eisen worden in volgende paragraaf behandeld.

Opmerking:
In Nederlandse norm NEN5077 gebruikt men als grootheid $G_{A,k}$ of de karakteristieke geluidwering van de uitwendige scheidingsconstructie Dit is gelijk aan een genormaliseerd verschil tussen invallend geluid (zonder gevelreflectie) en het binnenniveau. Dit verschilt met bovenstaande D_{Atr}-waarde waar het buitenniveau op 2 m voor de gevel in beschouwing wordt genomen, dus inclusief gevelreflectie.

4.4 EISEN AKOESTISCHE GEVELISOLATIE

Om te kunnen garanderen dat het buitengeluid voldoende gereduceerd wordt naar de binnenruimtes dienen isolatiecriteria opgelegde te worden aan de D_{Atr}-waarde. Deze criteria worden op een andere manier vastgelegd in de huidige NBN S01-400-1:2008, in de ontwerpnorm prNBNS S01-400-1:2019 en in het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift.

4.4.1 De huidige norm NBN S01-400-1 (2008)

De huidige norm NBN S01-400-1 'Akoestische criteria voor woongebouwen' van 2008 beschrijft de eisen inzake gevelisolatie, lucht- en contactgeluidisolatie, installatielawaai en ruimteakoestiek in woongebouwen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen een "normaal comfort" en een "verhoogd comfort". De eisen voor een normaal akoestisch comfort zijn er op gericht om 70% van de bewoners tevredenheid te verschaffen. Bij de eisen voor een verhoogd akoestisch comfort wordt dit opgetrokken tot meer dan 90% van de bewoners.

Deze norm is van toepassing op woningen, gedefinieerd als het geheel van aansluitende ruimten dat normaal alleen toegankelijk is voor de eigen bewoners. Onder deze definitie wordt de gebruikelijke interpretatie van het begrip woning begrepen en dus bijvoorbeeld niet hotels, ziekenhuiskamers, rusthuizen enz…
De norm legt eisen op aan de D_{Atr}-waarde van een gevelvlak afhankelijk van L_A (zie §4.2.2.1):

Eisen met betrekking tot de gevelisolatie		
	Normaal akoestisch comfort	**Verhoogd akoestisch comfort**
Woonkamer, keuken, studeerruimte en slaapkamer	$D_{Atr} \geq L_A - 34 + m$ dB (1) $D_{Atr} \geq 26$ dB	$D_{Atr} \geq L_A - 30 + m$ dB (1) $D_{Atr} \geq 30$ dB
Slaapkamer	$D_{Atr} \geq 34 + m$ dB (1) (2)	

(1) de waarde van m bedraagt 3 dB indien er nog een tweede gevelvlak uitgeeft op het lokaal en wanneer de geluidsniveaus voor de beide gevelvlakken meer dan 60 dB(A) bedragen én waarbij beide gevelvlakken minstens één gevelelement met geluidverzwakkingsindex R_{Atr} < 48 dB bevatten. In alle andere gevallen is m = 0 dB.

(2) de eis (2) geldt enkel voor slaapkamers waarbij er 's nachts tussen 22 u en 6u een lawaaibelasting (gemeten op 2 m van de gevel) is van regelmatig vliegtuig- of spoorverkeer en waarbij er tijdens deze periode geluidsniveaus optreden van $L_{Aeq,1s,max,T} \geq 70$dB die minstens 3x per nacht gedurende minstens 1 nacht per week worden bereikt.

Tabel 2: Criteria gevelisolatie NBN S01-400-1: 2008

Hieronder wordt gegeven wat dit betekent voor normaal akoestisch comfort (voor- en nadelen):

- De eisen voor D_{Atr} zijn geformuleerd per gevelvlak van de te beschermen ruimte. Het gevolg hiervan is dat, indien de gevel van de te beschermen ruimte uit meerdere gevelvlakken bestaat, er niet steeds een eenduidig verband aanwijsbaar is tussen de kenmerkende grootheid ter karakterisering van het buitenlawaai (L_A per gevelvlak) en het optredende binneniveau. Met de verplichte toepassing van aanpassingsterm m (= 3 dB) in situaties waarbij de gevel van een lokaal nog een 2de gevelvlak bevat met een significante blootstelling (≥ 60 dB(A)) en minstens één zwak gevelelement bevat (≤ 48 dB), wordt hieraan in zekere mate tegemoet gekomen.
- De eisen zijn enkel geldig voor woonkamers, keukens, studeerruimtes en slaapkamers. Voor andere ruimtes bestaan er geen eisen (badkamer, inkom, nachthal, berging, toilet, …). Naar deze lokalen moet het buitenlawaai niet gereduceerd worden.
- Voor waarden van $L_A \leq 60$ dB is er steeds een minimale gevelisolatie van 26 dB voor elk gevelvlak van elk lokaal ongeacht het de waarde van L_A. In geval van pieklawaai (afkomstig van treinen of vliegtuigen, dat 's nachts minstens 3x 70 dB(A) of meer geeft aan de gevel (en minstens 1x per week voorkomt)) wordt dit voor elk gevelvlak van slaapkamers verhoogd tot 34 dB, onafhankelijk van de waarde van dit pieklawaai. Het gevolg is dat:
    - Bij meerdere gevelvlakken van een te beschermen ruimte die blootgesteld staan aan eenzelfde geluidsbron zal het geluidsdrukniveau binnen dan ook hoger worden (3 dB hoger bij 2 gevelvlakken), dan in situaties waarbij de gevel slechts uit één gevelvlak bestaat. Zijn er bijvoorbeeld 2 gevelvlakken en een dakvlak naar een slaapkamer dan wordt het binnenniveau al 4.8 dB hoger.
    - Bij pieklawaai wordt de minimale eis voor de gevel van de slaapkamer 8 dB strenger. Hierdoor zullen ook de andere geluiden met 8 dB meer gereduceerd worden.
- Wanneer het geluidsdrukniveau L_A dat buiten op 2m van het gevelvlak optreedt, dus inclusief gevelreflecties, zal dit tijdens een voor de hinder representatief deel van de dagperiode, of nachtperiode indien het geluidsniveau tijdens het beschouwde deel van de nachtperiode meer dan 5 dB hoger is, gereduceerd worden tot 34 dB(A) in het geval van één gevelvlak of tot 31 dB(A) voor elk van beide gevelvlakken indien er 2 gevelvlakken zijn (samen 34 dB(A)). Voor meerdere gevelvlakken wordt er niets vermeld. Bij 2 gevelvlakken moet elk gevelvlak dezelfde reductie geven, ongeacht een eventueel verschillende L_A aan dit gevelvlak. Dit kan leiden tot hoge geluidsisolaties voor gevelvlakken waar dit niet echt nodig is.

- Door het feit dat de referentiewaarde (L_{Aref}) bepaald wordt als het hoogste van ofwel het A-gewogen equivalent geluiddrukniveau van het omgevingslawaai tijdens de dag of het A-gewogen equivalent geluiddrukniveau van het omgevingslawaai tijdens de nacht vermeerderd met 5 dB geeft dit voor het binnenniveau:
    - Als het geluiddrukniveau nacht = geluiddrukniveau dag – 5 dB →binnenniveau = 34dB tijdens dag en =29dB tijdens nacht.
    - Als geluiddrukniveau nacht > geluiddrukniveau dag – 5 dB → binnenniveau < 34dB tijdens dag en =29dB tijdens nacht.
    - Als geluiddrukniveau nacht < geluiddrukniveau dag – 5 dB → binnenniveau = 34 dB tijdens dag en <29dB tijdens nacht.
- Voor slaapkamers wordt er een bijkomende eis opgelegd. Dit is het geval bij pieklawaai afkomstig van treinen of vliegtuigen, dat 's nachts minstens 3x 70 dB(A) of meer geeft aan de gevel (en minstens 1x per week voorkomt). Dan moet het gevelvlak naar slaapkamers ook bijkomend minstens 34 dB geluidsisolatie garanderen ongeacht de waarde van dit pieklawaai. Deze eis is strenger wanneer L_A < 68 dB. Voor hogere waarden van L_A is deze eis bij pieklawaai gelijk of minder streng en zouden piekgeluiden niet meer bepaald moeten worden.

In toepassing van het huidige MER-richtlijnenboek voor de discipline Geluid en Trillingen worden, bij milderende maatregelen in de vorm van gevelisolatie, de NBN-eisen voor 'verhoogd comfort' gevraagd. In dat geval worden de eisen 4 dB strenger (behalve voor pieklawaai in slaapkamers). Het binnenniveau wordt hierdoor met 4 dB verlaagd ten opzichte van normaal comfort.

4.5 NORMONTWERP PRNBN S01-400-1 (2019)

Ook het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) " Akoestische criteria voor woongebouwen" beschrijft de eisen inzake gevelisolatie, lucht- en contactgeluidisolatie, installatielawaai en ruimteakoestiek in woongebouwen. In dit normvoorstel worden 3 akoestische prestatieniveaus gedefinieerd (A, B en C), waarbij klasse A de hoogste akoestische bescherming biedt. Wat de gevelisolatie betreft worden klasse A en B samengevoegd. Klasse C is het minimaal vereiste prestatieniveau.

Deze norm geeft specifiek aan dat:

- deze van toepassing is op woningen die niet afhankelijk zijn van gemeenschappelijke keukens en niet afhankelijk zijn van gemeenschappelijke sanitaire ruimten (hieronder vallen bv. ook assistentiewoningen, studio's)
- deze niet van toepassing is op woningen bestemd voor kortstondige bewoning (minder dan een maand, bv. vakantiewoningen of hotels) of woningen afhankelijk van gemeenschappelijke keukens en/of afhankelijk van gemeenschappelijke sanitaire ruimten (bv. studentenkamers, kamers in internaten, kamers in woonzorgcentra).

De norm legt volgende eisen op aan de D_{Atr}-waarde van een gevelvlak afhankelijk van $L_{A,day}$ of $L_{A,night}$ (zie §4.2.3.1):

Eisen met betrekking tot de gevelisolatie			
	Klasse A	**Klasse B**	**Klasse C**
Woonkamer, keuken, studeerruimte en slaapkamer	$D_{Atr} \geq L_{A,day} - 30$ dB (1) $D_{Atr} \geq 32$ dB		$D_{Atr} \geq L_{A,day} - 34$ dB (1) $D_{Atr} \geq 28$ dB
Slaapkamer	$D_{Atr} \geq L_{A,night} - 24$ dB (1)		$D_{Atr} \geq L_{A,night} - 27$ dB (1)
	$D_{Atr} \geq 34$ dB (3)		
Extra eis voor gemeenschappelijk gebruikte galerijen of buitentrappen naar bovenstaande ruimten (2)	$D_{2m,A} \geq 48$ dB		$D_{2m,A} \geq 44$ dB

(1) Dit criterium dient met 3 dB verhoogd te worden indien de te beschermen ruimte nog een ander gevelvlak bezit waarbij beide gevelvlakken minstens één ventilatierooster of gevelelement met geluidverzwakkingsindex $R_{Atr} < 48$ dB bevatten.

(2) Dit criterium is niet van toepassing op buitengalerijen of buitentrappen die enkel in noodsituaties als evacuatieweg gebruikt worden.

(3) Dit criterium is enkel van toepassing op de gevelvlakken van slaapkamers die blootgesteld zijn aan een $L_{Amax,3x,night} \geq 70$ dB.

Tabel 3: Criteria gevelisolatie prNBN S01-400-1 (2019)

Bij lawaaibelastingen ten gevolge van lucht- of spoorverkeer zullen de gestelde eisen niet noodzakelijk tot een aangepaste bescherming leiden. Indien aan de omstandigheden aangepaste bescherming gewenst is, zullen een specifieke studie en aangepaste maatregelen noodzakelijk zijn. Indien 's nachts een $L_{Aeq,1s,max,passage} \geq 80$ dB vastgesteld wordt voor het gevelvlak van een slaapkamer, wordt sowieso een akoestische studie aanbevolen. De informatieve bijlage E van deze norm geeft richtwaarden voor de eisen in het geval van nachtelijk lucht- of spoorverkeerslawaai.

Deze bijlage zegt dat: 'Indien aan de omstandigheden aangepaste bescherming gewenst is, kunnen onderstaande criteria bijkomend opgelegd worden aan elk gevelvlak van een slaapkamer. Deze zijn afhankelijk van $L_{Amax,3x,night}$ (zie §4.2.3.1):

Richtlijnen voor extra criteria met betrekking tot de gevelisolatie in het geval van nachtelijk lucht- of spoorverkeerslawaai				
Aard van het omgevingslawaai	**Te beschermen ruimte**	**Klasse A**	**Klasse B**	**Klasse C**
Spoorverkeer	Slaapkamer	$D_{Atr} \geq L_{Amax,3x,night} - 42$ dB (1)		$D_{Atr} \geq L_{Amax,3x,night} - 46$ dB (1)
Luchtverkeer	Slaapkamer	$D_{Atr} \geq L_{Amax,3x,night} - 38$ dB (1)		$D_{Atr} \geq L_{Amax,3x,night} - 42$ dB (1)

1) Dit criterium dient met 3 dB verhoogd te worden indien de te beschermen ruimte nog een ander gevelvlak bezit waarbij beide gevelvlakken minstens één ventilatierooster of gevelelement met geluidverzwakkingsindex $R_{Atr} < 48$ dB bevatten.

Tabel 4: Criteria gevelisolatie prNBN S01-400-1 (2019)

Hieronder wordt gegeven wat dit betekent voor klasse C (laagste klasse) (voor- en nadelen):

- De eisen voor D_{Atr} zijn geformuleerd per gevelvlak van de te beschermen ruimte. Het gevolg hiervan is dat, indien de gevel van de te beschermen ruimte uit meerdere gevelvlakken bestaat, er niet steeds een eenduidig verband aanwijsbaar is tussen de kenmerkende grootheid ter karakterisering van het buitenlawaai (L_A per gevelvlak) en het optredende binneniveau. Met de verplichte toepassing van aanpassingsterm m (= 3 dB) in situaties waarbij de gevel van een lokaal nog een 2de gevelvlak bevat met een significante blootstelling (≥ 60 dB(A)) en minstens één zwak gevelelement bevat (≤ 48 dB), wordt hieraan in zekere mate tegemoet gekomen.
- De eisen zijn ook hier enkel geldig voor woonkamers, keukens, studeerruimtes en slaapkamers. Voor andere ruimtes bestaan er geen eisen (badkamer, inkom, nachthal, berging, toilet, …). Naar deze lokalen moet het buitenlawaai niet gereduceerd worden.
- Er dient steeds een minimale gevelisolatie van 28 dB voor elk gevelvlak van elk lokaal gerealiseerd te worden. In geval van pieklawaai (dat 's nachts minstens 3x 70 dB(A) of meer geeft aan de gevel (en minstens 1x per week voorkomt)) wordt dit voor elk gevelvlak van slaapkamers verhoogd tot 34 dB, onafhankelijk van de waarde van dit pieklawaai, tenzij een aangepaste bescherming gevraagd wordt. Het gevolg is dat:
    - Bij meerdere gevelvlakken van een te beschermen ruimte, die blootgesteld staan aan eenzelfde geluidsbron zal het geluidsdrukniveau binnen dan ook hoger worden (3 dB hoger bij 2 gevelvlaken), dan bij slechts één blootgestelde gevel. Zijn er bijvoorbeeld 2 gevelvlakken en een dakvlak naar een slaapkamer dan wordt het binnenniveau al 4.8 dB hoger.
    - Bij pieklawaai wordt de minimale eis voor de gevel van de slaapkamer 6 dB strenger. Hierdoor zullen ook de andere geluiden 6 dB meer gereduceerd worden, maar enkel indien er maar 1 gevelvlak is. Bij meerdere gevelvlakken is dit dus eveneens minder.
- Het geluidsdrukniveau $L_{A,day}$ dat buiten op 2m van het gevelvlak optreedt, dus inclusief gevelreflecties, zal gereduceerd worden tot 34 dB(A) in het geval van één gevelvlak of tot 31 dB(A) voor elk van beide gevelvlakken indien er 2 gevelvlakken zijn (samen 34 dB(A)). Dit is gelijkaardig aan de huidige norm wanneer het nachtlawaai 5 dB of meer lager is dan het daglawaai. Voor meerdere gevelvlakken wordt er niets vermeld. Bij 2 gevelvlakken moet elk gevelvlak dezelfde reductie geven, ongeacht een eventueel verschillende L_A aan dit gevelvlak. Dit kan leiden tot hoge geluidsisolaties voor gevelvlakken waar dit niet echt nodig is.
- Voor slaapkamers dient bijkomend ook het geluidsdrukniveau van de nacht verlaagd te worden tot 27 dB(A). in het geval van één gevelvlak of tot 24 dB(A) voor elk van beide gevelvlakken indien er 2 gevelvlakken zijn (samen 27 dB(A)). Deze eis is 2 dB strenger dan de eis van de huidige NBN S01-400-1 (2008) norm voor situaties van de huidige norm waarbij het A-gewogen equivalente geluidsdrukniveau tijdens de nacht ≥ het A-gewogen equivalente geluidsdrukniveau tijdens de dag – 5 dB.
- Voor slaapkamers wordt er een bijkomende eis opgelegd. Dit is het geval bij pieklawaai dat 's nachts minstens 3x 70 dB(A) of meer geeft aan de gevel (en minstens 1x per week voorkomt). Dan moet het gevelvlak naar slaapkamers ook bijkomend minstens 34 dB geluidsisolatie garanderen ongeacht de waarde van dit pieklawaai. Deze eis is strenger wanneer $L_{A,night}$ < 61 dB. Voor hogere waarden van L_A is deze eis bij pieklawaai gelijk of minder streng en zouden piekgeluiden niet meer bepaald moeten worden, maar er kan dan wel een aangepaste eis (richtinggevende waarden opgenomen in Tabel 4 van de informatieve bijlage E) opgelegd worden (enkel indien lucht- of spoorverkeer) op basis van de waarde van de 3de hoogste piek.

4.6 HET ONTWERP VAN (GEWESTELIJK) ISOLATIEVOORSCHRIFT

Het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatie voorschrift werd reeds hoger gegeven (zie §2.3). De eisen die opgelegd worden aan D_{Atr}-waarde van een gevelvlak zijn afhankelijk van L_{day}, L_{night} en $L_{Amax,1x,23-07u}$, $L_{Amax,5x,23-07u}$ (zie hiervoor §4.2.4.1) en worden getoond in volgende tabel:

Te beschermen ruimte	**Eis met betrekking tot de gevelisolatie D_{Atr}**
Algemeen (absolute ondergrens, onafhankelijk van gevelbelasting en van type bron)	
Dag- en nachtruimten	$D_{Atr} \geq 26$ dB
Wegverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 33$ dB
Nachtruimten	$D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 28$ dB
Spoorverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 35$ dB
Nachtruimten	Hoogste waarde van: $D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 30$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23-07u} +3 - 50$ dB
Luchtverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 30$ dB
Nachtruimten	Hoogste waarde van: $D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 25$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23-07u} +3 - 45$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,1x,23-07u} +3 - 50$ dB

Tabel 5: Criteria van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift

In dit voorstel wordt uitgegaan van het geluidsniveau dat invalt op de gevel, zonder gevelreflectie. Dit geluidsniveau werd hoger gedefinieerd als de 'gevelbelasting' en kan afgelezen worden uit gevelbelastingskaarten opgemaakt in het kader van de uitvoering van de richtlijn 2002/49/EG of in het kader van de beoordeling van de geluidblootstelling van (geluidgevoelige) gebouwen bij gedetailleerde MER-studies met de opmaak van een rekenmodel.

De gevelbelasting ($L_{1,in}$) werd daarbij verhoogd met + 3 dB om te komen tot een waarde van $L_{1,2m}$. Dit is immers de kenmerkende grootheid voor het buitenlawaai in de algemene ISO-uitdrukking voor de gevelisolatie D_{Atr} ($D_{2m,nT,w}$ + C_{tr}) waarop ook de NBN-norm gebaseerd is. Er is op te merken dat de verhoging met 3 dB een conservatieve benadering is (in tegenstelling tot metingen voor gevels waar de 3 dB reflectie in de praktijk niet steeds aannemelijk is en vaak kleiner is dan 3 dB).

De uitdrukking voor de eis in verband met D_{Atr} is in het voorstel zodanig dat per ruimte (dagruimte of nachtruimte) en per bronsoort de doelstelling voor het binnenlawaainiveau duidelijk is. Voor spoorverkeer zijn deze minder streng dan voor wegverkeer; omgekeerd voor luchtverkeer zijn de eisen dan weer strenger.

Vergelijking van deze tabel met deze van de NBN normen leert het volgende:

- Er worden eisen opgelegd aan de gevel, niet aan een gevelvlak zoals in de beide NBN normen.
- Er zijn aparte eisen per brontype (wegverkeer, spoorverkeer, luchtverkeer).
- Net zoals in de NBN normen is er een minimumwaarde voor gevelisolatie. Deze bedraagt 26 dB en is gelijk aan deze van normaal akoestisch comfort van de huidige NBN S01-400-1 (2008) norm, maar lager dan klasse C van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019).
- Wanneer gebruik gemaakt wordt van het verband tussen de grootheden L_{day} en $L_{A,day}$ (zie §4.2.3.1), namelijk $L_{A,day} = L_{day} + 3\ dB + 1\ dB$, dan geldt voor de dagruimten van voorgaande tabel:
    - Wegverkeerslawaai: $D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 33\ dB \approx L_{A,day} - 34\ dB$
    - Spoorverkeerslawaai: $D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 35\ dB \approx L_{A,day} - 36\ dB$
    - Luchtverkeerslawaai: $D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 30\ dB \approx L_{A,day} - 31\ dB$

  Voor wegverkeer komt de eis overeen met de eis van klasse C van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019), terwijl voor spoorweglawaai deze 2 dB minder streng is en voor vliegtuiglawaai 3 dB strenger.
- In het geval van nachtruimten geldt er als verband tussen de grootheden L_{night} en $L_{A,night}$ (zie §4.2.3.1), namelijk $L_{A,night} = L_{night} + 3\ dB + 5\ dB$. Dit geeft dan voor de nachtruimten van voorgaande tabel:
    - Wegverkeerslawaai: $D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 28\ dB \approx L_{A,night} - 33\ dB$
    - Spoorverkeerslawaai: $D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 30\ dB \approx L_{A,night} - 35\ dB$
    - Luchtverkeerslawaai: $D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 25\ dB \approx L_{A,night} - 30\ dB$

  In vergelijking met de eisen van klasse C van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019), namelijk $L_{A,night} - 27\ dB$ is deze eis beduidend minder streng! (Conclusie is gebaseerd op de toepassing van de veronderstelde relatie tussen $L_{A,night}$ en L_{night}). Met de huidige norm NBN S01-400-1 (2008) kan dit moeilijk vergeleken worden omdat deze uitgaat van een andere grootheid waarvoor geen gekend verband bestaat. Maar als men voor het normale comfort in de huidige norm stelt dat het buitengeluid tijdens een representatief deel van de nacht gereduceerd wordt tot 29 dB of minder, dan is deze norm ook wat strenger dan bovenstaande eisen. In vergelijking met verhoogd comfort van de huidige NBN norm of klasse A en B van de NBN ontwerpnorm zijn bovenstaande eisen nog veel minder streng. Maar, de toepassing van deze beduidend strenge eisen uit de NBN-normen voor situaties met verhoogd comfort zijn niet in alle omstandigheden ook praktisch haalbaar (zie hiervoor ook de caseresultaten).
- In het geval er ook pieklawaai is van spoorverkeer of luchtverkeer dan gelden er ook eisen van pieklawaai voor de nachtruimten. Het is echter niet mogelijk om de eisen van piekgeluiden van het ontwerp van gewestelijk isolatie voorschrift eenduidig te vergelijken met de eisen bij piekgeluiden bij de huidige norm NBN S01-400-1 (2008) en het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019). De evaluatiebasis is immers niet dezelfde. Het NBN criterium steunt op de luidste nacht van de week, terwijl de criteria uit het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift voor piekgeluiden eerder gebaseerd zijn op een jaargemiddelde nacht onder een representatieve geluidblootstelling.

  → Worden de criteria van de huidige norm NBN S01-400-1 (2008) toch vergeleken met deze van het ontwerp van gewestelijk isolatie voorschrift dan geldt:
    - Voor spoorweglawaai geeft het voorstel $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u} + 3 - 50\ dB$. In dat geval wordt $D_{Atr} = 34$ dB bereikt indien $L_{Amax,5x,23\text{-}07u} + 3 = 84$ dB. Terwijl de huidige norm stelt dat de gevelisolatie 34 dB dient te bedragen indien de 3de piek boven 70 dB ligt, stelt het voorstel dat de 5de piek dan al 84 dB (inclusief gevelreflectie) moet bedragen. Enkel indien de 5de piek hoger is dan 84 dB wordt dit voorstel strenger.
    - Voor luchtverkeerslawaai geldt dezelfde redenering, maar voor de hoogste piek. Indien $L_{Amax,1x,23\text{-}07u} + 3 = 84$ dB, dan is deze eis even streng dan de huidige norm indien bij deze de 3de piek boven 70 dB

ligt. Dit is ook het geval indien in het voorstel de 5de piek $L_{Amax,5x,23-07u}$ +3 = 45+34=79 dB bedraagt. Ofwel moet de hoogste piek hoger zijn dan 84 dB ofwel moet de 5de piek hoger zijn dan 79 dB om strenger te zijn dan de huidige norm.

→ Worden de criteria van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) toch vergeleken met deze van het ontwerp van gewestelijk isolatie voorschrift dan geeft dit hetzelfde resultaat indien er geen aangepaste bescherming gevraagd wordt voor slaapkamers. Indien dit wel het geval is dan geldt er:

- Voor spoorverkeerslawaai geeft het voorstel $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23-07u}$ +3 – 50 dB. In vergelijking met klasse C van de ontwerpnorm, namelijk $D_{Atr} \geq L_{Amax,3x,night}$ – 46 dB is dit 4 dB minder streng maar er wordt uitgegaan van de 5de piek in plaats van de 3de piek.
- Voor luchtverkeerslawaai geeft het voorstel $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23-07u}$ +3 – 45 dB. In vergelijking met klasse C van de ontwerpnorm, namelijk $D_{Atr} \geq L_{Amax,3x,night}$ – 42 dB is dit 3 dB minder streng maar er wordt uitgegaan van de 5de piek in plaats van de 3de piek. Met de eis voor de hoogste piek in het voorstel, namelijk $D_{Atr} \geq L_{Amax,1x,23-7u}$ +3 – 50 dB is het verschil 8 dB maar een hoogste piek kan vaak veel hogere waarden bereiken dan een 3de of 5de.

Zoals gezegd moeten bovenstaande conclusies erg genuanceerd worden!

Op basis van voorgaande redeneringen blijken de eisen voor nachtruimten in het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift niet zo streng zijn in vergelijking met de eisen van de huidige NBN norm en het voorstel van nieuwe NBN norm, maar dit is echter te nuanceren. Het NBN criterium steunt immers op de luidste nacht van de week, terwijl de criteria uit het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift voor piekgeluiden eerder gebaseerd zijn op een jaargemiddelde nacht onder een representatieve geluidblootstelling.
Voor dagruimten is dit niet het geval.

4.7 HET ONTWERP VAN (GEWESTELIJK) ISOLATIEVOORSCHRIFT EN INTERNATIONALE CRITERIA

In deel 1 werd een overzicht gegeven van de criteria voor de bepaling van de gevelisolatie die toegepast worden in de verschillende onderzochte landen. De tabel op volgende bladzijde geeft een overzicht van deze criteria. Deze werden herleid tot de essentie onder voorbehoud van correcte vertaling en interpretatie. Eventuele gedetailleerde uitzonderingen of finesses werden niet opgenomen in de tabel. In het geval een land verschillende comfortniveaus hanteert, wordt hieronder het minimaal wettelijk comfortniveau voor woongebouwen weergegeven.
in sommige landen kunnen regionaal strengere waarden voorkomen.

	Vereisten	Minimale eis	Opmerkingen
België NBN 2008	$D_{Atr} \geq L_A - 34 + m$ dB *(1)*	$D_{Atr} \geq 26$dB en $D_{Atr} \geq 34 + m$ dB *(1)(2)*	(1) m=3dB indien twee gevelvlakken worden belast aan meer dan 60dBA (2) bijkomende eis voor slaapkamers bij nachtelijke piekbelasting tgv spoor- of vliegverkeer
België NBN 2019	$D_{Atr} \geq L_{A,day} - 34$ dB *(3)* en $D_{Atr} \geq L_{A,night} - 27$ dB *(4)*	$D_{Atr} \geq 28$dB en $D_{Atr} \geq 34$dB *(5)*	(3) te verhogen met 3dB indien twee gevelvlakken met gevelelementen met $R_{Atr} < 48$dB of met ventilatierooster(s) (4) enkel voor slaapkamers (5) enkel voor slaapkamers met $L_{A,max,3x,night} \geq 70$dB
Nederland	$G_{A,k} \geq L_{bu,A} - 33$dB *(6)(7)*	$G_{A,k} \geq 20$dB	(6) $L_{bu,A}$ het geluiddrukniveau buiten (invallend op de gevel, dus zonder gevelreflecties) (7) Deze eis geldt voor de karakteristieke geluidwering van een 'verblijfsgebied' (zoals in beschouwing genomen in het kader van de vrije indeelbaarheid van gebouwen). Voor een 'verblijfsruimte' mag de karakteristieke geluidwering maximaal 2 dB lager zijn.
Frankrijk	$D_{nT,Atr} \geq L_{Aeq,6\text{-}22h} - 35$dB $D_{nT,Atr} \geq L_{Aeq,22\text{-}6h} - 30$dB	$D_{nT,Atr} \geq 30$dB	$D_{nT,Atr}$ ligt tussen 30 en 45 dB
Duitsland TA-Lärm	$R'_{w,res} \geq L_r + 10\log(S_g/A) - D + E$		Met D een correctie voor het ruimtegebruik , nl. 27dB voor slaapruimten en 37dB voor woonruimten en E een correctie voor het spectrum van het buitengeluid.
Duitsland DIN	$R'_{w,ges} \geq L_a - 30$ dB	$R'_{w,ges} \geq 30$dB	
Oostenrijk	*(8)*	$R'_{res,w} \geq 33$dB en $R_w \geq 43$dB *(opake delen)* $R_w \geq 28$dB *(ramen)* $R_w + C_{tr} \geq 23$dB *(ramen)*	(8) $R'_{res,w}$, (globaal) , R_w, (opake delen) en R_w en $R_w + C_{tr}$ (ramen en deuren) rechtstreeks uitgedrukt in functie van buitenniveau. De gevelisolatie dient bepaald te worden o.b.v. het geluidniveau overdag en 's nachts. De strengste eis van de twee wordt weerhouden.
Zwitserland	$D_{e,total} \geq L_{r,T} - 33$dB $D_{e,total} \geq L_{r,N} - 25$dB	$D_{e,total} \geq 27$dB	
Noorwegen	$L_{p,A,24h} \leq 30$dB $L_{pAF,max,23h\text{-}7h} \leq 45$dB *(9)*	-	(9) voor slaapkamers. Dit niveau mag slechts minder dan 10 keer overschreden worden.
Zweden	$L_{A,eq,24h} \leq 30$dB *(10)* $L_{pAF,max,22u\text{-}6u} \leq 45$dB *(11)*	-	(10) voor keukens en badkamers is deze eis 5dB minder streng (11) voor slaapkamers. Dit niveau mag niet meer dan 5 keer per nacht overschreden worden en nooit met meer dan 10dB overschreden worden.
Finland	$L_{Aeq,7h\text{-}22h} \leq 35$dB $L_{Aeq,22h\text{-}7h} \leq 30$dB	$D_{ne,Atr} \geq 30$dB	
Denemarken	$L_{den} \leq 33$dB	-	Deze waarde is te respecteren voor weg- en spoorverkeer afzonderlijk.
Litouwen	$D_{2m,nT,w} \geq 24$dB ($L_{den,out} \leq 45$) $D_{2m,nT,w} \geq 27$dB ($L_{den,out} \leq 50$) $D_{2m,nT,w} \geq 30$dB ($L_{den,out} \leq 55$) $D_{2m,nT,w} \geq 35$dB ($L_{den,out} \leq 60$) $D_{2m,nT,w} \geq 40$dB ($L_{den,out} \leq 65$) $D_{2m,nT,w} \geq 45$dB ($L_{den,out} > 65$)	$D_{2m,nT,w} \geq 24$dB	$D_{2m,nT,w}$ wordt rechtstreeks uitgedrukt in functie van de geluidsbelastingsklasse Criteria kunnen ook uitgedrukt worden als $D_{2m,nT,w} + C_{tr}$. In dat geval worden de grenswaarden verminderd met 7dB.
Spanje	$L_d \leq 45$dB / 40dB $L_e \leq 45$dB / 40dB $L_n \leq 35$dB / 30dB	$D_{2m,nT,w} \geq 30$dB	Eisen voor woonruimten / slaapruimten
Italië		$R'_w > 50$ dB; $D_{2m,nT,w} \geq 40$dB	

Tabel 6: Overzicht criteria gevelisolatie

Het is moeilijk om de isolatiecriteria van andere landen te vergelijken met deze van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorstel omdat vooral de grootheden die het buitenlawaai bepalen meestal verschillen.

In Frankrijk waar eveneens D_{Atr} als grootheid wordt gehanteerd zijn de eisen afhankelijk van het equivalente A-gewogen buitenlawaai op 2m van de gevel. Dit kan niet één op één vergeleken worden met het omgevingslawaai dat in de huidige Belgische norm gehanteerd wordt of het invallend geluid van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift maar ligt in eenzelfde grootte-orde.
De grootheid $G_{A,k}$ die in Nederland wordt gebruikt verschilt met de grootheid D_{Atr} in de zijn dat bij de grootheid $G_{A,k}$ uitgegaan wordt van het invallend geluid in plaats van het geluidsniveau op 2m van de gevel. De geluidbelasting moet hier ook worden bepaald volgens de in Nederland genormaliseerde meet- en rekenmethoden. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen een dag- en nachtperiode.

Dit is ook het geval in een aantal Scandinavische landen (Zweden, Denemarken, Noorwegen) waar men uitgaat van een buitengeluid (al dan niet verhoogd met gevelreflecties) over de volledige 24u dat gereduceerd wordt naar een welbepaald binnenniveau (zie ook deel 1):

- Zweden (norm SS 25267: 2015)[5]: slaap- en woonruimtes: $L_{A,eq,24h} \leq 30$ dB voor klasse D
- Noorwegen (norm NS 8175:2019)[6]: woon- en slaapkamers: $L_{p,A,24h} \leq 30$ dB voor klasse C. Er is echter geen direct verband tussen $L_{p,A,24h}$ en de indicator L_{den}. Deze norm stelt wel dat voor constant geluid dat $L_{den} \approx L_{p,A,24h} + 6.4$ dB.
- Denemarken (norm DS 490: 2018)[7]: klasse C (minimale klasse): $L_{den} \leq 33$ dB. Deze waarde is te respecteren voor weg- en spoorverkeer afzonderlijk.

Omgerekend betekent dit dat D_{ATr} dan volgende waarde moet realiseren:

- Zweden : slaap- en woonruimtes: $D_{Atr} \geq L_{A,eq,24h} + 3dB - 30$ dB voor klasse D
- Noorwegen: woon- en slaapkamers: $D_{Atr} \geq L_{p,A,24h} + 3$ dB - 30 dB voor klasse C.
- Denemarken: klasse C (minimale klasse): $D_{Atr} \geq L_{den} + 3 - 33$ dB. Deze waarde is te respecteren voor weg- en spoorverkeer afzonderlijk.

In vergelijking met de criteria in het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift zijn deze voorschriften eenvoudiger omdat ze geen onderscheid maken tussen het geluidsniveau tijdens de dag of nacht, geen onderscheid tussen het type ruimte en het type verkeerslawaai. Naar analogie hiervan kan men als vereenvoudiging van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift een vereenvoudigde eis opleggen onder de vorm: $D_{Atr} \geq L_{den}$ (+3) – x dB, waarbij x het geluidsdrukniveau binnen is (zie verder).

In het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift worden ook eisen opgelegd voor slaapkamers in functie van voorkomende piekgeluiden. Dit is ook het geval in sommige Europese landen waar eveneens bijkomende eisen opgelegd aan de geluidsisolatie van de gevel wanneer welbepaald piekgeluiden buiten overschreden worden of waar specifieke maatregelen opgelegd worden om piekgeluiden binnen in de slaapkamers te beperken.
Het betreffen meestal piekgeluiden afkomstig van treinlawaai of van vliegtuiglawaai, maar ook soms van andere geluidsbronnen zoals in Noorwegen en Zweden.

[5] Swedish standard· SS 25267:2015 Acoustics - Sound classification of spaces in buildings - Dwellings
[6] NS 8175:2019: Acoustic conditions in buildings - Sound classification of various types of buildings
[7] Dansk Standard D S490: 2018 - Sound classification of dwellings

Tabel 7 hieronder geeft de piekgeluidcriteria voor de landen waar een eis voorkomt.

	Eisen	Opmerkingen
België NBN 2008	Spoor- en luchtverkeer: $D_{Atr} \geq 34 + m$ dB *(1)(2)*	(1) m=3dB indien twee gevelvlakken worden belast aan meer dan 60dBA (2) er wordt een bijkomende eis voor de gevelisolatie van slaapkamers opgelegd bij nachtelijke piekbelasting tgv spoor- of vliegverkeer indien minstens 3x per nacht en minstens 1 nacht per week $L_{Aeq,1s,max\,T} \geq 70$dB
België NBN 2019	Spoor- en luchtverkeer: $D_{Atr} \geq 34$dB *(3)* en $D_{Atr} \geq L_{A,max,3x,night} - 46$ dB *(4)* $D_{Atr} \geq L_{A,max,3x,night} - 42$ dB *(5)*	(3) Er wordt een bijkomende geluidsisolatie eis voor slaapkamers opgelegd indien de nachtelijke piekbelasting: $L_{A,max,3x,night} \geq 70$dB (4) richtwaarden voor slaapkamers bij spoorverkeer (5) richtwaarden voor slaapkamers bij luchtverkeer
Verenigd Koninkrijk	Spoor- en luchtverkeer: SEL of L_{AFmax}	De Britse norm BS 8233 geeft grootheden, maar geen waarden: bij structureel aanwezige geluidspieken (van bijvoorbeeld vlieg- of railverkeer) kunnen bijkomende criteria toegepast worden ter vermijding van slaapverstoring tijdens de nachtperiode. Deze criteria kunnen uitgedrukt worden in de grootheden SEL of L_{AFmax}, afhankelijk van het karakter en het aantal verstoringen per nacht.
Duitsland	Lucht (soms spoor)verkeer: $R'_{w,ges} \geq L_A - 30$ dB *(6)* Enkel luchtverkeer: *(7)* Bestaande civiele luchthavens: $L_{Amax,6x,i} = 57$ dB Nieuwe civiele luchthavens: $L_{Amax,6x,i} = 53$ dB	(6) Bijkomende eis cfr DIN 4109-2:2018 (§ 4.4.5.5) bij piekbelasting van vliegverkeer (en in uitzonderlijke gevallen ook voor spoorverkeer): Indien de maximale waarden $L_{AF,max}$ het equivalente geluidniveau L_{Aeq} minstens 20 maal tijdens de dagperiode (16u) of minstens 10 maal tijdens de nachtperiode (8u) of minstens 1 maal per uur met meer dan 20dB overschrijdt, en indien de gemiddelde maximale waarde $L_{AF,max}$ ook het equivalente geluidniveau L_{Aeq} met meer dan 20dB overschrijdt, dan is de "Maßgebliche Außenlärmpegel" $L_A = L_{AF,max} - 20$dB + 3dB. (7) De luchtvaartwet gebruikt deze grenswaarden voor $L_{Amax,6x,i}$ ter afbakening van "nachtzones' rond luchthavens, waarin aangepaste maatregelen op vlak van gevelisolatie opgelegd worden (geluidzoneringscriterium)
Oostenrijk	Luchtverkeer: NAT68 < 6 (of: $L_{Amax,6x} < 68$ dB)	De luchtvaart-verordening (BGBl II Nr. 364/2012 Luftverkehr-Lärmimmissionsschutzverordnung - LuLärmIV) gebruikt het piekgeluidencriterium (NAT 68) enkel voor zoneringsdoeleinden. NAT68 is te evalueren voor optredende piekgeluiden buiten.
Noorwegen	Spoor- en luchtverkeer: $L_{pAF,max,23h-7h} \leq 45$dB *(8)* Luchtverkeer: L_{5AS} of $L_{p,ASmax,95} \leq 80$ dB(A) *(9)*	(8) Enkel voor slaapkamers. Dit niveau mag slechts minder dan 10 keer overschreden worden. (9) Bijkomende grenswaarden voor vliegtuiglawaai zijn in de norm NS 8175 opgenomen in de omgeving van luchthavens als het 5% statistisch overschrijdingsniveau van het A-gewogen maximaal geluidsdrukniveau buiten gemeten in 'slow' (L_{5AS} of $L_{p,ASmax,95}$) tijdens de nachtperiode (23-07) van maximaal 80 dB(A).
Zweden	Spoor- en luchtverkeer: $L_{pAF,max,22h-6h} \leq 45$dB *(10)* Luchtverkeer: *(11)* NA70 < 16 (dag en avond: 06-22 u), behalve voor Stockholm-Bromma NA70 < 3 (nacht 22-06 u).	(10) Pieklawaai van spoor- en luchtverkeer voor slaapkamers. Dit niveau mag niet meer dan 5 keer per nacht overschreden worden en nooit met meer dan 10dB overschreden worden. (11) Op basis van de verordening SFS 2015:216 worden rond luchthavens bijkomende eisen opgelegd ten aanzien van de buitenniveaus bij woningen blootgesteld aan vliegverkeersgeluid in de vorm van een maximum toegestaan aantal overschrijdingen van een maximaal geluidsdrukniveau, gelijk aan 70 dB.

Tabel 7: Overzicht piekgeluiden (zie deel 1)

Behalve in België wordt slechts in 3 van de onderzochte landen in Europa (Duitsland, Noorwegen en Zweden) rekening gehouden met piekgeluiden afkomstig van treinlawaai. In het Verenigd Koninkrijk geeft men wel een grootheid voor piekgeluiden maar geen criterium. In principe zijn de eisen in Duitsland enkel geldig voor pieken van luchtverkeer en in uitzonderlijke gevallen ook spoorverkeer. In België en Duitsland wordt, indien de grootheid buiten overschreden wordt, een eis opgelegd aan de gevelisolatie. In Noorwegen en Zweden wordt een eis opgelegd aan het aan het maximaal aantal overschrijdingen van $L_{(p)AF,max}$ boven 45 dB binnen ten gevolge van pieklawaai, ongeacht het geluidsniveau buiten. Dit overschrijdingscriterium (10x) steunt in belangrijke mate op de WHO aanbevelingen uit 1999. Dit criterium is voor alle soorten piekgeluiden (ook op basis van $L_{AF,max}$) geldig. Er wordt voor beide landen echter niet gespecifieerd of het respecteren van het criterium binnen moet gebeuren met gevelisolatie of door aanpassingen aan de bron of overdrachtsweg.
In België, Noorwegen en Zweden geldt het criterium enkel voor slaapkamers. In Duitsland wordt dit niet gespecifieerd en in het Verenigd Koninkrijk zegt men dat het is ter vermijding van slaapverstoring wat impliciet naar slaapkamers verwijst.

Voor het pieklawaai afkomstig van vliegtuiglawaai zijn er ook in dezelfde landen criteria van toepassing. Deze landen hanteren ook dezelfde grootheden en dezelfde criteria als voor treinen. Enkel in de toekomstige nieuwe norm in België geldt er een 4 dB strengere eis voor de geluidsisolatie tegen vliegtuiglawaai.
De bijkomende eisen voor vliegtuiglawaai in Duitsland, Noorwegen en Zweden hebben geen aanwijsbare repercussie op de vereiste geluidsisolatie van (woon)gebouwen. Ze hebben immers alleen maar betrekking op het optreden van geluidspieken in de buitenomgeving (Noorwegen en Zweden) of betreffen criteria ter afbakening van een specifieke nachtzone voor zoneringsdoeleinden waar specifieke geluid mitigerende maatregelen aan gekoppeld zijn (Duitsland, Oostenrijk).

Voor luchtverkeer neemt men in Duitsland, net als in België, de grootheid $L_{Amax,nx}$ om piekgeluiden te definiëren. In het Verenigd Koninkrijk, Noorwegen en Zweden en ook nog in Duitsland maakt men onder meer gebruik van de grootheden L_{AFmax} of L_{ASmax} voor het karakteriseren van piekgeluiden. Tenslotte gebruikt Zweden een grootheid (NA70) die aangeeft hoe vaak een bepaalde waarde buiten mag overschreden worden tijdens de dag/avond en tijdens de nacht. Deze grootheid betreft enkel het buitenlawaai en heeft geen gevolgen voor de geluidsisolatie van de gevel.

Tot slot willen we nog vermelden dat de Wereldgezondheidsorganisatie (World Health Organisation) in haar aanbevelingen van 2009 de grootheid L_{Amax} gebruikte om aan te geven boven welke waarde er ontwaakreacties optreden (voor luchtvaartlawaai). Dit is het geval bij geluidsdrukniveaus van 42 dB(A), wat overeenkomt met het criterium van het ontwerp van de Belgische norm voor vliegtuiglawaai ($D_{Atr} \geq L_{Amax,3x,night} - 42$ dB). In de recente richtlijnen van de Wereldgezondheidsorganisatie zijn geen specifieke aanbevelingen meer opgenomen in verband met het maximaal geluidsdrukniveau L_{Amax}, zoals vermeld in de “Environmental Noise Guidelines for the European Region” van 2018 [8] :

“In many situations, average noise levels like the L_{den} or L_{night} indicators may not be the best to explain a particular noise effect. Single-event noise indicators – such as the maximum sound pressure level ($L_{A,max}$) and its frequency distribution – are warranted in specific situations, such as in the context of night-time railway or aircraft noise events that can clearly elicit awakenings and other physiological reactions that are mostly determined by $L_{A,max}$.

[8] Zie http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1

Nevertheless, the assessment of the relationship between different types of single-event noise indicators and long-term health outcomes at the population level remains tentative. The guidelines therefore make no recommendations for single-event noise indicators."
Wel wordt de relatie met aanbevelingen uit voorgaande richtlijnen van 2009, nog nader geduid: "*Furthermore, the current guidelines complement the NNG (WHO night noise guidelines for Europe) from 2009."*

5 TOEGEPAST CASE ONDERZOEK

5.1 DOEL VAN HET ONDERZOEK EN WERKWIJZE

De gevelbelasting afkomstig van verkeerslawaai is variabel over de verschillende gevelvlakken van een woning. Om de gevelisolatie te bepalen dient dan ook deze gevelbelasting gekend te zijn over de verschillende gevelvlakken. Geluidsmetingen kunnen deze gevelbelasting vaststellen, maar het is in praktijk weinig zinvol om geluidsmetingen uit te voeren ter hoogte van elk van de verschillende gevelvlakken. Het is eveneens niet mogelijk dergelijke metingen uit te voeren wanneer het nieuwe woningen betreft die nog moeten opgericht worden.

De gevelbelasting, uitgedrukt in de kenmerkende grootheden, zal bij spoor- en wegverkeerslawaai in principe bepaald worden op basis van een gedetailleerde akoestische modellering. Binnen een uitgebreid MER-onderzoek zijn hiervoor de benodigde invoergegevens (verkeersintensiteiten, gebouwenmodel, …) in principe voorhanden.

In het kader van beperktere onderzoeken met lagere complexiteit kan de vraag gesteld worden of voldoende betrouwbare informatie over de gevelbelasting niet op een vereenvoudigde wijze kan verkregen worden. Mogelijke opties zijn:

- gebruik van informatie zoals beschikbaar in de strategische geluidsbelastingkaarten (L_{den} en L_{night});
- een vereenvoudigde overdrachtsberekening (vb. steunend op uitgebreide of beperkte telgegevens van het verkeer);
- een verkennende meting van het omgevingslawaai, …

Dit wordt in voorliggend hoofdstuk onderzocht aan de hand van een toegepast case onderzoek. In dit onderzoek wordt voor 6 cases zowel metingen van het omgevingslawaai uitgevoerd, als gebruik gemaakt van de strategische geluidsbelastingskaarten. Ook werden berekeningen uitgevoerd aan de hand van gedetailleerde overdrachtsberekeningen. Voor elk van deze situaties worden akoestische grootheden die de gevelbelasting weergeven gemeten of berekend en onderling vergeleken. In een volgende fase van het onderzoek worden deze grootheden gebruikt voor het bepalen van de gewenste gevelisolatie.

<u>Opmerkingen:</u>

Een benadering via een vereenvoudigde overdrachtsberekening (vb. steunend op uitgebreide of beperkte telgegevens van het verkeer) werd niet verder behandeld. Op het internet zijn programma's terug te vinden die het geluidsdrukniveau van wegverkeerslawaai berekenen in functie van telgegevens van het verkeer, de snelheden, de afstand van de weg, de aard van de bodem, reflecties van overstaande gevels, de hoogte, … [9]

[9] Zie bijvoorbeeld volgende websites:
https://omgeving.vlaanderen.be/knelpuntanalyse-lucht-en-geluid
https://rigolett.home.xs4all.nl/GV/index.html

In welke mate deze programma's correcte resultaten geven werd niet geverifieerd. Bij het gebruik van deze programma's moet de nodige voorzichtigheid aan de dag gelegd worden bij het overnemen van de resultaten (geven ze bijvoorbeeld L_{den} en/of L_{night} als gevelbelasting of betreft het een andere grootheid, …). De onderliggende rekenmodellen, uitgangspunten en randvoorwaarden zijn immers niet steeds vergelijkbaar. Deze programma's zijn ook meestal enkel geldig voor wegverkeerslawaai, niet voor andere toepassingen.
Toch kunnen, voor situaties met lage complexiteit, dergelijke eenvoudige en correct ontworpen tools ter berekening van de gevelbelasting, wel gehanteerd worden. Met correcte input een de juiste grootheden zijn de resultaten dan wel als voldoende betrouwbaar te beschouwen voor eenvoudige situaties.

Een benadering via een verkennende meting van het omgevingslawaai voor het bepalen van de gevelbelasting kan ook soms een eenvoudige manier zijn om de gevelbelasting in te schatten. Bij de huidige NBN S01-400-1: 2008 en het normontwerp prNBN S01-400-1: 2019 volstaat het om het geluidsdrukniveau te meten gedurende een periode van minstens 30 minuten op een representatief tijdstip. Er bestaan apps voor smartphones waarmee het geluidsdrukniveau kan gemeten worden. De resultaten van metingen met dergelijke apps zijn echter eerder indicatief omdat ze (meestal) niet geijkt zijn en de microfoons niet zo performant zijn. Daarenboven moet de gebruiker ook de kennis hebben van de relatie van de grootheid die hij afleest tot de grootheid die gebruikt wordt voor de gevelbelasting. Het bepalen van een geluidsbelasting uit deze metingen zal niet voor iedereen weggelegd zijn. Wat bij sterk fluctuerend verkeer, treinpassages, …? Meestal zal het aan ervaring en kennis ontbreken om een geluidsbelasting correct in te schatten aan de hand van een eenvoudige verkennende meting. Resultaten van de geluidsbelasting bekomen via deze weg zijn dan eerder niet zo betrouwbaar en kunnen grote verschillen geven met de werkelijke gevelbelasting.
Metingen uitgevoerd over een voldoende lange periode en eventueel aangevuld met korte duur metingen met akoestische meettoestellen, die gebruikt worden om het geluidsdrukniveau te bepalen en die op de correcte manier (in functie van het criterium) verwerkt worden zijn wel geschikt. Dit wordt verder toegepast bij het onderzoek van de verschillende cases.

5.2 HET ONDERZOEK

5.2.1 Algemene werkwijze

Voor het onderzoek werden 6 verschillende verkeerssituaties bestudeerd (6 cases) waaronder:

- 2 cases met enkel wegverkeer
- 2 cases met een combinatie van wegverkeer en tramverkeer
- 2 cases met een combinatie van wegverkeer en treinverkeer

Deze cases werden geselecteerd in Antwerpen en in Gent, op plaatsten waarvoor strategische geluidskaarten beschikbaar zijn.

In elk van deze cases werden geluidsmetingen uitgevoerd. Gedurende een periode van ongeveer 1 week werd het geluidsdrukniveau gemeten in 2 of 3 punten. Deze metingen werden uitgevoerd op basis van 1 seconde waarden ($L_{Aeq,1s}$) gedurende de ganse meetperiode. De metingen werden verricht vlak bij de gevels van woningen en in het vrije veld, afhankelijk van de mogelijkheden op het terrein.

De resultaten van de uitgevoerde metingen zijn verder verwerkt naar de verschillende akoestische grootheden die de gevelbelasting kunnen kenmerken (L_{Aref}, $L_{Aref,day}$, $L_{Aref,night}$, L_{day}, $L_{evening}$, L_{night}, L_{den}, $L_{Amax,1x}$, $L_{Amax,3x}$, $L_{Amax,5x}$, $L_{Amax,10x}$) en dit voor elk meetpunt.

Vervolgens worden de waarden van L_{day} en L_{den} afgelezen op de strategische geluidskaarten ter hoogte van dezelfde meetpunten en vergeleken met de resultaten van de metingen (de informatieve bijlage uit prNBN S01-400-1: 2019 laat bijvoorbeeld toe om strategische geluidsbelastingskaarten te gebruiken bij dominant verkeerslawaai (weg, lucht en spoor) en de EU-grootheden met benaderende relaties om te rekenen naar de in rekening te brengen gevelbelasting van het isolatiecriterium uit de NBN norm).
Omdat aflezen op strategische kaarten moeilijk is, zeker kort bij de bronnen en omdat er dient geïnterpoleerd te worden, vermits deze kaarten het geluidsdrukniveau slechts weergeven in stappen van 5 dB, werd er een herberekening uitgevoerd van de geluidskaart op de exacte positie van het meetpunt. Het resultaat van deze berekening werd vergeleken met de meetwaarden. Wanneer er een belangrijke afwijking (meer dan 2 dB verschil) optreedt tussen beide werd gezocht naar mogelijke oorzaken van deze afwijking (bijvoorbeeld andere wegbedekking bij de metingen in vergelijking met de gegevens van de geluidskaart, andere verkeersintensiteiten, snelheden, …). Waar duidelijk werden deze gegevens aangepast in het model en werden aangepaste berekeningen uitgevoerd van het volledig model (= gevalideerd model) waarbij de resultaten dichter aansluiten met de resultaten van de metingen in de meetpunten.

Met het aangepaste model met zijn omgeving werden vervolgens nieuwe situaties berekend, afhankelijk van de aard van de case (zie verder):

- Geluidskaarten van de omgeving waarbij in een grotere zone alle gebouwen of een aantal gebouwen werden verwijderd.
- Geluidskaarten met de inplanting van één en meerdere nieuwe gebouwen.

Voor deze situaties werden geluidskaarten gemaakt op verschillende hoogtes. Apart werden ook de geluidsniveaus berekend op 2m van de gevels van verscheidene ‘nieuwe’ gebouwen die ingeplant zijn op de site. Met deze gegevens kan worden vastgesteld hoe het geluidsniveau zich verspreid over de omgeving, in welke mate de gebouwen een rol spelen op dit geluidsniveau en dit voornamelijk in de buurt van de woningen. Ook de geluidbelasting op 2m van de verschillende gevels en geveldelen kunnen worden vastgesteld.
In het kader van deze studie werden belastingskaarten berekend (met gevelreflecties). Hiermee kon ook het effect van de gebouwen op het geluidsdrukniveau elders in de omgeving te bekeken worden, evenals de verdeling van het lawaai rond gebouwen. Daarenboven gaat de grootheid D_{Atr} ook uit van het geluidsdrukniveau op 2 m van de gevel. Bij deze geluidskaarten werd steeds minstens 1 reflectie van gebouwen meegerekend.
Er kan ook uitgegaan worden van gevelbelastingspunten waarbij enkel het invallend geluid aan de gevel wordt berekend. In toepassing van de RL 2002/49/EG worden immers naast de strategische geluidskaarten die rekening houden met alle reflecties ook "gevelbelastingskaarten" opgemaakt (met invallend geluid) ter bepaling van de te rapporteren cijfers in verband met de geluidblootstelling van de bevolking. Deze gegevens zijn echter niet openbaar. Zij worden wel gebruikt voor de beoordeling in het kader van MER-studies.

In hetgeen volgt zullen elk van deze cases worden toegelicht en de resultaten van de berekeningen en metingen gegeven. Eerst wordt echter in de volgende paragraaf in detail uiteengezet op welke manier de metingen van de verschillende cases onderzocht en geanalyseerd werden.

5.2.2 Bepaling van de grootheden voor gevelbelasting uit metingen

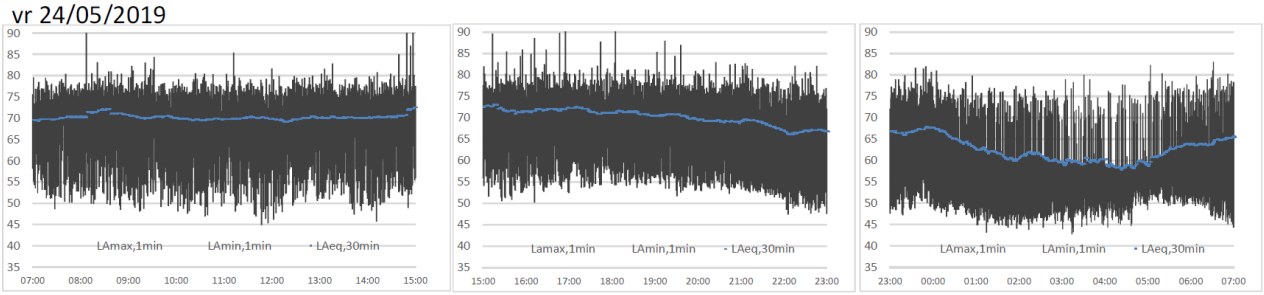
5.2.2.1 Bepaling van L_{Aref} conform de huidige norm NBN S 01-400-1 (2008)

De huidige Belgische norm NBN S 01-400-1 (jan 2008) gebruikt de grootheid L_{Aref} als referentiewaarde voor de gevelbelasting.
Deze waarde wordt bepaald over een tijdsinterval T van minstens 30 minuten gemeten op een tijdstip tussen 06 u 's morgens en 22 u 's avonds dat representatief is voor de mogelijke hinder door het omgevingslawaai evenals over een tijdsinterval T van minstens 30 minuten gemeten op een tijdstip tussen 22 u 's avonds en 06 u 's morgens dat representatief is voor de mogelijke hinder door het omgevingslawaai: zie § 4.2.2.

De norm specifieert echter niet wat 'representatief' is en welke waarde moet genomen worden over dit tijdsinterval (statistisch, equivalente waarde, …).

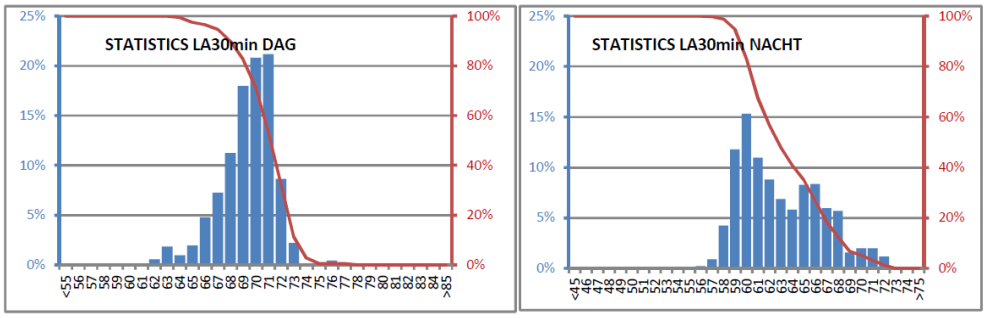
Omdat er over een periode van ca. 1 week werd gemeten, dient er een keuze gemaakt te worden van de manier waarop L_{Aref} uit al de meetgegevens kan bepaald worden. Hiervoor werd de volgende aanpak toegepast:

1. Voor elke opeenvolgende minuut werd $L_{Aeq,1min}$ berekend uitgaande van $L_{Aeq,1s}$. Dit geeft 60 waarden van $L_{Aeq,1min}$ per uur.
2. Vervolgens werden alle mogelijke $L_{Aeq,30minuten}$-waarden berekend uitgaande van de $L_{Aeq,1min}$-waarden en dit voortschrijdend: van minuut 0 tot minuut 30; van minuut 1 tot minuut 31; enz… en dit over de ganse meetduur.
   Onderstaande figuur toont het verloop van het geluidsdrukniveau over een meetperiode met de maximale en minimale waarden van elke minuut, samen met de voortschrijdende $L_{Aeq,30minuten}$-waarden (blauwe curve) over periodes van 8u.



Figuur 1: Voorbeeld voortschrijdende $L_{Aeq,30minuten}$ waarden

3. Deze voortschrijdende $L_{Aeq,30minuten}$-waarden vertonen schommelingen. Vermits, zoals bijvoorbeeld op de voorgaande figuur zichtbaar is, een toevallige plotse gebeurtenis met een hoge piek de volgende 30 opeenvolgende $L_{Aeq,30minuten}$-waarden plots kan doen stijgen, zijn de hoogste waarden van $L_{Aeq,30minuten}$ geen representatieve waarden. Om een representatieve $L_{Aeq,30minuten}$-waarde te kiezen voor de dagperiode (van 6u tot 22u) en voor de nachtperiode (van 22u tot 6u) werd telkens een statistische analyse uitgevoerd over de volledige meetperiode van respectievelijk de dag- en nachtperiodes. De volgende figuur geeft een voorbeeld van een dergelijk verloop. Op beide grafieken word de statistische verdeling gegeven van de $L_{Aeq,30minuten}$-waarden samen met het cumulatief verloop.



Figuur 2: Statistische en cumulatieve verdeling van de $L_{Aeq,30minuten}$ waarden voor de dag- en nachtperiode

Er werd gekozen om de hoogste 10% waarden uit te sluiten en aldus de waarde te nemen die op de cumulatieve curve hoger dan 10% is. Op de linker grafiek van bovenstaande grafieken komt dit overeen met 73 dB(A) voor de dagperiode; voor de nachtperiode is dit 68 dB(A) (rechtergrafiek).
Praktisch betekent dit dat in 90% van de tijd de $L_{Aeq,30minuten}$-waarden lager of gelijk zijn aan de gekozen waarde.

4. Uiteindelijk wordt dan, conform de norm, L_{Aref} gelijk gesteld aan het maximum van enerzijds de gekozen $L_{Aeq,30minuten}$-waarde van de dagperiode en anderzijds de gekozen $L_{Aeq,30minuten}$-waarde verhoogd met 5 dB.

Opmerking:
Volgens de norm moet de representatieve L_{Aref}-waarde afkomstig zijn van een meting op 2m hoogte en op 2m afstand van de meest belaste gevel. Dit betekent automatisch dat in deze waarde ook de reflecties van de achterliggende gevel zitten.
In het geval er gemeten wordt op een plaats waar (nog) geen gebouw staat zijn deze gevelreflectie er niet. Om dan toch een L_{Aref}-waarde vast te leggen dient de gemeten waarde met 3 dB verhoogd te worden.
In de verschillende meetpunten van de verschillende cases die in een volgende paragraaf getoond worden werd gemeten zowel ter hoogte van gevels van gebouwen als in het open veld zonder reflectie van een achterliggende gevel. Om een onderscheid te maken tussen beide situaties werden volgende grootheden gebruikt:

- $L_{Aref,in}$ om aan te geven dat de meting gebeurde zonder gevelreflectie. Deze waarde dient nog met 3 dB verhoogd te worden om de waarde voor L_{Aref} te bekomen zoals gedefinieerd in de norm.
- $L_{Aref,2m}$ om aan te geven dat de meting gebeurde op 2m van een gevel, met gevelreflectie. Deze waarde is gelijk aan L_{Aref} zoals gedefinieerd in de norm.

5.2.2.2 Bepaling van L_{Aref} conform de ontwerpnorm prNBN S 01-400-1 (2019)

Het ontwerp van de nieuwe Belgische norm prNBN S 01-400-1 (2019) gebruikt de grootheden $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ als referentiewaarde voor de gevelbelasting voor respectievelijk de dag- en de nachtperiode. Deze zijn te bepalen over een tijdsinterval T_m van minstens 30 minuten gemeten op een tijdstip tussen 07 u en 23 u dat representatief is voor de mogelijke hinder door het wegverkeerslawaai overdag en een tijdstip tussen 23 u en 07 u dat representatief is voor de mogelijke hinder door het wegverkeerslawaai 's nachts: zie §4.2.3.1

Ook deze norm specifieert echter niet wat 'representatief' is en welke waarde moet genomen worden over dit tijdsinterval (statistisch, equivalente waarde, …). Daarom werd er dezelfde aanpak toegepast als beschreven in vorige paragraaf voor de huidige norm. Van zowel de dag- als de nachtperiode werd de $L_{Aeq,30minuten}$-waarde

genomen die gedurende 90% van de tijd (via het histogram van de volledige meetduur) niet wordt overschreden voor respectievelijk de dag en nacht.

Opmerking:
Volgens de norm moeten de representatieve $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ -waarden afkomstig zijn van een meting op 2m hoogte en op 2m afstand van de meest belaste gevel. Dit betekent automatisch dat in deze waarde ook de reflecties van de achterliggende gevel zitten.
In het geval er gemeten wordt op een plaats waar (nog) geen gebouw staat zijn deze gevelreflectie er niet. Om dan toch een L_{Aref}-waarde vast te leggen dient de gemeten waarde met 3 dB verhoogd te worden.
In de verschillende meetpunten van de verschillende cases die in een volgende paragraaf getoond worden werd gemeten zowel ter hoogte van gevels van gebouwen als in het open veld zonder reflectie van een achterliggende gevel. Om een onderscheid te maken tussen beide situaties werden volgende grootheden gebruikt:

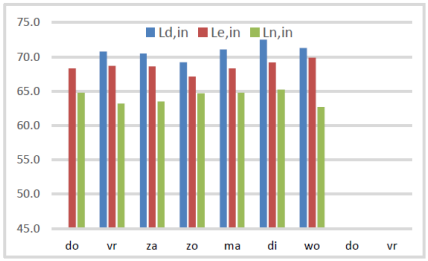
- $L_{Aref,day(night),in}$ om aan te geven dat de meting gebeurde zonder gevelreflectie. Deze waarde dient nog met 3 dB verhoogd te worden om de waarde voor $L_{Aref,day(night)}$ te bekomen zoals gedefinieerd in de norm.
- $L_{Aref,day(night),2m}$ om aan te geven dat de meting gebeurde op 2m van een gevel, met gevelreflectie. Deze waarde is gelijk aan $L_{Aref,day(night)}$ zoals gedefinieerd in de norm.

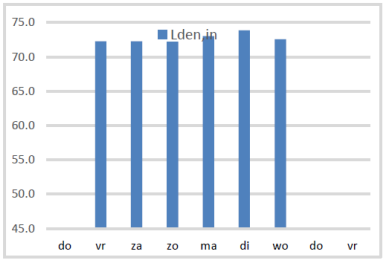
5.2.2.3 Bepaling van de Europese indicatoren L_{day}, $L_{evening}$, L_{night}, L_{den}

De indicatoren L_{day}, $L_{evening}$, L_{night}, L_{den} of respectievelijk L_d, L_e, L_n, L_{den} worden eveneens berekend over de volledige meetperiode aan de hand van de gemeten $L_{Aeq,1s}$ waarden.
Dit is gebeurd als volgt:

1. L_{day}, $L_{evening}$ en L_{night} worden afzonderlijk bepaald uit de $L_{Aeq,1s}$-waarden en dit voor elke (volledige) dag, avond en nacht van elk etmaal apart.
2. Uit deze L_{day}, $L_{evening}$ en L_{night} werd vervolgens de L_{den}-waarde bepaald voor elk volledig etmaal.
3. Van alle L_{day}, $L_{evening}$, L_{night}, L_{den} -waarden van elk etmaal werd de gemiddelde waarde bepaald als waarde voor de volledige meetperiode: zie voorbeeld hieronder:

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
do 23 mei 2019		68.3	64.8	
vr 24 mei 2019	70.8	68.7	63.2	72.3
za 25 mei 2019	70.5	68.6	63.5	72.3
zo 26 mei 2019	69.2	67.1	64.7	72.2
ma 27 mei 2019	71.1	68.3	64.8	73.0
di 28 mei 2019	72.5	69.2	65.2	73.9
wo 29 mei 2019	71.3	69.9	62.7	72.6
do 30 mei 2019				
vr 31 mei 2019				
gemiddeld	70.9	68.6	64.1	72.7





Tabel 8: Voorbeeldberekening van de Europese indicatoren van een meetperiode

Opmerking:
De Europese indicatoren worden verondersteld bepaald te zijn zonder gevelreflectie van een achterliggend gebouw. In het geval er gemeten wordt vóór een gevel van een gebouw is ook de bijdrage van deze reflecties meegenomen in het resultaat. Om dan de Europese indicatoren te bepalen zou dan de gemeten waarden met 3 dB verminderd dienen te worden.
In de verschillende meetpunten van de verschillende cases die in een volgende paragraaf getoond worden werd gemeten zowel ter hoogte van gevels van gebouwen (met reflecties) als in het open veld (zonder reflectie van een achterliggende gevel). Om een onderscheid te maken tussen beide situaties werden volgende indicatoren gebruikt voor L_{day} (idem voor de andere indicatoren $L_{evening}$, L_{night} en L_{den}):

- $L_{day,in}$ om aan te geven dat de meting/berekening gebeurde zonder gevelreflectie. Deze waarde is conform de definitie van L_{day}.
- $L_{day,2m}$ om aan te geven dat de meting/berekening gebeurde op 2m van een gevel, met gevelreflectie. Deze waarde is nog met 3 dB te verlagen om conform de definitie van L_{day} te zijn.

5.2.2.4 Bepaling van de $L_{Amax,nx}$ -waarden

Om piekgeluiden te bepalen dienen de maximaal voorkomende $L_{Aeq,1s}$-waarden van voertuigpassages bepaald te worden. De waarde $L_{Amax,nx,(night)}$ is dan het maximale geluiddrukniveau $L_{Aeq,1s,max,passage}$, veroorzaakt door de passage van een voertuig, dat minstens n maal per nacht gedurende minstens één nacht per week overschreden wordt. Volgens de huidige norm is de nachtperiode van 22u tot 06u; volgens het ontwerp van nieuwe norm is dit tussen 23 u en 07 u (zie §4.2.2, §0, §4.2.4).

Voor elke nachtperiode over de volledige meetduur in een meetpunt werden de grootheden $L_{Amax,3x}$ (22u-6u), $L_{Amax,1x}$ (23u-7u), $L_{Amax,3x}$ (23u-7u), $L_{Amax,5x}$ (23u-7u) en $L_{Amax,10x}$ (23u-7u) als volgt bepaald:

1. Van elke opeenvolgende minuut tijdens de nachtperiode wordt de maximale waarde bepaald van $L_{Aeq,1s}$ die tijdens deze minuut opgetreden is. Enkel de waarden boven 70 dB(A) worden beschouwd.
2. Vervolgens wordt elke van deze maximale waarden vergeleken met deze van de voorgaande en de volgende minuut. Wanneer deze maximale waarde groter is dan zijn voorgaande en volgende werd hij weerhouden.
3. Daarna werd voor elke nachtperiode de hoogste, de 3de hoogste, de 5de hoogste en de 10de hoogste waarde van deze waarden genomen als maximale waarde $L_{Amax,nx}$ van de betreffende nacht.
4. Tot slot worden de waarden voor $L_{Amax,nx}$ bepaald als gemiddelde van al de $L_{Amax,nx}$ waarden van de nachten van de meetperiode.

Met voorgaande werkwijze worden enkel de pieken beschouwd die minstens 60 seconden uit elkaar liggen. Op deze manier zal er van eenzelfde bron (voertuig), waarbij meerdere opeenvolgende pieken voorkomen (bv een trein), er maar één maximale waarde genomen worden. Zo wordt vermeden dat eenzelfde bron aanleiding kan geven tot meerdere hoogste pieken. Voor de eenduidige toepassing van een isolatiecriterium moet deze detectiemethode dan ook duidelijk gepreciseerd worden .... In de NBN-norm is dit al duidelijk gesteld door de beoordeling te doen voor de passage van 1 voertuig: de maximale waarde van alle $L_{Aeq,1s}$ -waarden die gemeten worden gedurende de passage van een voertuig (tram, trein, bus, vliegtuig, …).
Moesten er toch twee aparte events kort na elkaar de hoogste waarden veroorzaken (binnen de 1 à 2 minuten) dan is het toch weinig zinvol om elk van deze piekwaarden te weerhouden. De detectie van piekgeluiden, en de voorzieningen van geluidisolatie ter reductie van piekgeluiden dienen om het ontwaken tijdens de nacht te voorkomen. Wanneer iemand ontwaakt van een pieklawaai dan zal hij/zij binnen de volgende 1 à 2 minuten

nog niet terug in slaap zijn en opnieuw wakker worden van de volgende piek. De ontwerpnorm maakt hierin echter geen differentiatie. Het is het L_{Amax}-niveau van elke individuele passage van een voertuig dat 'meetelt' in de beoordeling.

Opmerking:
In de huidige norm en het ontwerp van nieuwe norm voor gevelisolatie worden de waarden van piekgeluiden bepaald uit de gemeten seconden waarden van de meetperiode die op 2m voor de gevel worden verricht. Ook voor deze piekwaarden treedt aldus het effect van gevelreflectie op. Indien de metingen op het naakte terrein gebeuren dan moet ook hier 3 dB bijgeteld worden.
In het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift daarentegen worden de piekgeluiden geëvalueerd als 'invallend geluid'. Gevelreflecties mogen dan niet meegenomen worden.
Om de juiste waarde te kiezen voor verdere berekeningen van gevelisolaties wordt daarom in hetgeen volgt aangeven of de berekende of gemeten waarde inclusief of exclusief gevelreflectie is:

- $L_{Amax,nx,in}$ om aan te geven dat de meting gebeurde zonder gevelreflectie.
- $L_{Amax,nx,2m}$ om aan te geven dat de meting gebeurde op 2m van een gevel, met gevelreflectie.

5.2.3 Bepaling van de grootheden voor gevelbelasting uit berekeningen

5.2.3.1 Geluidskaarten

De Europese richtlijn 2002/49/EG van 25 juni 2002 'inzake de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai (richtlijn omgevingslawaai)[10]', omgezet in deel 2 van VLAREM II via het Besluit van de Vlaamse Regering van 22 juli 2005[11] heeft tot doel "het omgevingslawaai en de hieruit voortkomende geluidshinder en schadelijke effecten te vermijden, te voorkomen of te verminderen en een goede geluidskwaliteit te bewaren."
Hiertoe zijn volgende maatregelen te treffen:

- Het opstellen van strategische geluidsbelastingskaarten. Deze kaarten geven aan wat de geluidsbelasting is in de omgeving van de belangrijkste wegen, spoorwegen, luchthavens en agglomeraties in Vlaanderen.
- Het opmaken van een geluidsplanning en het opstellen van geluidsactieprogramma's op basis van de geluidsbelastingskaarten.
- Het voorlichten van het publiek.

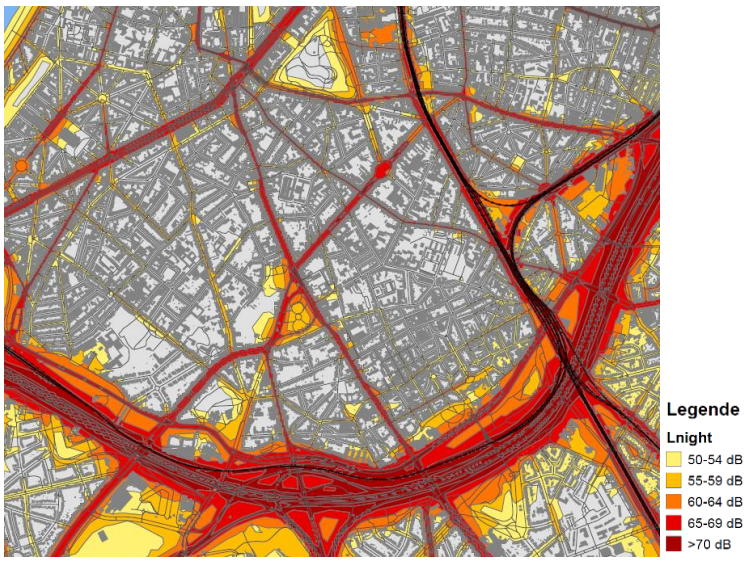
De strategische geluidsbelastingkaarten zijn het resultaat van een modelberekening. Het gemiddelde geluidsniveau afkomstig van het verkeerslawaai wordt ter hoogte van de ontvanger voorgesteld met kleurcodes. De waarneemhoogte is vastgelegd op 4m. De kaarten zijn opgebouwd uit een raster van 10 m op 10 m. [12]
De geluidsbelasting in een rasterpunt is het resultaat van een berekening. Deze berekening houdt rekening met verschillende grootheden zoals: verkeersintensiteit, type verkeer, type wegdek, type trein, type vliegtuigen, (toegelaten) snelheid, geometrie van de omgeving en aanwezigheid van afschermende of reflecterende objecten, het type wegverharding, aard bodem (absorberende of reflecterende oppervlaktes), meteo, …
De berekeningen zijn gebeurd op basis van jaargemiddelde verkeersintensiteiten.

[10] RICHTLIJN 2002/49/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai (https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:NL:PDF).
[11] 22 JULI 2005. - Besluit van de Vlaamse Regering inzake de evaluatie en de beheersing van het omgevingslawaai en tot wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende de algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne (http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article.pl?language=nl&caller=summary&pub_date=2005-08-31&numac=2005036007)
[12] In de toegepaste rekenmodellen voor luchtverkeerslawaai worden andere parameters gebruikt met een ruimer raster

De strategische geluidsbelastingkaarten voor het referentiejaar 2016 voor belangrijke wegen, belangrijke spoorwegen en voor de luchthaven Brussel-Nationaal werden op 1 juni 2018 door de Vlaamse Regering goedgekeurd.

Op 13 juli 2018 werden ook de strategische geluidsbelastingkaarten voor agglomeraties met meer dan 100.000 inwoners goedgekeurd. [13]

De beschikbare strategische geluidsbelastingskaarten geven zowel de geluidsniveaus L_{den} als L_{night}. Zowel de strategische geluidsbelastingskaarten voor wegverkeer, spoorverkeer, luchtverkeer, industrielawaai als deze voor de totale belasting kunnen geraadpleegd worden. Deze kaarten bevatten ook de reflecties van gebouwen (eerste orde reflectie).



Figuur 3: Voorbeeld van een deel van een strategische geluidsbelastingskaart (agglomeratie Gent)

5.2.3.2 Aflezen van de geluidsbelasting op strategische geluidsbelastingskaarten

De beschikbare strategische geluidsbelastingskaarten geven de waarde van L_{den} of L_{night} weer. Zij worden via interpolatie van de berekende waarden in de rasterpunten weergegeven. Deze rasterpunten vallen niet samen met bijvoorbeeld gevels, maar liggen om de 10m bij 10m. Daarenboven worden ze enkel getoond voor stappen van 5 dB.

Aflezen van een geluidsbelasting op een bepaalde locatie is dan ook niet zo nauwkeurig. Enerzijds wordt de weergegeven kleur bepaald door de berekeningswaarden in de omgevende rasterpunten; anderzijds situeert de afgelezen kleur zich ook binnen een schaal van 5 dB. Om nauwkeuriger de waarde te bepalen dient men dan zelf te interpoleren. Daarenboven zullen ook veel rasterpunten, zeker in stedelijk gebied, samenvallen met woningen.

[13] Beschikbare strategische geluidsbelastingskaarten zie: https://omgeving.vlaanderen.be/geluidsbelastingskaarten

Om al deze redenen is het aflezen van de geluidsbelasting op een bepaalde locatie slechts een ruwe inschatting van de geluidsbelasting op deze plaats. Dit wordt verder bij de bespreking van de verschillende cases getoond.
Het gebruik van strategische geluidsbelastingskaarten is in de toepassing van het ontwerp gewestelijk voorschrift dan ook enkel maar bedoeld voor eenvoudige situaties met lage complexiteit, zoals hoger vermeld onder § 5.1(Doel van het onderzoek en werkwijze).
Bij deze strategische geluidsbelastingskaarten zijn ook de eerste orde reflecties steeds meegerekend. Locaties dicht bij gebouwen worden dan ook beïnvloed door de reflectie van dit achterliggende gebouw.

5.2.3.3 Berekenen van de geluidsbelasting via de gegevens van geluidsbelastingskaarten

Beschikt men over het model van de geluidsbelastingskaarten en de invoergegevens, dan kan de berekening opnieuw uitgevoerd worden, voor de exacte locatie waar ook de metingen werden uitgevoerd.
Bij de verdere bespreking van de verschillende cases in de volgende paragrafen werd voor elk meetpunt ook de berekening uitgevoerd op exact dezelfde locatie (ook in hoogte) met de gegevens van het akoestisch model van de geluidsbelastingskaarten. Op deze manier kan afgeleid worden of er een verschil is tussen de gemeten en de berekende geluidsbelastingsgrootheden en zo ja, hoe groot deze verschillen zijn.
Deze berekeningen werden uitgevoerd voor de verschillende Europese indicatoren L_{day}, $L_{evening}$, L_{night} en L_{den}.

5.2.3.4 Validatie van het akoestisch model

Voor elke locatie en elk meetpunt en hun omgeving werden akoestische modellen gemaakt van de verschillende cases. Deze modellen bevatten de huidige invoergegevens van de strategische geluidsbelastingskaarten voor deze gebieden. Zoals in vorige paragraaf vermeld werden de waarden van L_{day}, $L_{evening}$, L_{night} en L_{den} berekend op de exacte locaties van de meetpunten. Daarna werden de gemeten waarden vergeleken met de berekende waarden in elk meetpunt. Dit werd gedaan voor L_{night} en L_{den}. Wanneer bleek dat er belangrijke verschillen voorkwamen tussen de metingen en berekeningen dan werd naar de oorzaak van deze verschillen gezocht. Dit is bijvoorbeeld de huidige wegbedekking die niet meer gelijk is aan de keuze van het wegdektype in de simulatie; de snelheid van de voertuigen die verschilt; … Deze aspecten werden aangepast om te komen tot een gevalideerd akoestisch model, waarbij de berekeningsresultaten meer overeenkomen met de meetresultaten.
Het is natuurlijk niet altijd eenduidig waarom er verschillen zijn tussen de metingen en berekeningen. Berekeningen zijn gebaseerd op jaarlijkse gemiddelde verkeersintensiteiten die kunnen verschillen van de intensiteiten tijdens de meetperiode. Ook de windrichting kan invloed hebben op de resultaten voor punten die op grotere afstanden van de bron liggen, enz… Om deze reden kan een validatie van een rekenmodel op basis van metingen maar correct uitgevoerd worden indien alle randvoorwaarden (meteo, verkeersintensiteiten ...) één-op-één met elkaar overeenstemmen. Dit vraagt in principe bij meting een registratie van al deze parameters.
Tot slot is het ook belangrijk te vermelden dat de geluidsvermogens van de voertuigen die in de akoestische modellen gebruikt worden niet meer zo heel recent zijn. Bij bijvoorbeeld wegverkeer zijn ze gebaseerd op gemiddelde geluidsvermogens afkomstig van enerzijds het bandengeluid en anderzijds het motorgeluid en werden bepaald voor de meest courante snelheden. Ondertussen is het motorgeluid van de voertuigen steeds stiller geworden, en is ook het bandengeluid niet meer geheel gelijkaardig (nieuwere bandentypes, maar dan weer meer grotere en bredere banden van bv 4x4 voertuigen). Zeker bij lage snelheden van wagens in stedelijke omgeving (bv zone 30) kunnen om deze reden de afwijkingen wel belangrijk zijn. Hiervan zijn echter geen

gegevens beschikbaar. Ook van het lawaai afkomstig van tramstellen zijn de invoergegevens te weinig nauwkeurig.

Om al deze redenen zullen er steeds afwijkingen blijken te zijn tussen de waarden van grootheden bekomen met metingen en dezelfde grootheden bepaald via berekeningsmodellen. Het is daarom belangrijk om de invoergegevens van een akoestisch model zo nauwkeurig als mogelijk te kiezen.

5.2.4 Akoestische simulaties van de cases

In de voorgaande paragrafen werd uiteengezet via welke opeenvolgende stappen het akoestisch model van een bepaalde locatie en zijn omgeving maximaal werd aangepast aan de situatie zoals deze voorkomt in de huidige situatie van de uitgevoerde metingen. Het gevalideerde model dat hiermee wordt bekomen laat toe om simulaties te maken van nieuwe (toekomstige) situaties en de geluidsbelastingen voor deze nieuwe situaties te bepalen.
Voor elke cases werd eerst de huidige situatie berekend, maar dan op verschillende hoogtes boven het maaiveld. Hiermee kan nagegaan worden hoe het geluidsniveau zich verspreid over de omgeving op verschillende hoogtes en welke onderlinge verschillen er op treden.

Vervolgens werd er gekozen voor één of meerdere nieuwe simulaties:

- Simulaties met een naakt bouwterrein zonder gebouwen.
- Simulaties met één enkel gebouw op dit nieuwe bouwterrein
- Simulaties met meerdere gebouwen op het nieuwe bouwterrein
- Simulaties met openingen in bestaande rijbebouwingen

Voor elk van deze simulaties werden berekeningen uitgevoerd over het gehele terrein en terug op verschillende hoogtes. Hiermee kan worden nagegaan wat het effect is van gebouwen op de omgeving, op andere gebouwen (nieuwe of bestaande), het effect van de hoogte, van afschermingen, van openingen, …

Voor elke case werden ook simulaties uitgevoerd van de optredende geluidsdrukniveaus op 2 m van de voornaamste gevels (inclusief gevelreflecties). Hiertoe werden rasterpunten van 3m bij 3m gelegd op 2 m afstand van de gevels van de gebouwen. Deze simulaties geven een duidelijker zicht welke geluidsbelasting optreedt ter hoogte van de gevels en hoe dit varieert in hoogte en van gevel tot gevel.
Elk van voorgaande simulaties werden uitgevoerd op basis van de L_{den}- waarden.

<u>Opmerking:</u>
In het kader van de toepassing in MER-studies worden ook gevelbelastingskaarten opgemaakt ter beoordeling van de toegestane geluidsblootstelling. Hierbij kan de bedenking gemaakt worden of er dan steeds 2 benaderingen nodig zijn, namelijk via 2 modellen. Eén model met "gevelbelastingspunten" (invallend geluid) en één met waarneempunten op 2 m voor de gevel.
Eén berekening op basis van gevelbelastingskaarten kan volstaan. Dit is in de toepassing van het gewestelijk voorschrift de meest correcte benadering.

5.3 RESULTATEN VAN DE STUDIE VAN DE CASES

5.3.1 Overzicht cases

Volgende cases werden bestudeerd:

1. Case 1: in Antwerpen aan de Botelaarbaan:

Figuur 4: Zicht op de Botelaarbaan

Voornaamste kenmerken:

- Ligging: open omgeving langs een drukke invalsweg
- Aard verkeerslawaai: enkel wegverkeerslawaai
- Ligging bronnen en wegbedekking: 2x2 baanvaksweg met asfaltwegbedekking
- Aantal metingen: metingen uitgevoerd op 2 locaties

2. Case 2: in Antwerpen aan de Sint-Bernardsesteenweg:

Figuur 5: Zicht op de Sint-Bernardsesteenweg

Voornaamste kenmerken:

- Ligging: zone met aaneengesloten bebouwing langs weerskanten van een drukke invalsweg
- Aard verkeerslawaai: wegverkeerslawaai en tramverkeerslawaai
- Ligging bronnen en wegdekking: 2 tramrijstroken in het midden van de weg en 1 rijvak in elke richting langs de tramlijnen; asfaltwegbedekking voor het wegverkeer
- Aantal metingen: metingen uitgevoerd op 3 locaties

3. Case 3: in Gent aan de Noordhoutstraat langs de E40:

Figuur 6: Zicht op de Noorhoutstraat en de aanliggende E40

Voornaamste kenmerken:

- Ligging: open zone langs de E40 autosnelweg
- Aard verkeerslawaai: enkel wegverkeerslawaai
- Ligging bronnen en wegdekking: autosnelweg met 2x 3 rijvakken en plaatselijke toegangsweg (Noordhoutstraat) met 1 rijbaan en beide met een wegbedekking uit asfalt
- Aantal metingen: metingen uitgevoerd op 3 locaties

4. Case 4: in Gent aan de Voskenslaan:

Figuur 7: Zicht op de Voskenslaan (gedeelte zonder tramlijn)

Figuur 8: Zicht op de Voskenslaan (gedeelte met tramlijn)

Voornaamste kenmerken:

- Ligging: zone met aaneengesloten bebouwing langs weerskanten
- Aard verkeerslawaai: langs 2 meetpunten enkel wegverkeerslawaai; langs 1 meetpunt zowel wegverkeerslawaai als tramlawaai
- Ligging bronnen en wegdekking: 2 rijvakken in de zone met enkel wegverkeer; 2 tramrijstroken in het midden van de weg en 1 rijvak in elke richting langs de tramlijnen in de zone van wegverkeer en tramverkeer. Wegbedekking in asfalt.
- Aantal metingen: metingen uitgevoerd op 3 locaties

5. <u>Case 5: in Gent aan de Burgravenlaan</u>:

Figuur 9: Zicht op de Burgravenlaan

Voornaamste kenmerken:

- Ligging: één zijde van de weg heeft een aaneengesloten bebouwing, de andere zijde grenst aan de verhoogde spoorwegberm en is open.
- Aard verkeerslawaai: Zowel wegverkeerslawaai als treinlawaai
- Ligging bronnen en wegdekking: rijweg met 2 rijvakken met asfalt als wegbedekking; treinbedding op verhoogde berm met 4 sporen.
- Aantal metingen: metingen uitgevoerd op 3 locaties

6. Case 6: in Gent aan de Slachthuisstraat/Kasteellaan:

Figuur 10: Zicht op de Kasteellaan

- Ligging: één zijde van de weg heeft een aaneengesloten bebouwing, de andere zijde grenst aan een open terrein waarachter een spoorweg loopt.
- Aard verkeerslawaai: zowel wegverkeerslawaai als treinlawaai
- Ligging bronnen en wegdekking: rijweg met 2x2 rijvakken met asfalt als wegbedekking; treinbedding met 3 sporen.
- Aantal metingen: metingen uitgevoerd op 2 locaties

Verder wordt elke case apart besproken met de resultaten van de metingen en simulaties. In bijlage wordt voor elk meetpunt van elke case een gedetailleerde fiche gegeven met onder meer de ligging van de meetpunten en een overzicht van de meetresultaten.

5.3.2 Case 1 – Botelaarbaan te Antwerpen

Site:

Locatie:	Boterlaarbaan - Antwerpen	Case	1
Type:	Open zone langs invalssteenweg		
Bron:	Wegverkeer		
Beschrijving:	2x2 rijstroken - asfalt		

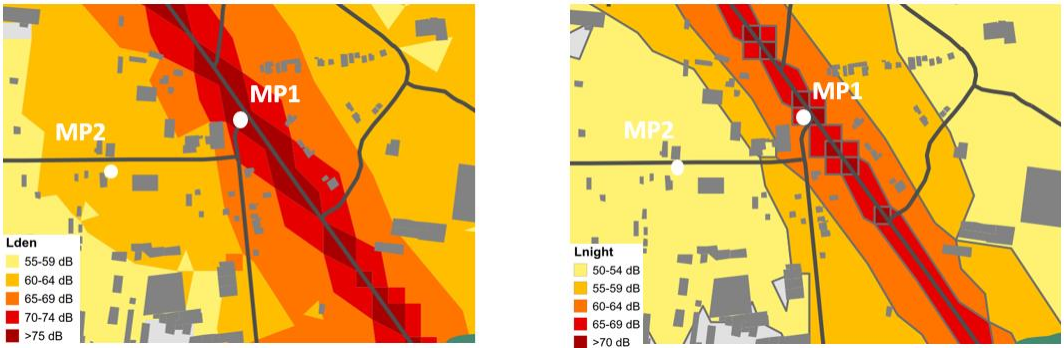
Figuur 11: Case 1 met meetlocaties

Meetpunten:

- Meetpunt 1: langs de Botelaarbaan op 4m hoogte, zonder gevelreflecties
- Meetpunt 2: in het veld op grotere afstand van de Botelaarbaan, zonder gevelreflecties

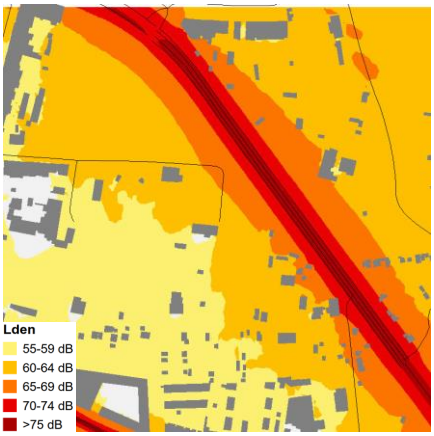
Geluidsbelastingskaarten voor en na validatie

- Actuele geluidsbelastingskaarten agglomeratie Antwerpen:



Figuur 12: Actuele geluidsbelastingskaarten van respectievelijk L_{den} en L_{night} van case 1 met meetpunten

- Berekende geluidsbelastingskaart van L_{den} na validatie in de meetpunten volgens de tabel hieronder:



Figuur 13: Gevalideerde geluidsbelastingskaart van L_{den} voor case 1

Volgende tabel geeft respectievelijk de meetresultaten in de meetpunten, de aflezing op de huidige geluidskaart, de detailberekening in het meetpunt aan de hand van de geluidskaartgegevens en de detailberekening na validatie van de invoergegevens van de geluidskaart en dit voor L_{den} en $L_{n(ight)}$.
Ook de verschillen van elke berekening met de meting worden getoond (in het rood).

CASE 1 :	Boterlaarbaan Antwerpen							weg
Meetpunt	**Parameter**	**Meting**	**Geluidskaart**		**Detail berekening**		**Na validatie**	
1	$L_{den1,in}$	73.0	2.0	75.0	-0.2	72.8	-0.7	72.3
	$L_{n1,in}$	64.0	0.0	64.0	0.5	64.5	0.0	64.0
2	$L_{den2,in}$	58.0	4.0	62.0	2.8	60.8	2.6	60.6
	$L_{n2,in}$	51.0	2.0	53.0	1.9	52.9	1.7	52.7

Tabel 9: Resultaten metingen en berekeningen meetpunten case 1

De validatie gebeurde door een lichte aanpassing van de bodemabsorptie.

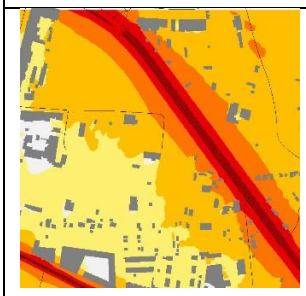
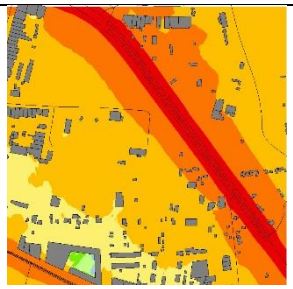
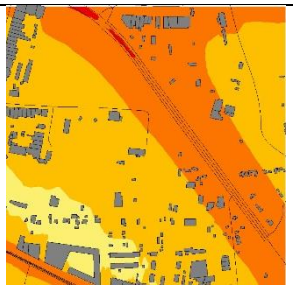
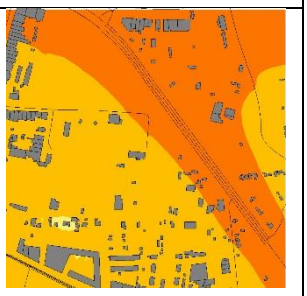
Resultaten simulaties geluidskaarten op verschillende hoogtes:

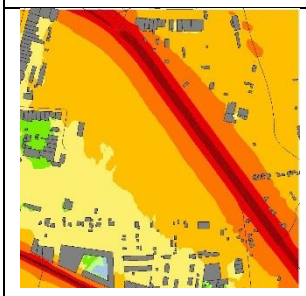
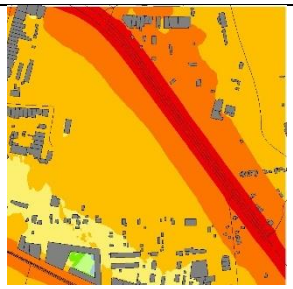
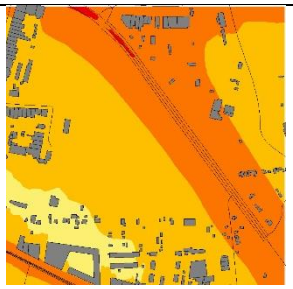
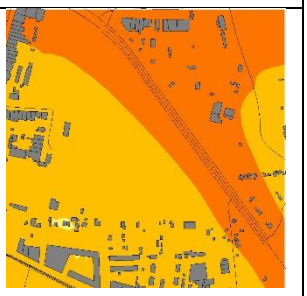
De volgende pagina toont de geluidskaarten van de L_{den}-waarde van de uitgevoerde simulaties. De volgende simulaties werden uitgevoerd:

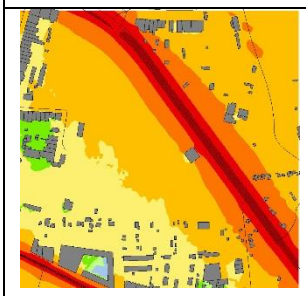
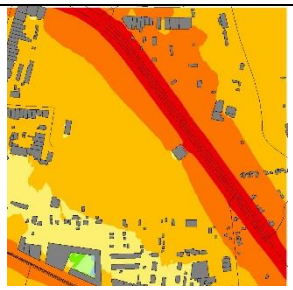
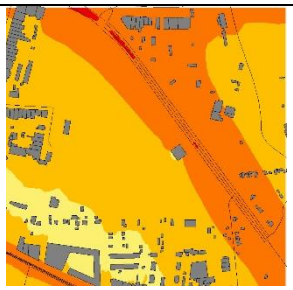
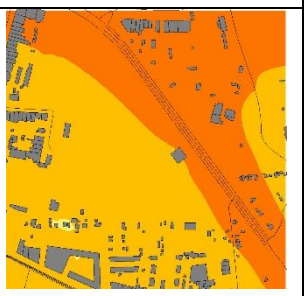
1. De huidige situatie na validatie voor verschillende hoogtes boven het maaiveld (4m, 10m, 20m en 40m).
2. Dezelfde situatie waarbij een over een zone het terrein werd leeggemaakt (leeg terrein).
3. Idem als vorige simulatie met 1 bouwblok van 32m hoogt ingeplant langs de verkeersweg.
4. Dezelfde situatie maar met meerdere gebouwen van verschillende hoogtes in 2 achter elkaar liggende rijen.

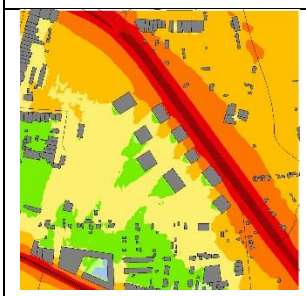
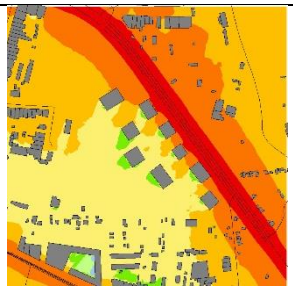
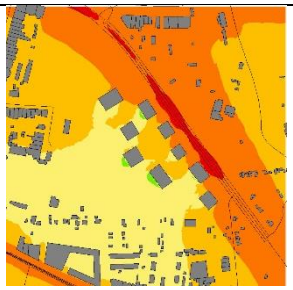
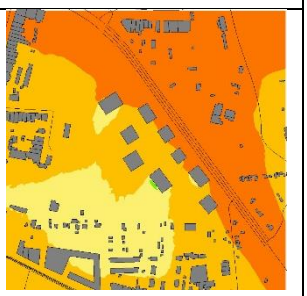
Op deze geluidskaarten kunnen reeds enkele opvallende kenmerken afgeleid worden:

- Op beperkte hoogte boven het maaiveld (bv 4m) nemen de geluidsniveaus sterk af verder van de rijbaan. Deze afname is veel minder sterk op grote hoogtes.
- De bestaande gebouwen kort bij de weg hebben enig afschermend effect op het achterliggende terrein maar enkel op beperkte hoogte boven het maaiveld. Dit is zichtbaar wanneer de kaarten van de huidige situatie vergeleken worden met deze van het lege terrein.
- Wanneer er op het naakte bouwterrein slechts 1 gebouw ingeplant wordt, kort bij de verkeersweg en ver van andere gebouwen, dan heeft dit nauwelijks tot geen invloed op het achterliggende terrein. De rijweg wordt nauwelijks afgeschermd voor de andere terreinlocaties.
- Aan de voorzijde van het gebouw treedt een ‘aanzuigeffect’ op. Het geluidsniveau neemt plaatselijk toe aan de voorzijde van het gebouw (wegens geluidsreflecties).
- De inplanting van meerdere gebouwen, los van elkaar, in 2 opeenvolgende rijen heeft wel een belangrijk effect op het terrein, ook op grotere afstand en dit op verschillende hoogtes.
- Ook het effect op de zone achter elk gebouw wordt voor deze situatie veel groter. Achter de woningen is er een grotere zone met een verlaagd geluidsniveau.
- De effecten zijn vooral gunstig op de 2de rij bebouwing, ondanks het feit van openingen tussen de gebouwen op de eerste rij. Ook de hoogte van de gebouwen speelt hierin een rol.

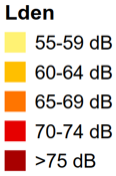
Huidige situatie na validatie			
			
Lden 4m	*Lden 10m*	*Lden 20m*	*Lden 40m*

Leeg terrein			
			
Lden 4m	*Lden 10m*	*Lden 20m*	*Lden 40m*

Situatie met 1 bouwblok			
			
Lden 4m	*Lden 10m*	*Lden 20m*	*Lden 40m*

Situatie met meerdere bouwblokken			
			
Lden 4m	*Lden 10m*	*Lden 20m*	*Lden 40m*

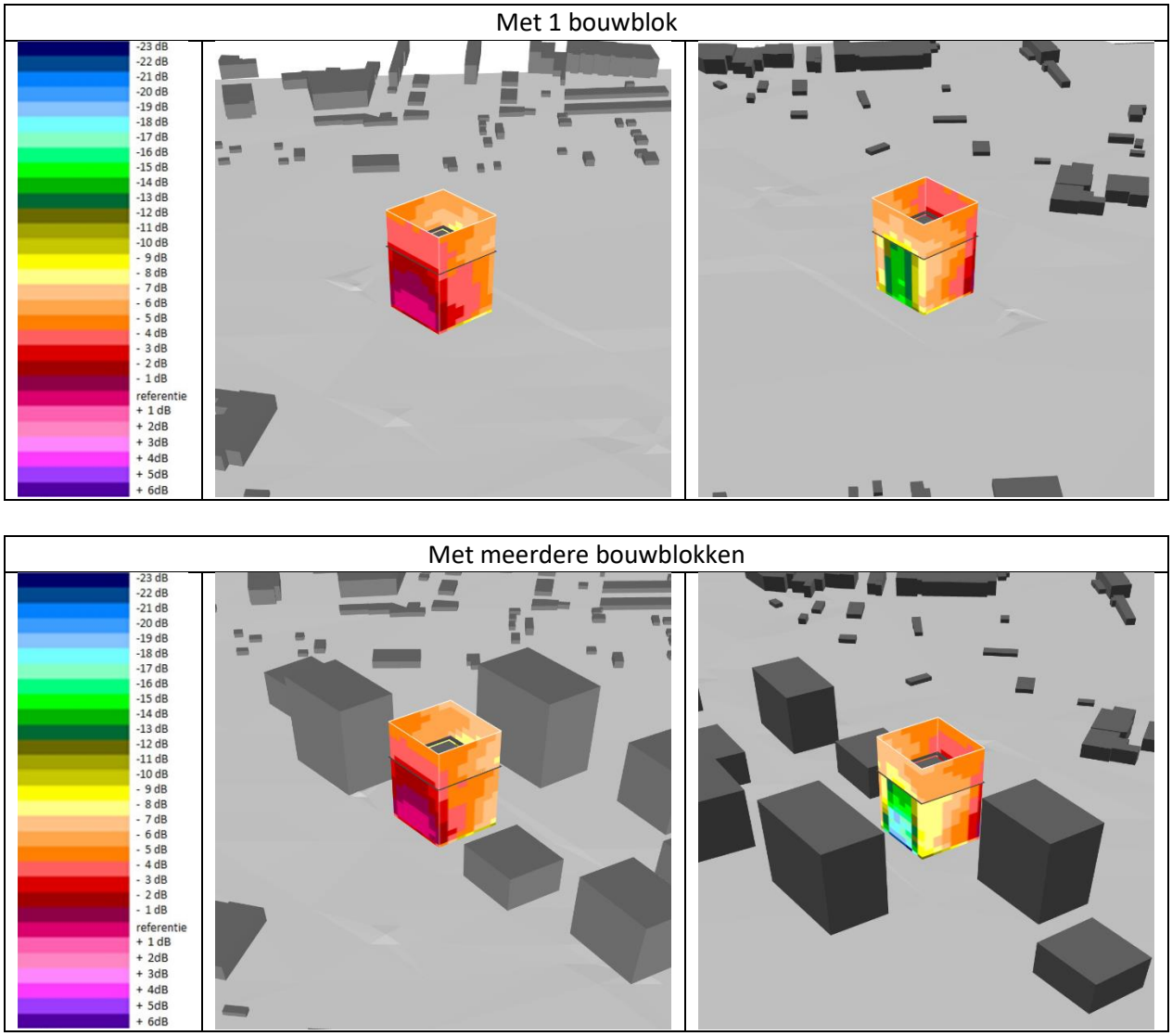
Figuur 14: Geluidsbelastingskaarten van L_{den} voor verschillende simulaties voor case 1



Resultaten simulaties gevelbelasting:

De geluidsbelasting aan de gevels van de gebouwen kan sterk variëren. De volgende figuren tonen de berekeningsresultaten van de L_{den}-waarden berekend op 2 m van de gevels van een gebouw van 32 m hoogte, gelegen langs de rijweg op het naakte terrein en dezelfde situatie met meerdere gebouwen (zie simulaties hiervoor). Ook berekeningspunten boven het gebouw worden getoond. Het gebouw zelf stopt ter hoogte van de aangeduide lijn op de gevels.

De berekeningen werden uitgevoerd per stap van 1 dB om de verschillen aan de gevels duidelijk te illustreren. De hoogste waarde op 2m hoogte van de meest belaste gevel ligt tussen 70 en 71 dB en is de referentiewaarde (L_{Aref}).

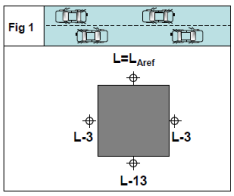


Figuur 15: Geluidsbelasting op 2 m van de gevels voor simulaties voor case 1

Volgende conclusies kunnen uit deze simulaties getrokken worden:

- Aan de voorgevel nemen de geluidsniveaus slechts weinig af in hoogte. Het verschil in geluidsniveau tussen het meest belaste geveldeel en de andere plaatsen van de voorgevel is slechts 2 dB. De andere gebouwen hebben ook geen invloed op de geluidsniveaus op de voorgevel van het gebouw langs de rijweg.
- Langs de zijgevels is er een afname van ca. 3 dB in het midden van het gebouw tot ongeveer 6 dB achteraan. In de hoogte is hier nauwelijks verschil.
- Met gebouwen langs de zijgevel gebeurt er enige afscherming van de zijgevel. Voor een laag langsliggend gebouw is het effect zeer beperkt. Voor een hoog gebouw is het effect iets duidelijker maar de verschillen met de situatie zonder aanliggend gebouw blijven toch beperkt. Dit is natuurlijk ook in sterke mate afhankelijk van de tussenafstand tussen de gebouwen.
- Aan de eigen achtergevel is de geluidsafname ten opzichte van de referentiewaarde aan de voorgevel sterk: 14 à 15 dB in de middenzone. Aan de randen is dit ca. 7 à 8 dB. In de hoogte is er echter geen verschil.
- Met aanliggende gebouwen wordt ook de reductie op de achtergevel hoger. Hier verlaagt hij zelfs met 18 dB op een groot deel van de achtergevel.

Deze resultaten liggen in de lijn van rekenregels van de huidige norm om het geluidsniveau aan de verschillende gevels te bepalen aan de hand van L_{Aref} voor het geval van een gebouw gelegen langs één verkeersas.

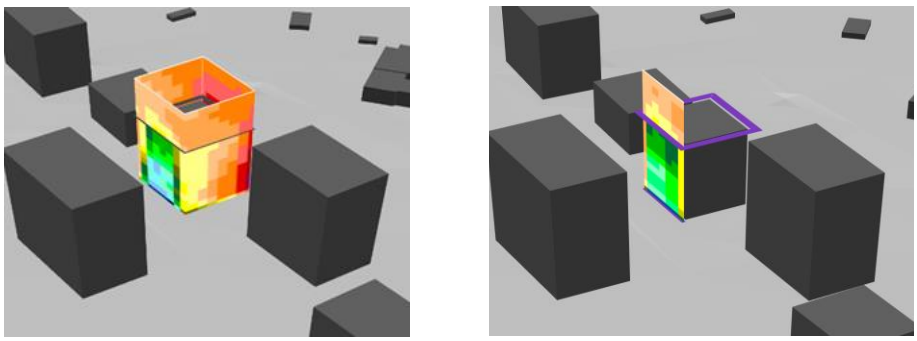


Figuur 16: Rekenregels om L_A af te leiden uit L_{Aref} (Bijlage B van NBN S 01-400-1)

Op 2m boven het platte dak variëren de geluidsniveaus van L_{Aref} - 4 dB aan de voorste dakrand tot L_{Aref} - 9 dB aan de achterste dakrand.

<u>Opmerking:</u>

De berekeningen werden uitgevoerd met 1ste-orde reflecties van de gebouwen. In werkelijkheid wordt het geluid ook meerdere keren gereflecteerd en kan dit ook leiden tot lokaal hogere waarden, zeker op geveldelen die geen direct geluid ontvangen zoals een achtergevel. De onderstaande figuur toont de simulatie van de geluidsniveaus op de achtergevel in het geval van 1 reflectie (zoals de vorige simulaties) en 2 reflecties. Er is enig verschil merkbaar maar dit is beperkt tot 1 à 2 dB en voornamelijk in de middenzone van deze gevel.

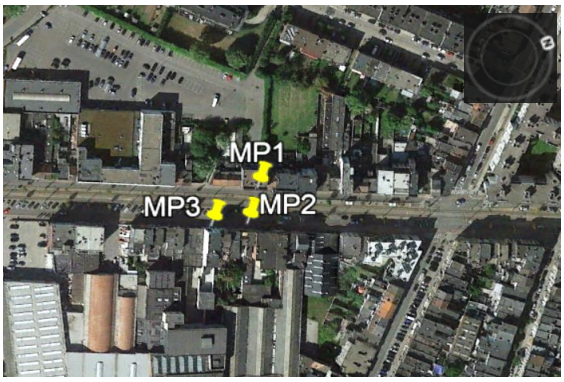


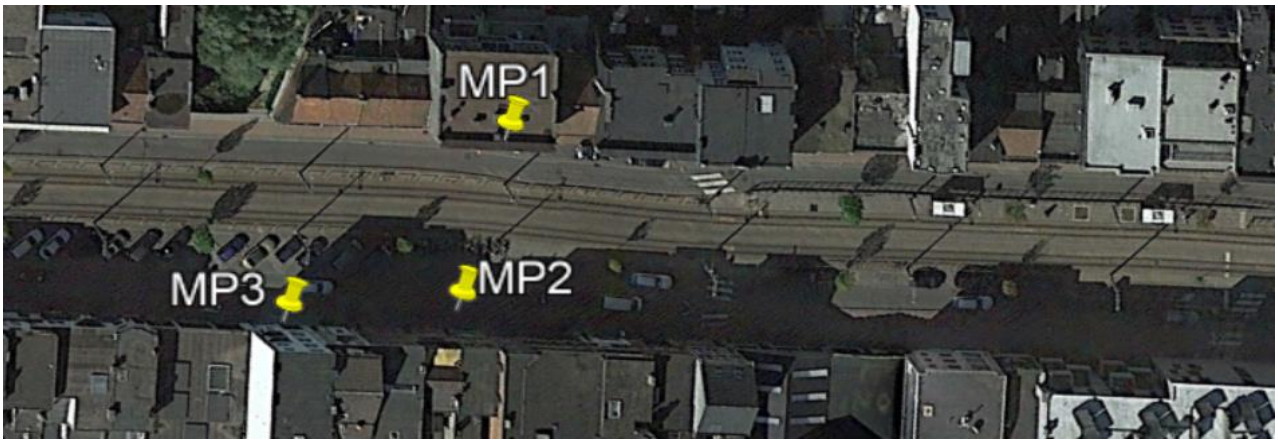
Figuur 17: Simulatie van L_{den} op de achtergevel met respectievelijk 1ste (links) en 2deorde (rechts) reflecties

5.3.3 Case 2 – Sint-Bernardsesteenweg te Antwerpen

Site:

Locatie:	Sint Bernardsesteenweg - Antwerpen	Case	2
Type:	Gesloten zone met tram en weg		
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer		
Beschrijving:	2x1 Tram + 2x1 rijstroken - asfalt		





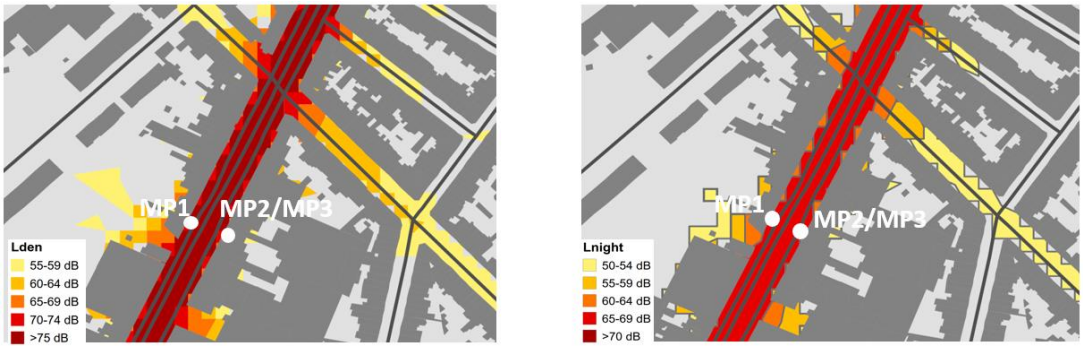
Figuur 18: Case 2 met meetlocaties

Meetpunten:

- Meetpunt 1: langs de Sint-Bernardsesteenweg op 4m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties
- Meetpunt 2: aan de overzijde van de Sint-Bernardsesteenweg op 4m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties
- Meetpunt 3: aan de overzijde van de Sint-Bernardsesteenweg op 11m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties

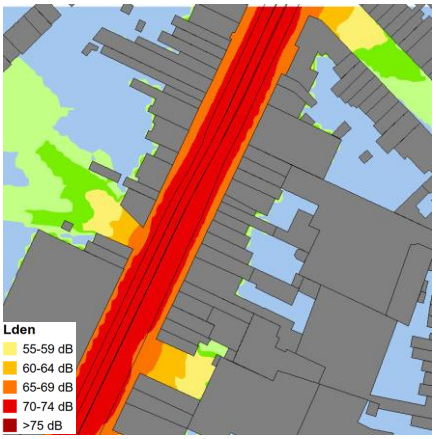
Geluidsbelastingskaarten voor en na validatie

- Actuele geluidsbelastingskaarten agglomeratie Antwerpen:



Figuur 19: Actuele geluidsbelastingskaarten van respectievelijk L_{den} en L_{night} van case 2 met meetpunten

- Berekende geluidsbelastingskaart van L_{den} na validatie in de meetpunten volgens de tabel hieronder:



Figuur 20: Gevalideerde geluidsbelastingskaart van L_{den} voor case 2

Volgende tabel geeft respectievelijk de meetresultaten in de meetpunten, de aflezing op de huidige geluidskaart, de detailberekening in het meetpunt aan de hand van de geluidskaartgegevens en de detailberekening na validatie van de invoergegevens van de geluidskaart en dit voor L_{den} en $L_{n(ight)}$.
Ook de verschillen van elke berekening met de meting worden getoond (in het rood).

CASE 2 :	Sint Bernardsesteenweg A'pen							weg + tram
Meetpunt	**Parameter**	**Meting**	**Geluidskaart**		**Detail berekening**		**Na validatie**	
1	$L_{den1,2m}$	69.5	5.5	75.0	7.2	76.6	0.5	70.0
	$L_{n1,2m}$	60.9	4.1	65.0	8.1	69.0	1.5	62.4
2	$L_{den2,2m}$	66.3	8.7	75.0	10.3	76.5	3.7	69.9
	$L_{n2,2m}$	56.2	8.8	65.0	12.7	68.9	6.0	62.2
3	$L_{den3,2m}$	67.7	-	-	7.4	75.1	0.7	68.5
	$L_{n3,2m}$	58.1	-	-	9.5	67.5	2.8	60.9

Tabel 10: Resultaten metingen en berekeningen meetpunten case 2

De verschillen tussen de gemeten waarden en de berekeningswaarden in dezelfde punten blijken zeer sterk van elkaar te verschillen. Dit was ondermeer te wijten aan belangrijke verschillen tussen de werkelijke situatie en de situatie zoals gebaseerd op de geluidsbelastingskaarten. De volgende aanpassingen werden uitgevoerd om het gevalideerd model te bekomen:

- De meetpunten bevinden zich vlak bij een tramhalte. De snelheid van de tram zal hierdoor veel lager zijn. Deze werd verlaagd van 50 km/u naar 30 km per uur.
- De wegbedekking is vernieuwd. Voor de nieuwe situatie werd SMA-C als asfaltbedekking gekozen.
- Ook de intensiteit en de snelheid van het wegverkeer werd gereduceerd.

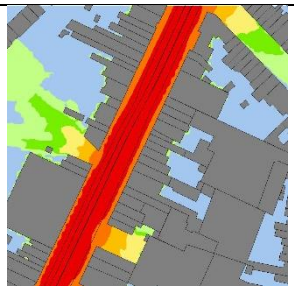
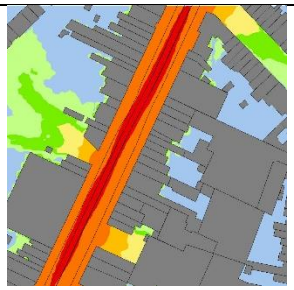
Resultaten simulaties geluidskaarten op verschillende hoogtes:

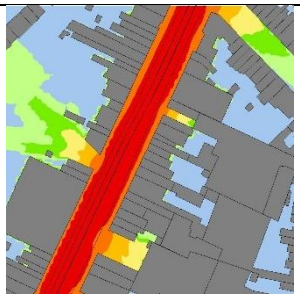
De volgende pagina toont de geluidskaarten van de L_{den}-waarde van de uitgevoerde simulaties. De volgende simulaties werden uitgevoerd:

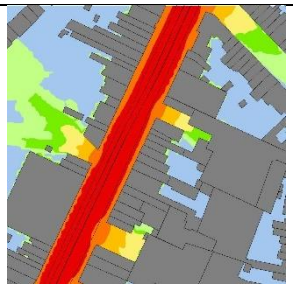
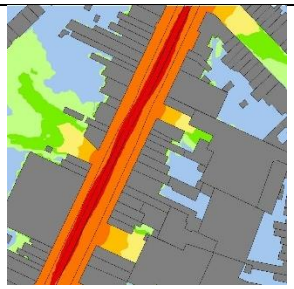
1. De huidige situatie na validatie en voor verschillende hoogtes boven het maaiveld (4m, 8m).
2. Dezelfde situatie waarbij een opening van 1 woning in de rijbebouwing werd gemaakt.
3. Idem als de vorige simulatie, maar met een opening van 2 woningen in de rijbebouwing.
4. Idem als de vorige simulatie, maar met een opening van 3 woningen in de rijbebouwing.

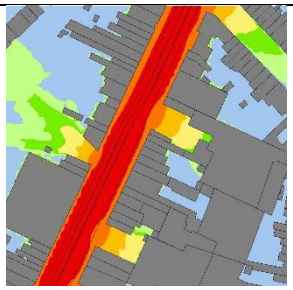
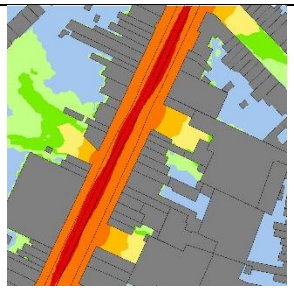
Op deze geluidskaarten kunnen reeds enkele opvallende kenmerken afgeleid worden:

- Overal aan de straatzijde waar aaneengesloten bebouwing is treden dezelfde geluidsdrukniveaus op dezelfde hoogtes op.
- Aan openingen is dit wat lager ten opzichte van de voorgevels van de aanliggende gebouwen (geen reflecties van de gevel).
- In de opening zelf is er een sterke afname van het geluidsniveau op beide hoogtes. Hoe smaller de opening, hoe sterker de afname over de diepte van het perceel en over de zijgevels van de aanliggende gebouwen. De geluidsniveaus aan de zijgevel dalen sterker dan deze op de zijgevels van de vorige case. De geluidsbronnen van de weg worden sterker afgeschermd. De rekenregels van de norm voor deze situatie (zijgevels) zijn dan niet meer geldig.
- In de volledig door gebouwen afgesloten binnenzones aan de achterzijde van de woningen zijn de geluidsniveaus zeer laag en liggen meer dan 20 dB lager dan de geluidsniveaus op de voorgevels.
- Indien de binnenzones via een opening toegang hebben tot de straat stijgt het geluidsniveau in deze binnenzone.

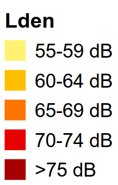
Huidige situatie na validatie	
	
Lden 4m	*Lden 8m*

Opening van 1 woning	
	
Lden 4m	*Lden 8m*

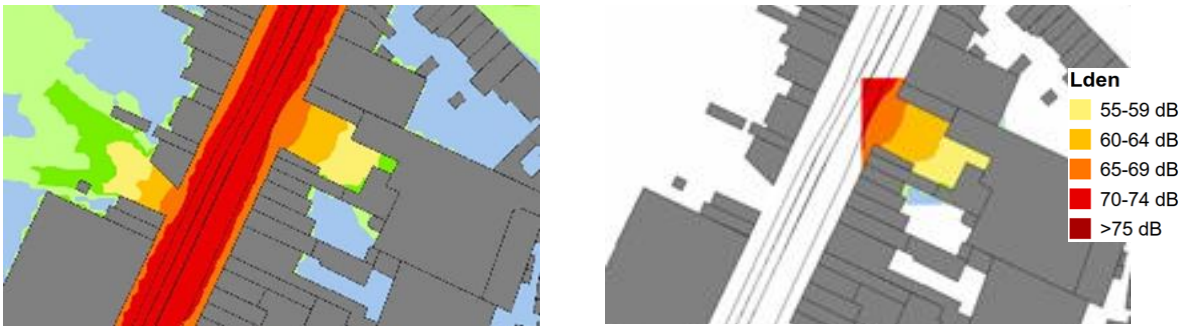
Opening van 2 woningen	
	
Lden 4m	*Lden 8m*

Opening van 3 woningen	
	
Lden 4m	*Lden 8m*

Figuur 21: Geluidsbelastingskaarten van L_{den} voor verschillende simulaties voor case 2



Ook deze berekeningen zijn gebaseerd op berekeningen met 1ste-orde reflecties. In praktijk treden ook meerdere achtereenvolgende reflecties op. Om de invloed van 2 opeenvolgende reflecties te begroten werd de laatste simulatie ook berekend met 2de-orde reflecties. De volgende figuur toont de beide resultaten ter hoogte van de percelen waar 3 woningen werden verwijderd, en dit voor een hoogte van 4 m boven het maaiveld



Figuur 22: Simulatie van L_{den} op 4m hoogte met respectievelijk 1ste (links) en 2deorde (rechts) reflecties

Het verschil tussen beide is beperkt tot ca. 1 dB.

Resultaten simulaties gevelbelasting:

De figuren op de volgende bladzijde tonen de berekeningsresultaten van de L_{den}-waarden berekend op 2 m van de voor- en achtergevels van de gebouwenrij voor de 4 verschillende simulaties.

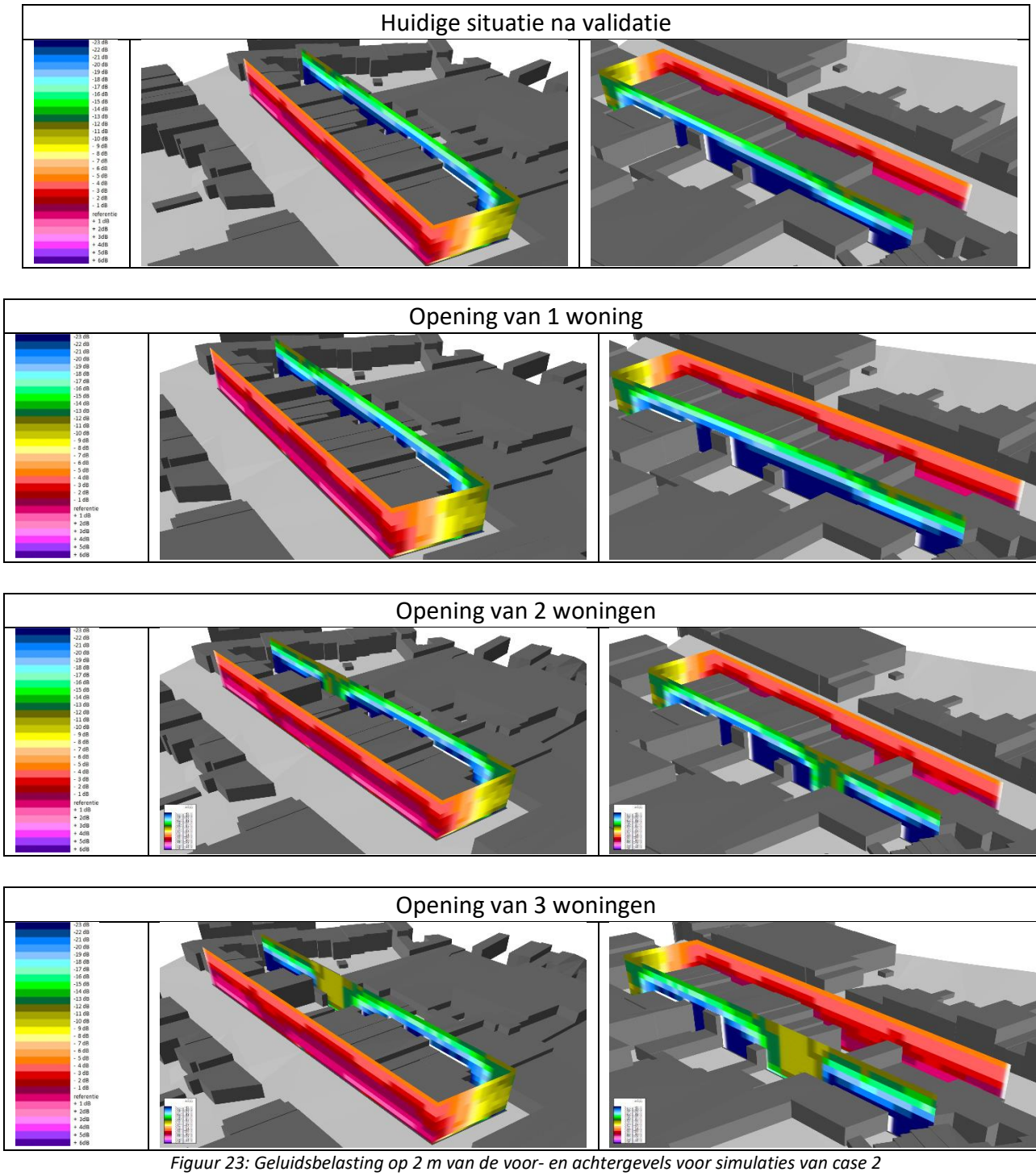
De berekeningen werden uitgevoerd per stap van 1 dB om de verschillen op de gevels duidelijk te illustreren. De hoogste waarde op 2m hoogte van de meest belaste gevel ligt tussen 69 en 70 dB en is de referentiewaarde (L_{Aref}).

Volgende conclusies kunnen uit deze simulaties getrokken worden:

- Over de hoogte van de voorgevels (10m totale hoogte) nemen de geluidsniveaus slechts weinig af. Ook hier is het verschil in geluidsniveau tussen het meest belaste geveldeel en de andere plaatsen van de voorgevel slechts 1 à 2 dB.
- Ter hoogte van de openingen ligt het geluidsniveau ca. 1 dB lager. Dit is minder dan men zou verwachten ten gevolge van gevelreflecties. Volgens de normen is het verschil tussen een meetpunt op 2 m van een gevel en een meetpunt op een open bouwterrein immers 3 dB. Bij een verschil van 3 dB gaat men er van uit dat het gereflecteerde geluid op de gevel even hoog is als het invallend geluid. Dit is het geval wanneer de ontvanger zich op grotere afstand van de bronnen bevindt. In dat geval is het verschil tussen de directe afstand tot de bron en de gereflecteerde afstand immers praktisch gelijk. Dit is niet meer het geval voor een ontvanger (zeer) kort bij de bron. Het verschil in afstand tussen enerzijds de bron en het meetpunt en anderzijds de bron en het meetpunt na reflectie is in verhouding groot. Het gereflecteerde geluid zal hierdoor enkele dB lager zijn waardoor de toename beperkt blijft. [14]

[14] Anderzijds is het geluidsveld in de nabijheid van reflecterend vlak complexer en kan men het geluidsveld beter en correcter beschrijven op basis van een golftheoretische benadering. Numerieke rekenmethoden, eindige elementen of golfgebaseerde overdrachtsmodellen (2D of 3D) geven wat dat betreft correctere resultaten. Andere invloedsfactoren, die mogelijk ook verklaren waarom het theoretische verschil van 3 dB bij vrije geometrische golfuitbreiding, in de praktijk niet gehaald wordt, is natuurlijk ook de bijdragen van reflecties in het meetpunt (vb. harde bodem bij lage waarneemhoogte), reflecties van andere vlakken die belangrijker worden in een stedelijke omgeving (street canyons).

- Op de achtergevels is het geluidsniveau meer dan 20 dB lager over de volledige gevel indien de toegang volledig afgesloten is.
- Met openingen naar de binnengebieden is het effect op de achtergevels van de aanliggende woningen beperkt tot de randen van het perceel, waar de geluidniveaus plaatselijk wat hoger liggen.



Figuur 23: Geluidsbelasting op 2 m van de voor- en achtergevels voor simulaties van case 2

5.3.4 Case 3 – Noordhoutstraat E40 te Gent

Site:

Locatie:	Noordhoutstraat E40 - Gent	Case	3
Type:	Open zone langs de E40		
Bron:	Wegverkeer		
Beschrijving:	Autostrade		

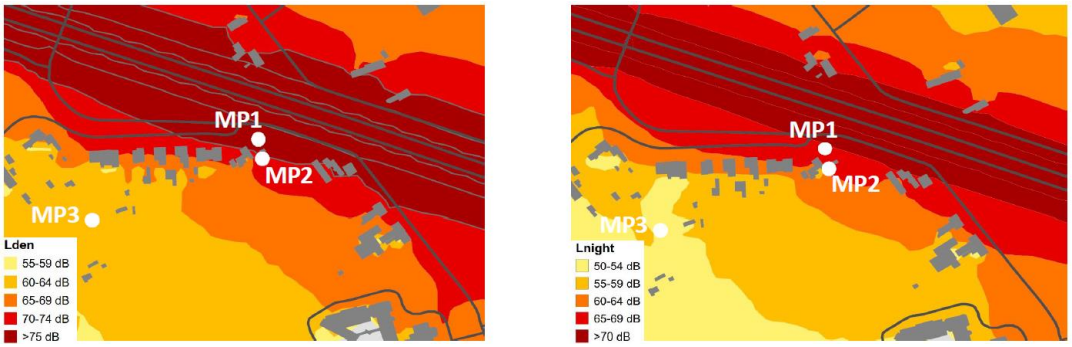
Figuur 24: Case 3 met meetlocaties

Meetpunten:

- Meetpunt 1: langs de E40 en op de rand van de Noorhoutstraat op 4m hoogte, zonder gevelreflecties
- Meetpunt 2: in het veld op beperkte afstand van de E40, meethoogte 4m, zonder gevelreflecties
- Meetpunt 3: verder op in het veld op grotere afstand van de E40, meethoogte 4m, zonder gevelreflecties

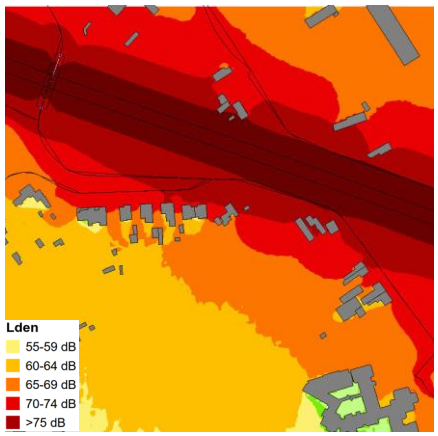
Geluidsbelastingskaarten voor en na validatie

- Actuele geluidsbelastingskaarten agglomeratie Gent:



Figuur 25: Actuele geluidsbelastingskaarten van respectievelijk L_{den} en L_{night} van case 3 met meetpunten

- Berekende geluidsbelastingskaart van L_{den} na validatie in de meetpunten volgens de tabel hieronder:



Figuur 26: Gevalideerde geluidsbelastingskaart van L_{den} voor case 3

Volgende tabel geeft respectievelijk de meetresultaten in de meetpunten, de aflezing op de huidige geluidskaart, de detailberekening in het meetpunt aan de hand van de geluidskaartgegevens en de detailberekening na validatie van de invoergegevens van de geluidskaart en dit voor L_{den} en $L_{n(ight)}$.
Ook de verschillen van elke berekening met de meting worden getoond (in het rood).

CASE 3 :	E40 - Gent							weg
Meetpunt	**Parameter**	**Meting**	**Geluidskaart**		**Detail berekening**		**Na validatie**	
1	$L_{den1,in}$	78.5	-3.5	75.0	-0.1	78.5	-0.1	78.5
	$L_{n1,in}$	71.0	-2.0	69.0	-0.4	70.6	-0.4	70.6
2	$L_{den2,in}$	71.9	2.1	74.0	1.4	73.3	1.4	73.3
	$L_{n2,in}$	64.5	0.5	65.0	1.0	65.5	1.0	65.5
3	$L_{den3,in}$	61.5	0.5	62.0	1.2	62.7	1.2	62.7
	$L_{n3,in}$	54.0	-1.0	53.0	0.9	54.9	0.9	54.9

Tabel 11: Resultaten metingen en berekeningen meetpunten case 3

Voor deze case is er geen aanpassing nodig. De resultaten van de metingen komen sterk overeen met zowel de aflezing op de bestaande geluidsbelastingskaart als de detailberekening in de meetpunten op basis van de gegevens van de geluidsbelastingskaart.

Resultaten simulaties geluidskaarten op verschillende hoogtes:

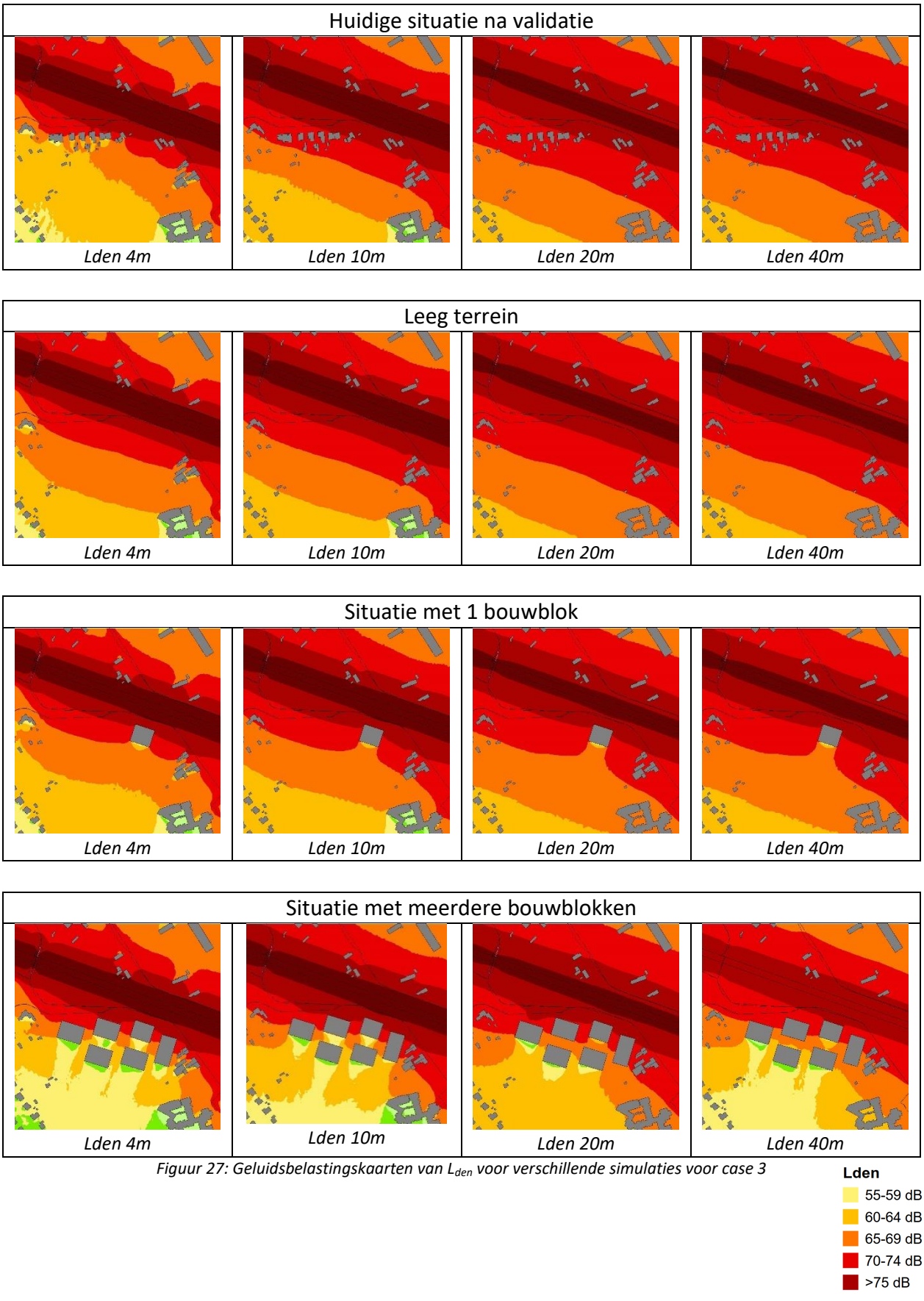
De volgende pagina toont de geluidskaarten van de L_{den}-waarde van de uitgevoerde simulaties. De volgende simulaties werden uitgevoerd:

1. De huidige situatie na validatie voor verschillende hoogtes boven het maaiveld (4m, 10m, 20m en 40m).
2. Dezelfde situatie waarbij een over een zone het terrein werd leeggemaakt (leeg terrein).
3. Idem als vorige simulatie met 1 bouwblok van 25m hoogt ingeplant langs de verkeersweg.
4. Dezelfde situatie maar met meerdere gebouwen van verschillende hoogtes in 2 achter elkaar liggende rijen.

Op deze geluidskaarten kunnen reeds enkele opvallende kenmerken afgeleid worden:

- In de huidige situatie zijn de verschillen tussen de resultaten op verschillende hoogtes beperkt. Enkel voor een beperkte hoogte boven het maaiveld (4m) is het effect van de bestaande woningen op het achterliggend terrein merkbaar.
- In vergelijking met een leeg terrein zonder woningen is het effect van de bestaande woningen wel duidelijk vlak achter elke woning en ook op een wat grotere afstand achter de woningen.
- Met de inplanting van 1 enkel gebouw van 25 m hoogte op het naakte terrein, kort bij de E40 is er enkel in een zone achter het gebouw een duidelijke reductie. De breedte van deze zone is nagenoeg gelijk aan de breedte van het gebouw. Er is ook zo goed als geen verschil tussen de verschillende hoogtes boven het terrein.
- Aan de voorzijde is er enig ‘aanzuigeffect’ ten gevolge van reflecties van de voorgevel.
- De inplanting van meerdere gebouwen, los van elkaar, in 2 opeenvolgende rijen heeft wel een belangrijk effect op het terrein, ook op grotere afstand en dit op verschillende hoogtes.
- Ook het effect op de zone achter elk gebouw wordt voor deze situatie veel groter. Achter de woningen is er een grotere zone met een verlaagd geluidsniveau.
- De effecten zijn vooral gunstig op de 2de rij bebouwing, ondanks het feit van openingen tussen de gebouwen op de eerste rij. Ook de hoogte van de gebouwen speelt hierin een rol.

Globaal komen deze kenmerken nagenoeg overeen met deze van case 1.

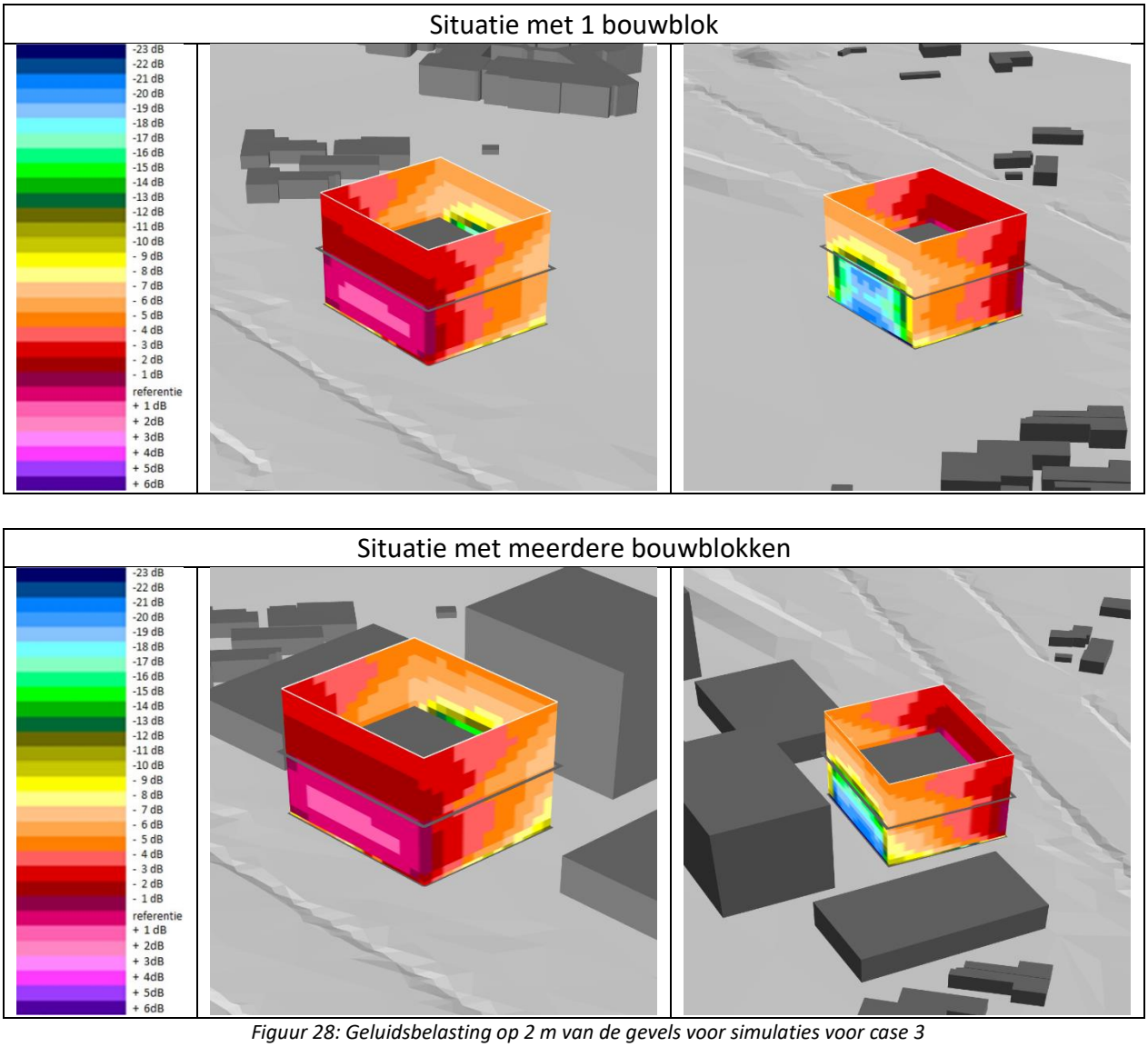


Figuur 27: Geluidsbelastingskaarten van L_{den} voor verschillende simulaties voor case 3

Resultaten simulaties gevelbelasting:

De volgende figuren tonen de berekeningsresultaten van de L_{den}-waarden berekend op 2 m van de gevels van een gebouw van 25 m hoogte, gelegen langs de rijweg op het naakte terrein en dezelfde situatie met meerdere gebouwen (zie simulaties hiervoor). Ook berekeningspunten boven het gebouw worden getoond. Het gebouw zelf stopt ter hoogte van de aangeduide lijn op de gevels.

De berekeningen werden uitgevoerd per stap van 1 dB om de verschillen op de gevels duidelijk te illustreren. De hoogste waarde op 2m hoogte van de meest belaste gevel ligt tussen 78 en 79 dB en is de referentiewaarde (L_{Aref}).



Figuur 28: Geluidsbelasting op 2 m van de gevels voor simulaties voor case 3

Volgende conclusies kunnen uit deze simulaties getrokken worden:

- Aan zowel de voorgevel als op de zijgevels is de geluidsbelasting zeer hoog.
- Aan de voorgevel is er zo goed als geen verschil in geluidsniveau ter hoogte van het gebouw (slechts ca. 1 dB). De voorgevel ligt immers vrij dicht bij de autosnelweg en evenwijdig ermee. Het geluidsniveau is hierdoor nagenoeg overal gelijk.
- Langs de zijgevel is er een afname van ca. 3 dB in het midden tot 5 à 6 dB achteraan. Dit verschil is gelijk op de verschillende hoogtes over de zijgevels.
- Achteraan is er een duidelijke afname van ca. 18 tot 20 dB, behalve aan de hoeken van het gebouw. Hier is de afname eerder 9 à 10 dB. Voor de achtergevel is er in de hoogte zo goed als geen verschil.
- Meerdere zijdelingse en achterliggende gebouwen hebben geen effect op de geluidsbelasting aan de voorgevel.
- Meerdere zijdelingse gebouwen hebben enige invloed op het geluidsniveau aan de zijgevel, maar beperkt en afhankelijk van de hoogte van de zijdelingse gebouwen en de tussenafstand.
- Aan de achtergevel is het effect van meerdere gebouwen enkel zichtbaar aan de hoeken van het gebouw. In de middenzone is het resultaat op ca. 1 dB na gelijk aan dit van één enkel bouwblok.

Ook voor deze case liggen de resultaten in de lijn van rekenregels van de huidige norm om het geluidsniveau aan de verschillende gevels te bepalen aan de hand van L_{Aref} voor het geval van een gebouw gelegen langs één verkeersas (zie case 1). Aan de achtergevel zijn, behalve aan de hoeken, de resultaten van de berekeningen, gunstiger (13 dB afname t.o.v. de voorgevel volgens de norm; 18 dB volgens de berekeningen).

Opmerking:

De NBN norm vraagt om bij grotere gebouwen (lengtes > 20 m) het gebouw op te delen in deelgebouwen waarvan de lengte van de gevel kleiner is dan of gelijk aan 20 m en voor elk deelgebouw afzonderlijk L_{Aref} te bepalen en de rekenregels toe te passen. Wanneer de geluidsbronnen gelijk zijn en op eenzelfde afstand liggen en de geometrie niet verschilt (zoals hier het geval is) zal het geluidsniveau in andere punten op 2m boven het maaiveld en op 2m van de voorgevel echter ook niet verschillen. Aan de zijgevels, waar de afstand tot de geluidsbronnen varieert zal het geluidsniveau wel verschillen. Volgens de NBN norm is dan het gebouw op te delen in deelgebouwen bij dieptes groter dan 20 m.

5.3.5 Case 4 – Voskenslaan te Gent

Site:

Locatie:	Voskenslaan - Gent	Case	4
Type:	Gesloten zone		
Bron:	Wegverkeer (MP1 en 2) + Tramverkeer (MP3)		
Beschrijving:	1x2 weg + 1x2 Tram		

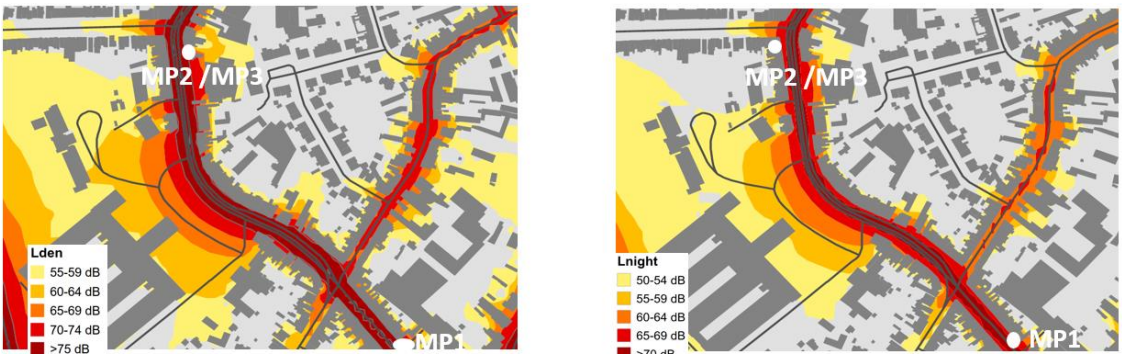
Figuur 29: Case 4 met meetlocaties

Meetpunten:

- Meetpunt 1: langs de Voskenslaan in de zone zonder tramverkeer op 4m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties.
- Meetpunt 2: langs de Voskenslaan in de zone zonder tramverkeer op 7m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties.
- Meetpunt 3: langs de Voskenslaan in de zone met tramverkeer op 4m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties.

Geluidsbelastingskaarten voor en na validatie

- Actuele geluidsbelastingskaarten agglomeratie Gent:



Figuur 30: Actuele geluidsbelastingskaarten van respectievelijk L_{den} en L_{night} van case 4 met meetpunten

- Berekende geluidsbelastingskaart van L_{den} na validatie in de meetpunten volgens de tabel hieronder, met links een detail ter hoogte van meetpunten 2 en 3, en rechts een detail ter hoogte van meetpunt 1:

Figuur 31: Gevalideerde geluidsbelastingskaart van L_{den} voor case 4 (links detail meetpunt 2 en 3; rechts ter hoogte van meetpunt 1)

Volgende tabel geeft respectievelijk de meetresultaten in de meetpunten, de aflezing op de huidige geluidskaart, de detailberekening in het meetpunt aan de hand van de geluidskaartgegevens en de detailberekening na validatie van de invoergegevens van de geluidskaart en dit voor L_{den} en $L_{n(ight)}$.
Ook de verschillen van elke berekening met de meting worden getoond (in het rood).

CASE 4 :	Voskenslaan Gent							weg + tram
Meetpunt	**Parameter**	**Meting**	**Geluidskaart**		**Detail berekening**		**Na validatie**	
1	$L_{den1,2m}$	67.1	7.9	75.0	10.9	78.1	-0.3	66.9
	$L_{n1,2m}$	58.9	10.1	69.0	11.1	70.0	-0.6	58.3
2	$L_{den2,2m}$	66.2	-	-	11.6	77.8	0.4	66.6
	$L_{n2,2m}$	57.4	-	-	12.3	69.7	0.6	57.9
3	$L_{den3,2m}$	67.4	7.6	75.0	11.4	78.8	1.6	68.9
	$L_{n3,2m}$	58.5	10.5	69.0	12.1	70.6	1.4	59.9

Tabel 12: Resultaten metingen en berekeningen meetpunten case 4

De verschillen tussen de gemeten waarden en de berekeningswaarden in dezelfde punten blijken net zoals voor case 2 ook hier zeer sterk van elkaar te verschillen. Ook voor deze case is dit ondermeer te wijten aan belangrijke verschillen tussen de werkelijke situatie en de situatie zoals gebaseerd op de geluidsbelastingskaarten. De volgende aanpassingen werden uitgevoerd om het gevalideerd moel te bekomen:

- De snelheid van de tram werd verlaagd van 50 km/u naar 30 km per uur.
- Volgens de invoergegevens van de geluidsbelastingskaarten is de wegbedekking dwarsgegroefd platenbeton. Dit is echter asfalt. Dit werd aangepast.
- De intensiteit van de auto's en zwaar vervoer werd gereduceerd.
- De bedding van de tram is een zwevende bedding met een lagere impact dan de weg.

Uit de metingen blijkt ook dat er geen verschil is in het gemeten geluidsniveau in de zone waar de tram rijdt en waar niet. De bijdrage van het tramgeluid is te verwaarlozen.
Uit de metingen blijkt ook dat er een verschil is van ca. 1 dB voor een meetpunt op 4m hoogte (meetpunt 1) ten opzichte van een meetpunt op 7 m hoogte (meetpunt 2 ligt 1 dB lager voor dag L_{den} en L_{night}).

Resultaten simulaties geluidskaarten op verschillende hoogtes:

De volgende pagina toont de geluidskaarten van de L_{den}-waarde van de uitgevoerde simulaties. De volgende simulaties werden uitgevoerd:

1. De huidige situatie na validatie en voor verschillende hoogtes boven het maaiveld (4m, 8m).
2. Dezelfde situatie waarbij een opening van 1 woning in de rijbebouwing werd gemaakt.
3. Idem als de vorige simulatie, maar met een opening van 2 woningen in de rijbebouwing.
4. Idem als de vorige simulatie, maar met een opening van 3 woningen in de rijbebouwing.

Deze situaties tonen het effect van openingen in rijbebouwing voor situaties waarbij deze openingen gemaakt worden als toegang naar nieuw opgerichte achterliggende panden.

Ook op deze simulaties komen gelijkaardige kenmerken voor als in het geval van case 2:

- Overal aan de straatzijde waar aaneengesloten bebouwing is treden dezelfde geluidsdrukniveaus op dezelfde hoogtes op.
- Aan openingen is dit wat lager ten opzichte van de voorgevels van de aanliggende gebouwen (geen reflecties van de gevel).
- In de opening zelf is er een sterke afname van het geluidsniveau op beide hoogtes. Hoe smaller de opening, hoe sterker de afname over de diepte van het perceel en over de zijgevels van de aanliggende gebouwen. De geluidsniveaus aan de zijgevel dalen sterker dan deze op de zijgevels van de vorige case. De geluidsbronnen van de weg worden sterker afgeschermd. De rekenregels van de norm voor deze situatie (zijgevels) zijn dan niet meer geldig.
- Aan de achterzijdes van de woningen zijn de geluidsniveaus zeer laag, maar niet zo laag als in de volledig afgesloten achterliggende binnenzones van case 2. Ze liggen meer dan 20 dB lager dan de geluidsniveaus op de voorgevels.
- Indien de achterliggende zones via een opening toegang hebben tot de straat stijgt het geluidsniveau in de achterliggende zone. Openingen zijn ongunstig voor de gebouwen op de 2de rij.

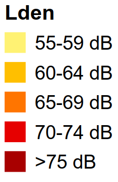
Huidige situatie na validatie	
Lden 4m	*Lden 8m*

Opening van 1 woning	
Lden 4m	*Lden 8m*

Opening van 2 woningen	
Lden 4m	*Lden 8m*

Opening van 3 woningen	
Lden 4m	*Lden 8m*

Figuur 32: Geluidsbelastingskaarten van L_{den} voor verschillende simulaties voor case 4



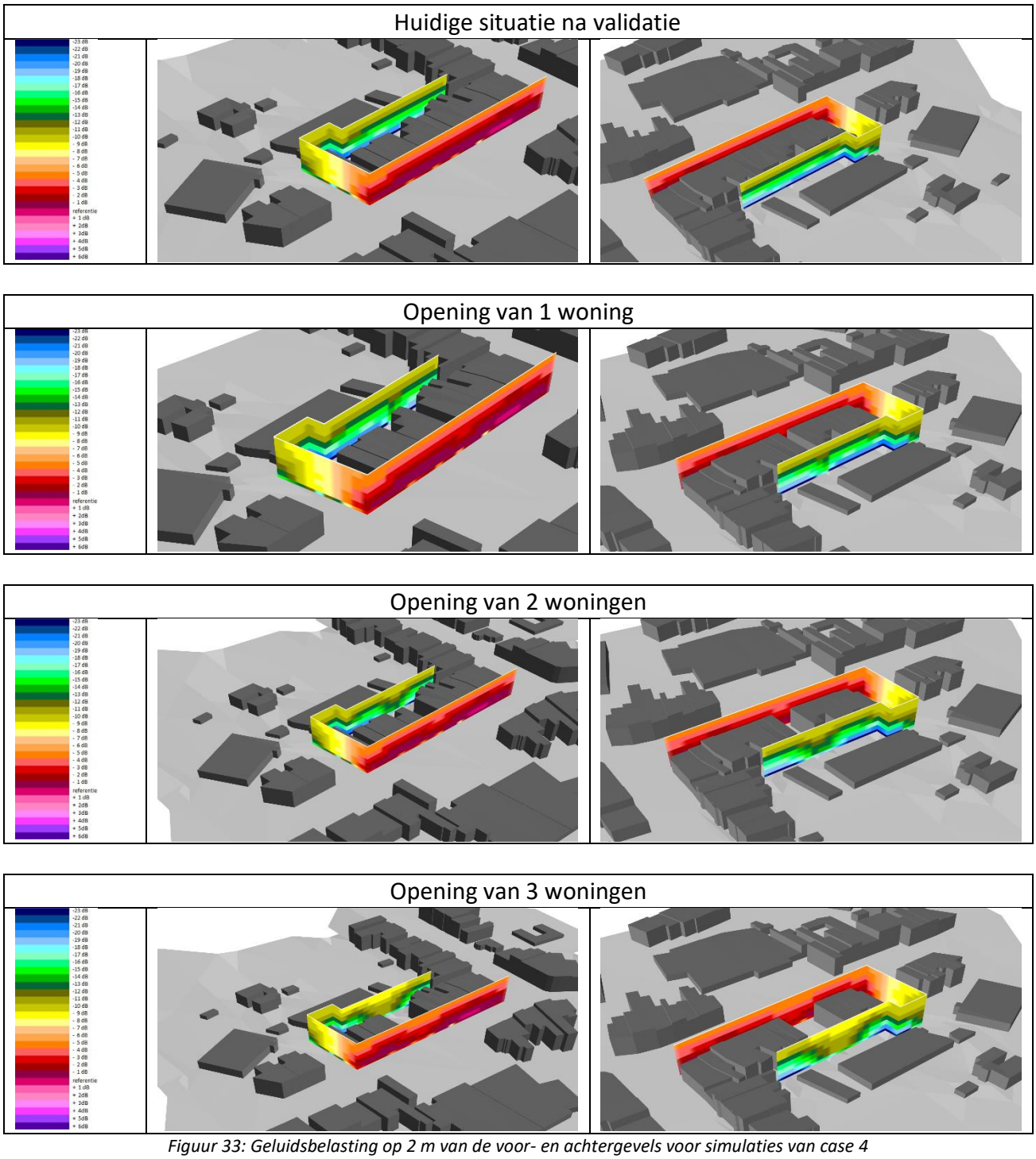
Resultaten simulaties gevelbelasting:

De figuren op de volgende bladzijde tonen de berekeningsresultaten van de L_{den}-waarden berekend op 2 m van de voor- en achtergevels van de gebouwenrij voor de 4 verschillende simulaties.

De berekeningen werden uitgevoerd per stap van 1 dB om de verschillen op de gevels duidelijk te illustreren. De hoogste waarde op 2m hoogte van de meest belaste gevel ligt op 69 dB(A) en is de referentiewaarde (L_{Aref}).

Volgende conclusies kunnen uit deze simulaties getrokken worden:

- Over de hoogte van de voorgevels (10m totale hoogte) nemen de geluidsniveaus slechts weinig af. Ook hier is het verschil in geluidsniveau tussen het meest belaste geveldeel en de andere plaatsen van de voorgevel slechts 1 à 2 dB.
- Ter hoogte van de openingen ligt het geluidsniveau ca. 1 dB lager. Dit is minder dan men zou verwachten ten gevolge van gevelreflecties. Volgens de normen is het verschil tussen een meetpunt op 2 m van een gevel en een meetpunt op een open bouwterrein immers 3 dB. Bij een verschil van 3 dB gaat men er van uit dat het gereflecteerde geluid op de gevel even hoog is als het invallend geluid. Dit is het geval wanneer de ontvanger zich op grotere afstand van de bronnen bevindt. In dat geval is het verschil tussen de directe afstand tot de bron en de gereflecteerde afstand immers praktisch gelijk. Dit is niet meer het geval voor een ontvanger (zeer) kort bij de bron. Het verschil in afstand tussen enerzijds de bron en het meetpunt en anderzijds de bron en het meetpunt na reflectie is in verhouding groot. Het gereflecteerde geluid zal hierdoor enkele dB lager zijn waardoor de toename beperkt blijft (zie eerdere opmerking onder case 2, voetnoot [14]).
- Op de achtergevels is het geluidsniveau ca. 15 tot 20 dB lager. Er is wel enig verschil over de hoogte van de gevels
- Met openingen naar de achterliggende tuinen is het nadelig effect op de achtergevels van de aanliggende woningen beperkt tot de randen van het perceel, waar de geluidniveaus plaatselijk wat hoger liggen.



Figuur 33: Geluidsbelasting op 2 m van de voor- en achtergevels voor simulaties van case 4

5.3.6 Case 5 – Burgravenlaan te Gent

Site:

Locatie:	Burgravenlaan - Gent	Case	5
Type:	Rijhuizen naast weg en trein op bedding		
Bron:	Wegverkeer + Trein		
Beschrijving:	1x2 weg + Trein op bedding		

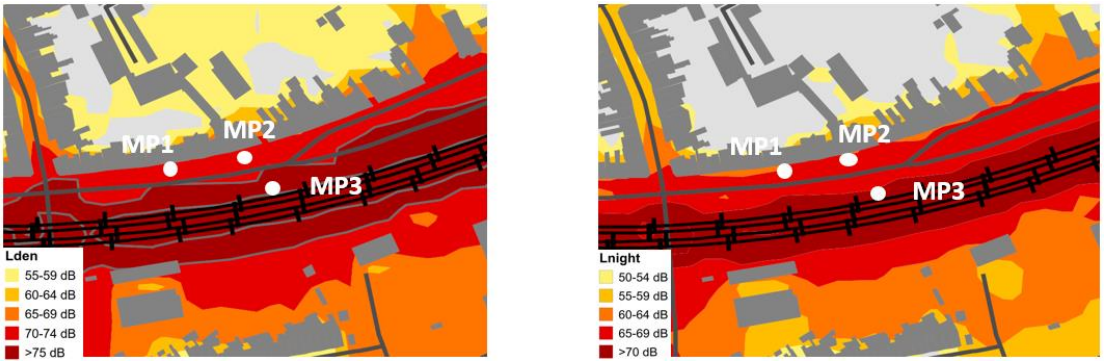
Figuur 34: Case 5 met meetlocaties

Meetpunten:

- Meetpunt 1: langs de Burgravenlaan, kant woningen op 4m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties.
- Meetpunt 2: langs de Burgravenlaan, kant woningen op 7m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties.
- Meetpunt 3: langs de Burgravenlaan, overkant woningen op 3m hoogte en op 2m van een betonnen muur, met reflecties.

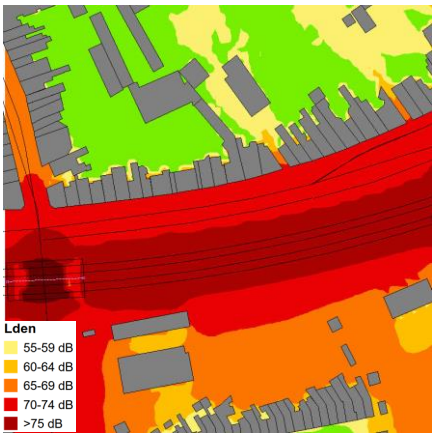
Geluidsbelastingskaarten voor en na validatie

- Actuele geluidsbelastingskaarten agglomeratie Gent:



Figuur 35: Actuele geluidsbelastingskaarten van respectievelijk L_{den} en L_{night} van case 5 met meetpunten

- Berekende geluidsbelastingskaart van L_{den} na validatie in de meetpunten volgens de tabel hieronder:



Figuur 36: Gevalideerde geluidsbelastingskaart van L_{den} voor case 5

Volgende tabel geeft respectievelijk de meetresultaten in de meetpunten, de aflezing op de huidige geluidskaart, de detailberekening in het meetpunt aan de hand van de geluidskaartgegevens en de detailberekening na validatie van de invoergegevens van de geluidskaart en dit voor L_{den} en $L_{n(ight)}$.
Ook de verschillen van elke berekening met de meting worden getoond (in het rood).

CASE 5 :	Burggravelaan Gent							weg + spoor
Meetpunt	**Parameter**	**Meting**	**Geluidskaart**		**Detail berekening**		**Na validatie**	
1	$L_{den1,2m}$	71.6	0.4	72.0	2.8	74.4	1.4	73.0
	$L_{n1,2m}$	63.7	1.3	65.0	3.0	66.7	1.4	65.1
2	$L_{den2,2m}$	72.5	-	-	3.6	76.1	1.7	74.2
	$L_{n2,2m}$	64.4	-	-	4.3	68.7	2.2	66.6
3	$L_{den3,2m}$	74.8	0.2	75.0	-2.9	71.9	-1.5	73.3
	$L_{n3,2m}$	66.5	3.5	70.0	-2.5	64.0	-1.0	65.5

Tabel 13: Resultaten metingen en berekeningen meetpunten case 5

De verschillen tussen de gemeten waarden en de berekeningswaarden in dezelfde punten zijn niet zo heel groot. Er gebeurde een beperkte aanpassing door het verlagen van de snelheid van de treinen van 80 naar 60 km/u.

In meetpunt 3 is het trein lawaai redelijk afgeschermd en wordt er voornamelijk wegverkeerslawaai gemeten. De resultaten van de metingen in meetpunt 2 (op 7 m hoogte) blijken ca. 1 dB hoger te zijn dan op 4 m hoogte (meetpunt 1). Meestal is het omgekeerd. Dit heeft te maken met de afscherming van het treinlawaai naar de onderste verdieping (zie verder).

Resultaten simulaties geluidskaarten op verschillende hoogtes:

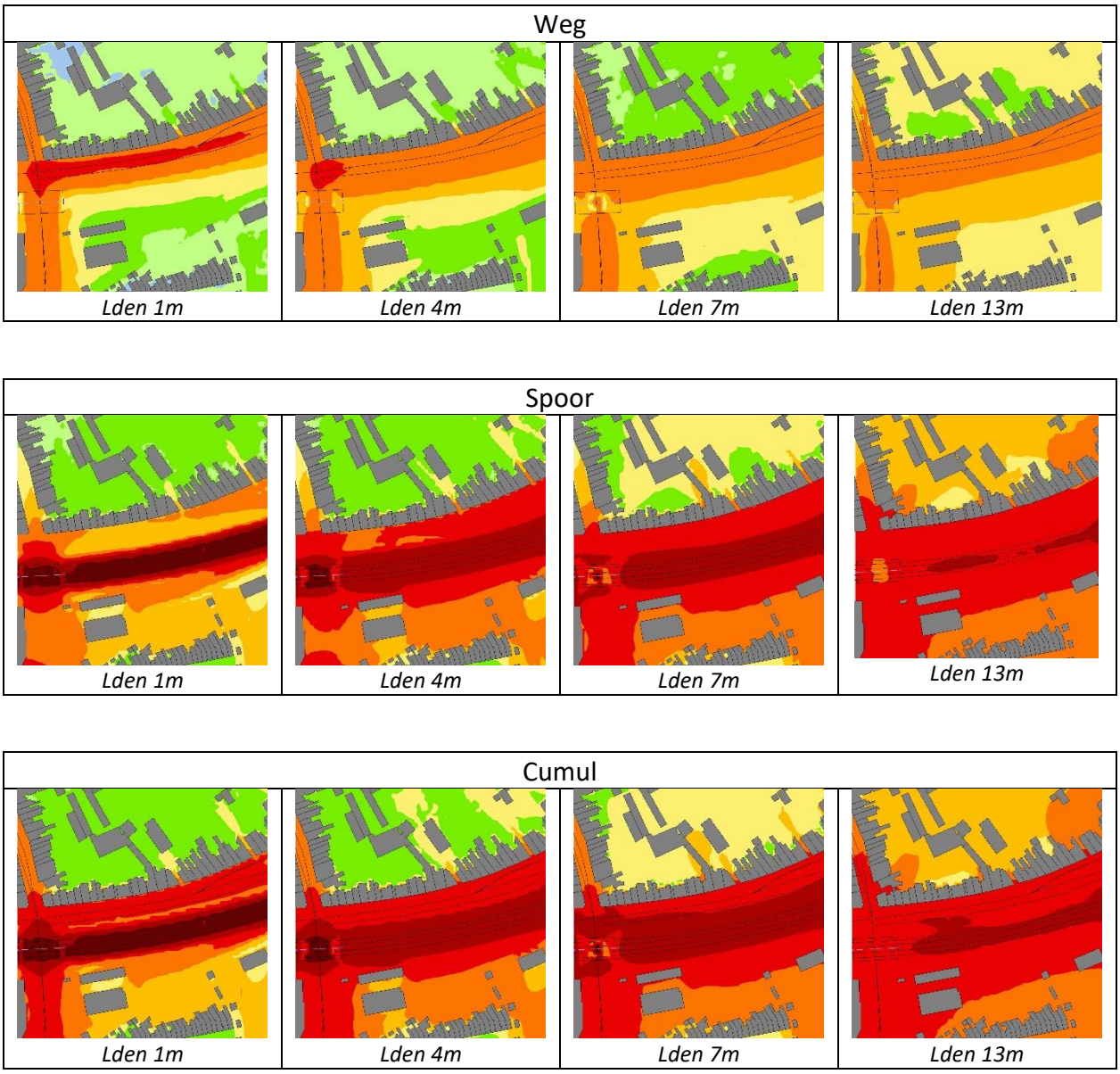
De volgende pagina toont de geluidskaarten van de L_{den}-waarde van de uitgevoerde simulaties. De volgende simulaties werden uitgevoerd:

1. De situatie met enkel de bijdrage van het wegverkeer en dit voor verschillende hoogtes boven het maaiveld (1m, 4m, 7m, 13m).
2. De situatie met enkel de bijdrage van het spoorverkeer en dit voor verschillende hoogtes boven het maaiveld (1m, 4m, 7m, 13m).
3. De situatie met de bijdrage van het wegverkeer en het spoorwegverkeer (huidige toestand na validatie) en dit voor dezelfde hoogtes.

Bij deze simulaties werd de situatie op 1m in plaats van op 2m boven het maaiveld berekend om de afschermende werking van de spoorwegberm op het spoorverkeerslawaai te duiden.

Deze simulaties hebben volgende kenmerken:

- Situatie met enkel wegverkeerslawaai:
  - Weinig verschil in geluidsniveau op de gevels van de rijwoningen.
  - Naar de overstaande woningen (aan de andere zijde van de berm) is het verschil in hoogte groter wegens afscherming door de spoorwegberm
  - Op de achtergevels is het geluidsniveau sterk gereduceerd.
  - Openingen tussen woningen: zelfde fenomeen als bij cases 2 en 4
- Situatie met enkel spoorlawaai:
  - Het geluidsniveau op grotere hoogtes is aanzienlijker dan voor wegverkeer.
  - Enkel op het gelijkvloers is er de afschermende werking van de spoorwegberm en ligt het niveau lager.
  - De hogere ligging van de spoorweg zorgt ervoor dat het geluidsniveau voor de gebouwen gelegen achter de gesloten rij woningen duidelijk hoger is voor de hogere verdiepingen dan voor het gelijkvloers.
- Situatie met wegverkeers- en spoorlawaai:
  - Behalve aan de benedenverdiepingen is het spoorweglawaai overal bepalend.
  - Dit is geldig voor zowel de voorgevels van de eerste rijbebouwing als voor het achterliggend terrein en de gevels van de achterliggende woningen.
  - Openingen zorgen plaatselijk voor een hoger geluidsniveau naar achterliggende percelen.
  - Voor woningen aan andere zijde van de berm is spoorweglawaai overal bepalend



Figuur 37: Geluidsbelastingskaarten van L_{den} voor verschillende simulaties voor case 5

Resultaten simulaties gevelbelasting:

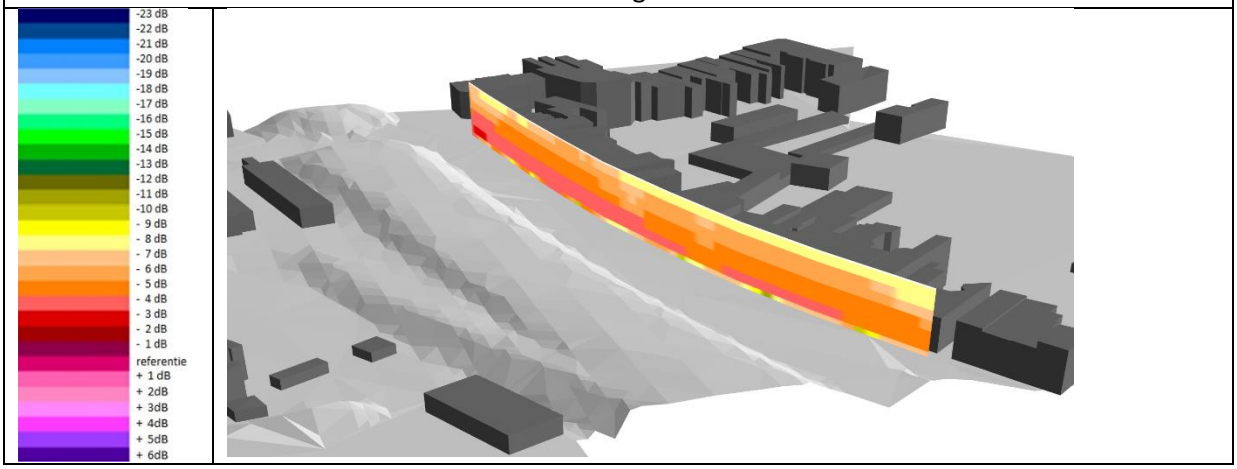
De figuren op de volgende bladzijde tonen de berekeningsresultaten van de L_{den}-waarden berekend op 2 m van de voorgevels van de gebouwenrij voor respectievelijk de situatie met enkel wegverkeerslawaai, enkel spoorlawaai en wegverkeers- en spoorlawaai samen (cumul).

De berekeningen werden uitgevoerd per stap van 1 dB om de verschillen op de gevels duidelijk te illustreren. De hoogste waarde op 2m hoogte van de meest belaste gevel ligt op 73 dB(A) (op basis van de cumulatie berekening) en is de referentiewaarde (L_{Aref}).

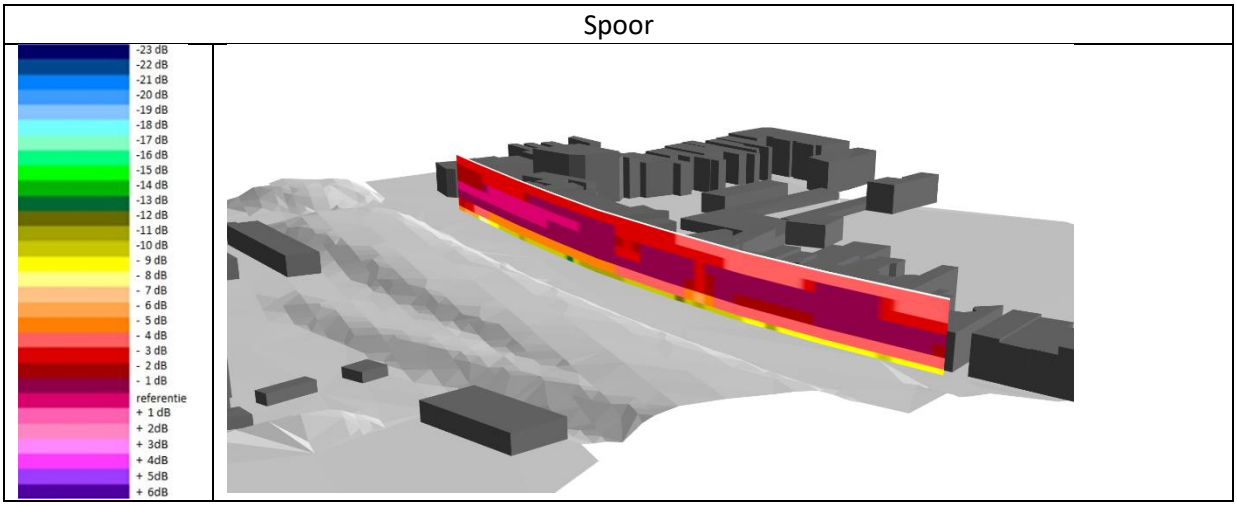
Volgende conclusies kunnen uit deze simulaties getrokken worden:

- Situatie met enkel wegverkeerslawaai:
  - Indien er enkel wegverkeerslawaai is, is er ook hier weer slechts 1 à 2 dB afname van het geluidsniveau over de hoogte van de gevel.
  - Ter hoogte van een opening tussen de gevels ligt het geluidsniveau ca. 1 dB lager over de ganse opening
- Situatie met enkel spoorlawaai:
  - In dit geval is er onderaan een zeer sterke afname van het geluidsniveau. Op het onderste geveldeel wordt het treinlawaai afgeschermd door de spoorwegberm.
  - Vanaf de eerste verdieping is er nog nauwelijks verschil in geluidsniveau in de hoogte.
  - Ook ter hoogte van een opening ligt het geluidsniveau over de volledige gevel ca. 1 dB lager.
- Situatie met wegverkeers- en spoorlawaai:
  - Heel onderaan de gevel is er een sterke verlaging van het geluidsniveau.
  - Vanaf de 1ste verdieping is er geen verschil meer in geluidsniveau in de hoogte.
  - Vanaf de 1ste verdieping ligt het geluidsniveau ca. 1 dB hoger dan met enkel spoorlawaai. Spoorlawaai is dan ook bepalend voor deze verdiepingen. Enkel op het gelijkvloers is de bijdrage van het wegverkeer bepalend.
  - Ook hier is het geluidsniveau aan de openingen ca. 1 dB lager.

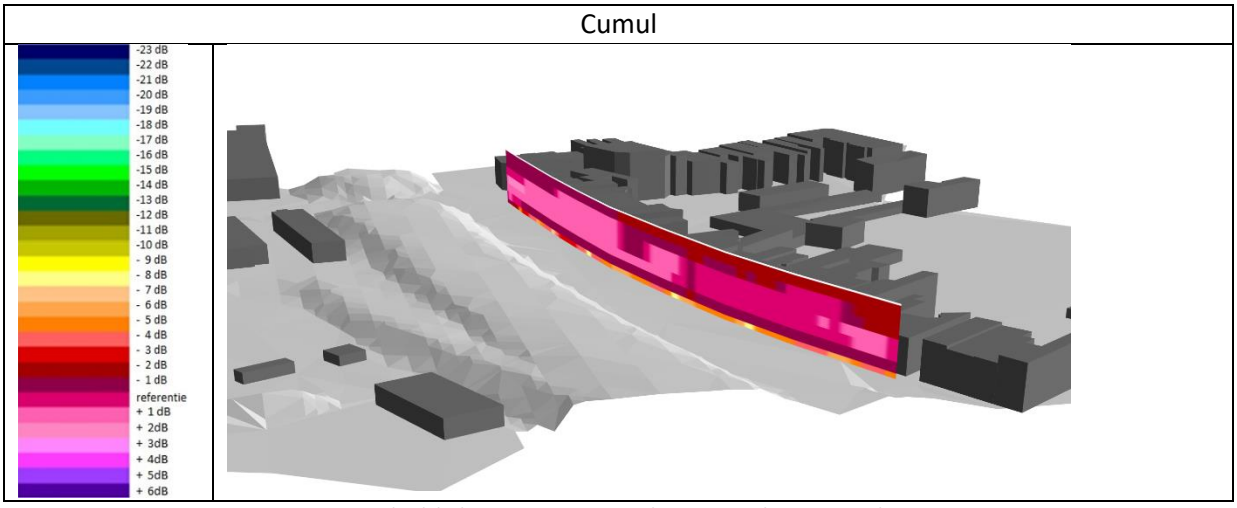
Weg



Spoor



Cumul

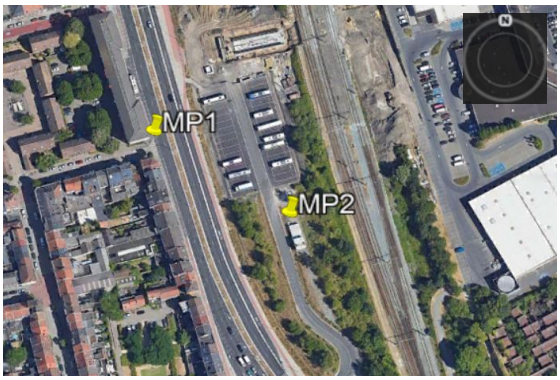


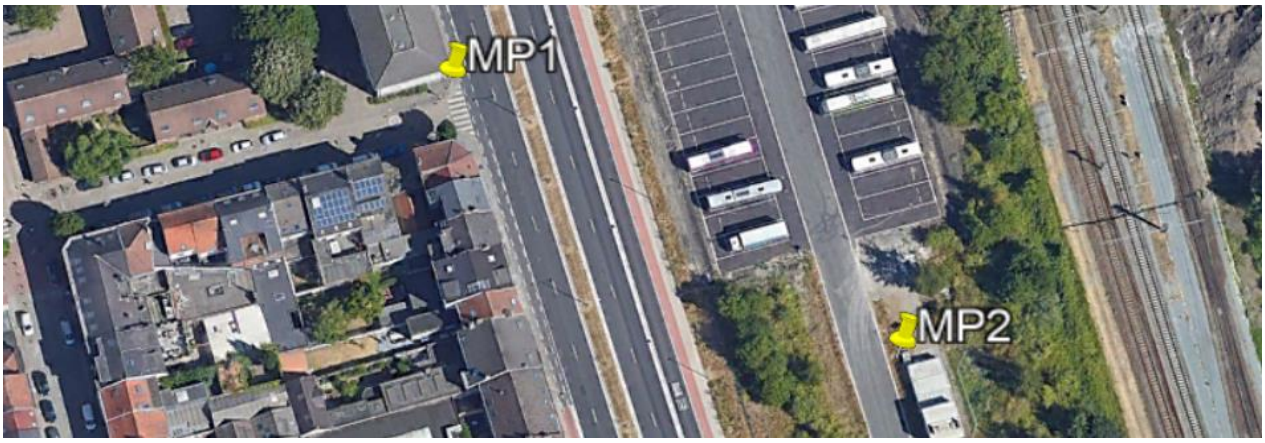
Figuur 38: Geluidsbelasting op 2 m van de voorgevels voor simulaties van case 5

5.3.7 Case 6 – Slachthuisstraat te Gent

Site:

Locatie:	Slachthuisstraat - Gent	Case	6
Type:	Halfopen langs steenweg en trein		
Bron:	Wegverkeer + Trein		
Beschrijving:	2x2 weg + Trein		





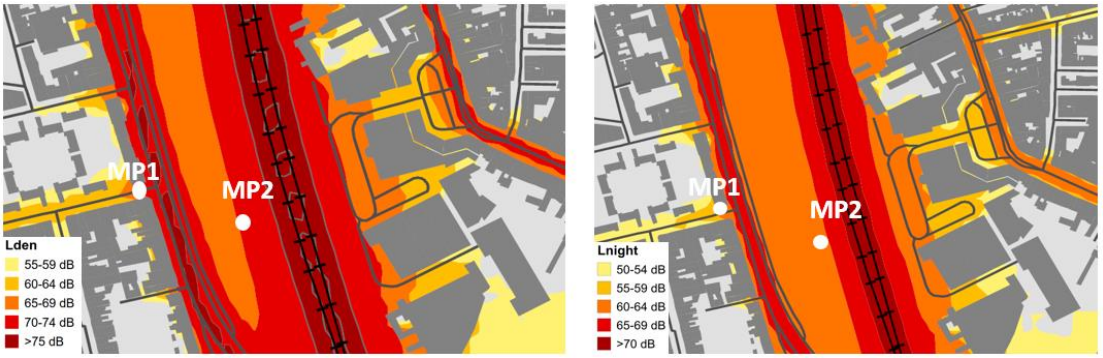
Figuur 39: Case 6 met meetlocaties

Meetpunten:

- Meetpunt 1: op de hoek van de Slachthuisstraat en de Kasteellaan op 4m hoogte en op 2m van de gevel, met gevelreflecties.
- Meetpunt 2: aan de overzijde van de Kasteellaan op 4m hoogte, zonder gevelreflecties.

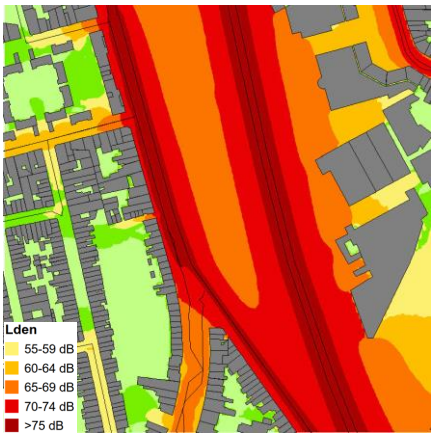
Geluidsbelastingskaarten voor en na validatie

- Actuele geluidsbelastingskaarten agglomeratie Gent:



Figuur 40: Actuele geluidsbelastingskaarten van respectievelijk L_{den} en L_{night} van case 6 met meetpunten

- Berekende geluidsbelastingskaart van L_{den} na validatie in de meetpunten volgens de tabel hieronder:



Figuur 41: Gevalideerde geluidsbelastingskaart van L_{den} voor case 6

Volgende tabel geeft respectievelijk de meetresultaten in de meetpunten, de aflezing op de huidige geluidskaart, de detailberekening in het meetpunt aan de hand van de geluidskaartgegevens en de detailberekening na validatie van de invoergegevens van de geluidskaart en dit voor L_{den} en $L_{n(ight)}$.
Ook de verschillen van elke berekening met de meting worden getoond (in het rood).

CASE 6 :	Dampoort Gent							weg + spoor	
Meetpunt	**Parameter**	**Meting**	**Geluidskaart**		**Detail berekening**		**Na validatie**		
1	$L_{den1,2m}$	73.0	-4.0	69.0	-1.7	71.3	-0.9	72.1	
	$L_{n1,2m}$	65.7	-5.7	60.0	-2.5	63.2	-1.2	64.6	
2	$L_{den2,in}$	65.4	5.6	71.0	4.6	70.0	3.1	68.5	
	$L_{n2,in}$	58.3	5.7	64.0	4.3	62.6	2.8	61.0	

Tabel 14: Resultaten metingen en berekeningen meetpunten case 6

De metingen in meetpunt 1 liggen wat hoger dan berekend via de gegevens van de geluidskaart, terwijl in meetpunt 1 de metingen lager liggen.
Voor de validatie werden de intensiteit van het wegverkeer voor de avond- en nachtperiode wat verhoogd en de snelheid van de goederentreinen verlaagd van 90 naar 60 km/u.

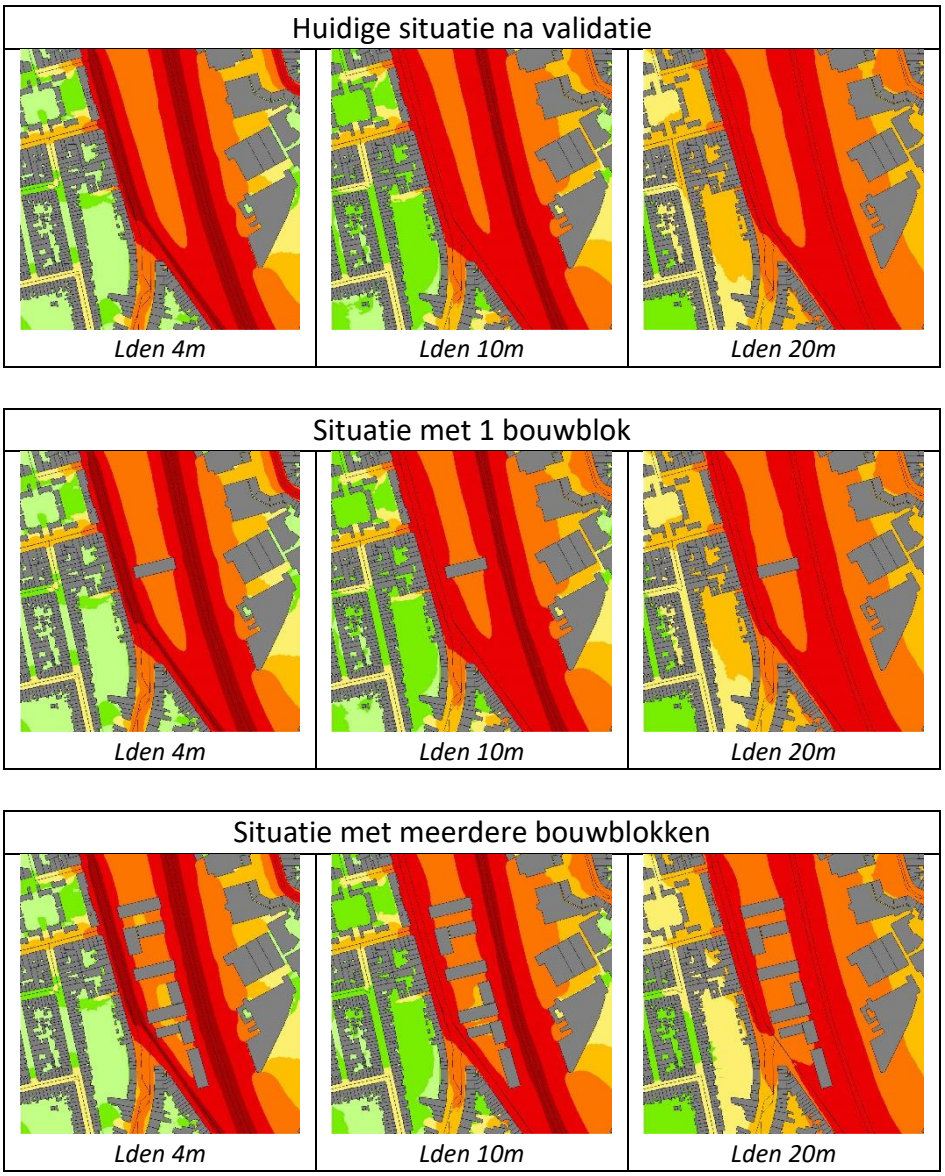
Resultaten simulaties geluidskaarten op verschillende hoogtes:

De volgende pagina toont de geluidskaarten van de L_{den}-waarde van de uitgevoerde simulaties. De volgende simulaties werden uitgevoerd:

1. De huidige situatie na validatie en dit voor verschillende hoogtes boven het maaiveld (4m, 10m, 20m).
2. Simulatie met 1 bouwblok gelegen op het braakliggend terrein tussen de Kasteellaan en de sporen en dit voor dezelfde hoogtes.
3. Dezelfde simulatie als de vorige maar met meerdere bouwblokken van verschillende hoogtes op het braakliggend terrein.

Deze simulaties hebben volgende kenmerken:
- Weg en spoorweg hebben gelijkaardige geluidsniveaus.
- Aan de woningen aan de linkerkant is wegverkeer bepalend; aan de rechterzijde het spoorweglawaai; in het middengebied tussen beide is de invloed van beide nagenoeg gelijk.
- Boven het braakliggend terrein tussen weg en spoorweg is er weinig verschil in geluidsniveau voor verschillende hoogtes.
- Achter de aaneengesloten rijwoningen is het geluidsniveau veel lager.
- Met 1 bouwblok op het naakte bouwterrein verandert er zo goed als niets. Aan de 2 kopgevels het ‘aanzuig’ effect van gevelreflecties zichtbaar.
- Ook met meerdere bouwblokken die niet aan elkaar aansluiten op het bouwterrein verandert er nauwelijks iets aan het geluidsniveau op dit terrein. Enkel lokaal achter de gebouwen en tussen gebouwen die kort bij elkaar staan is er enig effect.

Uit deze simulatie blijkt dat wanneer gebouwen geplaatst worden op een terrein dat langs weerszijden belast wordt met verkeerslawaai van gelijkaardige geluidsniveaus, het zeer moeilijk is om op het terrein enige geluidsreductie te bekomen. Enkel het volledig afschermen van beide kanten kan dan leiden tot geluidsarme binnengebieden.



Figuur 42: Geluidsbelastingskaarten van L_{den} voor verschillende simulaties voor case 6

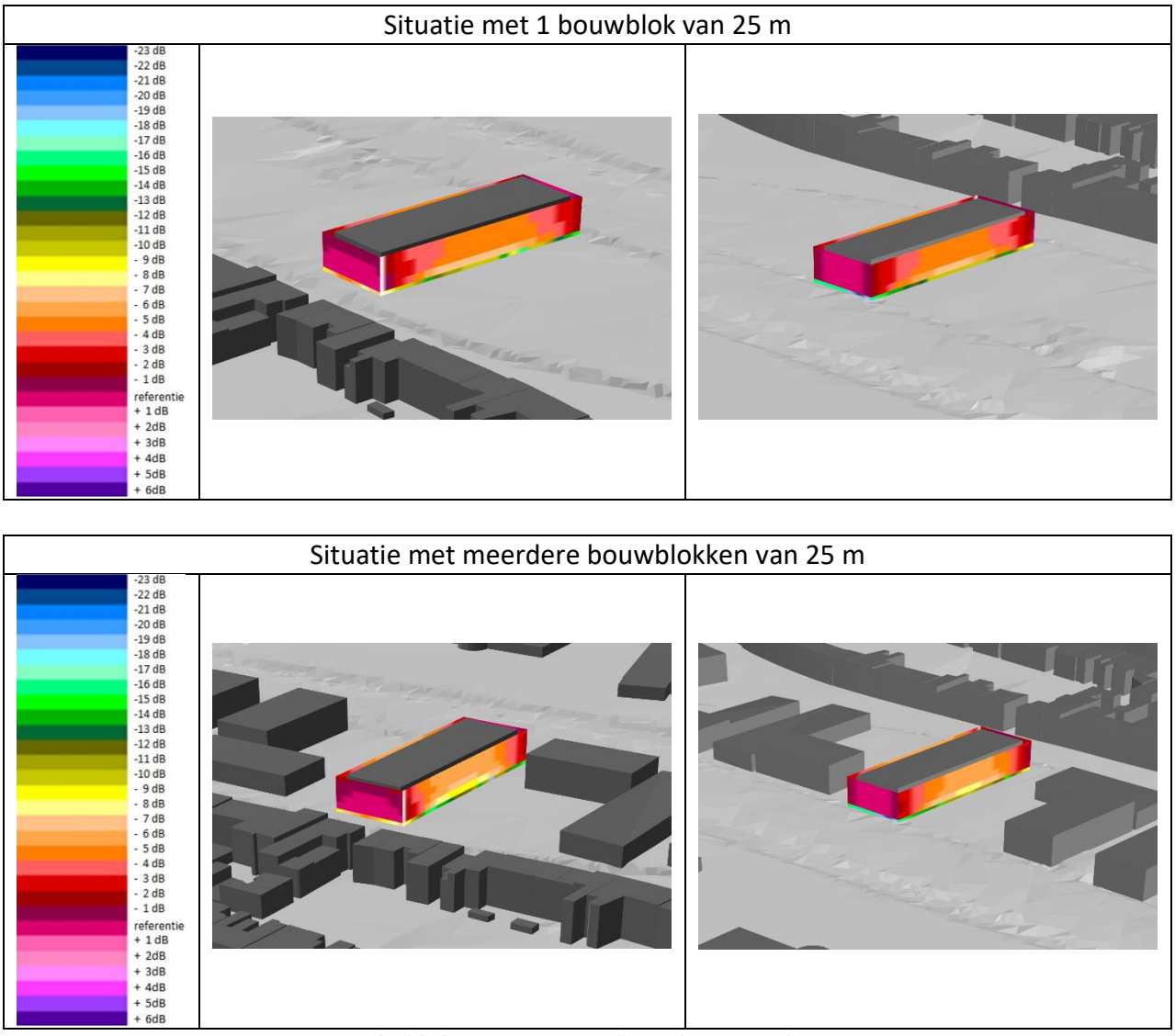
Resultaten simulaties gevelbelasting:

De figuren hieronder op de volgende bladzijde tonen de berekeningsresultaten van de L_{den}-waarden berekend op 2 m van de gevels van een bouwblok van 25 m hoogte voor respectievelijk enkel dit gebouw op het naakte bouwterrein en voor meerdere gebouwen op hetzelfde terrein.

De berekeningen werden uitgevoerd per stap van 1 dB om de verschillen op de gevels duidelijk te illustreren. De hoogste waarde op 2m hoogte van de meest belaste gevel ligt op 73-74 dB(A) en is de referentiewaarde (L_{Aref}).

Volgende conclusies kunnen uit deze simulaties getrokken worden:

- Ook hier is er op de gevels gericht naar de weg slechts 1 dB afname over de hoogte en dan zelfs enkel maar bovenaan. Aan de zijde van de spoorweg is er zelfs geen afname over de hoogte.
- Aan de kopgevels verandert er niets wanneer er meerdere gebouwen ingeplant worden.
- Langs de zijgevels is er geen afname in de hoogte maar wel over de lengte van de gevel. In het midden bedraagt de reductie ca. 5 dB. Dit heeft vooral te maken met het feit dat het een lange gevel betreft.
- De naastliggende gebouwen geven enige afscherming van de zijgevels, maar zeer beperkt. Het resultaat is hier ca. 1 dB gunstiger.
-



Figuur 43: Geluidsbelasting op 2 m van de gevels voor simulaties van case 6

5.3.8 Overzicht metingen en simulatie cases

De volgende tabel geeft een overzicht van de resultaten van de L_{den} en L_{night} waarden in de verschillende meetpunten voor de verschillende benaderingsmethoden.

Case	Locatie	Bron	GELUIDS-KAART		BEREKENING IN MEETPUNT (model)		BEREKENING NA VALIDATIE MODEL (detail model)		METING				AFWIJKING Lden			AFWIJKING Lnight			Gevelreflectie inbegrepen (j/n)	Hoogte meetpunt boven maaiveld (m)
			Lden	Lnight	Lnight	Lden	Lnight	Lden	Lday	Levening	Lnight	Lden	kaart - model	model - meting	detail model - meting	kaart - model	model - meting	detail model - meting		
CASES																				
Case 1	MP1 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	75	64	65	73	64	72	71	69	64	73	2	0	-1	-1	1	0	n	4m
	MP2 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	62	53	53	61	53	61	54	51	51	58	1	3	3	0	2	2	n	4m
Case 2	MP1 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	75	65	69	77	62	70	67	66	61	69	-2	7	1	-4	8	1	j	4m
	MP2 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	75	65	69	77	62	70	63	65	56	66	-2	10	4	-4	13	6	j	4m
	MP3 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	-	-	68	75	61	68	65	64	58	68		7	1		9	3	j	11m
Case 3	MP1 E40 - Gent	weg	75	69	71	78	71	78	76	74	71	79	-3	0	0	-2	0	0	n	4m
	MP2 E40 - Gent	weg	74	65	65	73	65	73	69	67	64	72	1	1	1	0	1	1	n	4m
	MP3 E40 - Gent	weg	62	53	55	63	55	63	57	56	54	62	-1	1	1	-2	1	1	n	4m
Case 4	MP1 Voskenslaan Gent	weg + tram	75	69	70	78	58	67	65	63	59	67	-3	11	0	-1	11	-1	j	4m
	MP2 Voskenslaan Gent	weg + tram	-	-	70	78	58	67	65	62	57	66		12	0		12	1	j	7m
	MP3 Voskenslaan Gent	weg + tram	75	69	71	79	60	69	66	63	59	67	-4	11	2	-2	12	1	j	4m
Case 5	MP1 Burggravelaan Gent	weg + spoor	72	65	67	74	65	73	69	67	64	72	-2	3	1	-2	3	1	j	4m
	MP2 Burggravelaan Gent	weg + spoor	-	-	69	76	67	74	70	68	64	72		4	2		4	2	j	7m
	MP3 Burggravelaan Gent	weg + spoor	75	70	64	72	65	73	73	71	67	75	3	-3	-1	6	-3	-1	j	3m
Case 6	MP1 Dampoort Gent	weg + spoor	69	60	63	71	65	72	69	68	66	73	-2	-2	-1	-3	-3	-1	j	4m
	MP2 Dampoort Gent	weg + spoor	71	64	63	70	61	69	61	61	58	65	1	5	3	1	4	3	n	4m

Tabel 15: Overzicht L_{den} en L_{night} waarden van de verschillende meetpunten van de cases

5.4 CONCLUSIES BIJ HET GEBRUIK VAN GELUIDSKAARTEN EN SIMULATIES

5.4.1 Gebruik van bestaande stratgische geluidskaarten

Uit voorgaande simulaties blijken de overeenkomsten tussen metingen en aflezing op de bestaande strategische geluidskaarten, opgesteld in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai, niet altijd zo goed te zijn. Hiervoor zijn er verschillende redenen:

- Geluidskaarten zijn opgesteld in stappen van 5 dB. Hierdoor is interpolatie nodig wil men een nauwkeuriger waarde kennen. Het interpoleren is niet altijd even eenvoudig , zeker wanneer dit geluidsniveau afkomstig is van verschillende verkeerswegen die een gelijkaardig geluidsniveau geven.
- Geluidskaarten worden opgesteld via interpolatie tussen rasterpunten volgens een raster van 10m op 10m. Vlak langs een verkeersweg, zeker wanneer de rasterpunten vallen op gebouwen, zijn de resultaten dan ook niet zo betrouwbaar kort bij de gevels. Ze zijn ook hier moeilijk af te lezen.
- Geluidskaarten kunnen grote afwijkingen geven door invoergegevens die niet (meer) overeenkomen met de huidige toestand, zoals:
    - onjuiste wegbedekking;
    - niet correcte voertuigsnelheid;
    - onjuiste intensiteiten;
    - geen opsplitsen van rijstroken, trambedding, …

- Daarbij geven geluidskaarten ook enkel het geluidsdrukniveau op een hoogte van 4m. Dit komt niet overeen met de hoogte van de referentiewaarde L_{Aref} die gevraagd wordt in de huidige of de ontwerpnorm (2m). In de meeste gevallen is het verschil op andere hoogtes niet zo groot zoals uit de simulaties blijkt, maar soms kunnen bepaalde bronnen afgeschermd zijn bij andere hoogtes (zie bv case 5).
- Vervolgens laten de bestaande geluidskaarten ook niet toe om het geluidsniveau af te lezen op plaatsen waar het terrein en de gebouwen veranderen: geluidsbelasting op nieuwe gebouwen, het inplanten van verscheidene gebouwen, afbreken van bestaande gebouwen, … zoals duidelijk uit de simulaties blijkt.
- Tot slot bestaan er ook geen geluidskaarten van gans Vlaanderen. Op veel plaatsen kan er dan ook geen gebruik van gemaakt worden.

De bestaande strategische geluidsbelastingskaarten opgesteld in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG zijn dan ook enkel maar indicatief[15] te gebruiken, maar zijn niet geschikt voor een (nauwkeurige) bepaling van de gevelbelasting bij nieuwe bouwprojecten en voor de bepaling van de gewenste gevelisolaties.
Het gebruik van strategische geluidsbelastingskaarten is in de toepassing van het ontwerp gewestelijk voorschrift dan ook enkel maar bedoeld voor eenvoudige situaties met lage complexiteit, zoals hoger vermeld onder § 5.1(Doel van het onderzoek en werkwijze).

5.4.2 Gebruik van akoestische simulaties

Voor een meer correcte bepaling van de geluidsbelasting op een terrein of aan de gevels van (nieuwe) gebouwen zijn akoestische simulaties nodig. Deze simulaties moeten echter aan verschillende voorwaarden voldoen om voldoende betrouwbaar te zijn:

- Zo moeten de invoergegevens voldoende nauwkeurig overeenkomen met de werkelijkheid. Dit geldt zowel voor de geometrie, als voor de geluidsbronnen, als voor de akoestische karakteristieken van de materialen (absorptie bodem, wegen, gevels, …). Dit wordt ook best ter plaatse geverifieerd. Eventueel aangevuld met verkeerstellingen.
- Daarbij moet ook het terrein dat gesimuleerd wordt voldoende groot zijn. Niet enkel de wegen waarlangs de gebouwen opgetrokken worden, maar ook de verder af gelegen verkeerswegen moeten deel uit maken van de simulatie. Zo zal het geluidsniveau van drukke autosnelwegen nog op grote afstanden een invloed hebben zeker wanneer deze weg niet afgeschermd wordt. Er dient dan ook vastgelegd te worden welk minimum terreinoppervlak in rekening is te brengen bij het uitvoeren van simulaties.
- De simulaties worden ook best getoetst aan de bestaande situatie. Metingen over een voldoende lange periode, geven interessante informatie over het verloop van het geluidsniveau over een etmaal. Deze metingen zijn dan wel uit te voeren op representatieve locaties die dan kunnen vergeleken worden met dezelfde locatie in de simulatie. Metingen van korte duur (bv een uur) elders op het terrein, en afkomstig van dezelfde bronnen, kunnen bijkomende info geven in andere meetpunten door vergelijking met de meetresultaten van het meetpunt van lange duur over dezelfde periode. Beide types metingen laten toe het model nog bij te sturen. Bij deze metingen zou ook een registratie moeten gebeuren van de randvoorwaarden (meteo, verkeersintensiteiten, ...) om deze één-op-één te kunnen vergelijken met de invoerparameters van het model. De meetpunten liggen bij voorkeur in vrije veldomstandigheden en op voldoende hoogte om de onzekerheid over de grootte van eventuele reflecties zo veel mogelijk uit te sluiten.

[15] De disclaimer gevoegd bij de gepubliceerde strategische geluidsbelastingskaarten vermeldt dit ook uitdrukkelijk: 'De geluidskaarten hebben enkel een strategisch nut (het geven van globale informatie over de blootstelling aan geluid in Vlaanderen). Ze zijn niet bijzonder geschikt voor het geven van specifieke gedetailleerde informatie over de geluidssituatie op lokaal niveau.'

- Om de geluidsbelasting aan (nieuwe) gebouwen te kennen moeten deze simulaties ook uitgevoerd worden voor de nieuwe situatie met de toekomstige inplanting van gebouwen. Volgens de uitgevoerde simulaties zijn de verschillen in geluidsniveau over de hoogte van de gevels meestal niet zo belangrijk, en zou een simulatie op één hoogte kunnen volstaan. In sommige situaties kunnen er echter toch wel grotere verschillen optreden. Dit is voornamelijk het geval bij al dan niet afschermende effecten van gebouwen in de omgeving. Het is dan ook veilig de simulaties uit te voeren op verschillende hoogtes om nauwkeuriger resultaten te bekomen. Indien besloten wordt dat één hoogte kan volstaan dient deze hoogte vastgelegd te worden: 2m zoals gevraagd wordt in de norm of 4m zoals de Europese richtlijn doet, of nog een andere hoogte? In de NBN-norm werd een hoogte van 2m gekozen maar de achtergrond is hiervan niet gekend. In Nederland (cfr Nederland - Meet- en rekenvoorschrift geluid 2012 (§ 4.5.3)) neemt men: "Waarneempunten voor gebouwen worden ten minste gekozen ter hoogte van de eerste verdieping (dit is een hoogte van 5 meter boven plaatselijk maaiveld) en bij woongebouwen met drie of meer woonlagen ter hoogte van de bovenste verdieping (dit is 1 meter onder de nok van het gebouw). Daarnaast kan voor de begane grond, en voor de beoordeling van het buitenklimaat een waarneempunt op 1,5 meter boven plaatselijk maaiveld worden gekozen."
- In de cases werd uitgegaan van simulaties waarbij het geluidsdrukniveau bepaald werd op 2m van de gevels van het gebouw, conform de definitie van het geluidsniveau buiten bij de bepaling van D_{Atr}. Dit is ook conform de werkwijze van de NBN normen. In het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is dit niet het geval en gaat men uit van de gevelbelasting, en dus het invallend geluid. Dit is te verhogen met 3 dB om te komen tot een geluidsdrukniveau op 2m van de gevel.

5.4.3 Gebruik van de methode van de norm

Zowel de huidige norm NBN S 01-400-1 (2008), als het ontwerpvoorstel van nieuwe norm prNBN S01-400-1 (2019) laten ook toe om L_{Aref} of $L_{Arefday}$ en $L_{Arefnight}$ af te leiden uit de typebeschrijving van een verkeersweg (enkel voor wegverkeerslawaai) (zie bijlage A van de huidige norm en bijlage B van de ontwerpnorm). Hier worden voor 4 klassen de overeenkomstige waarden gegeven van deze grootheden: zie onderstaande tabel.

Waarde van L_{Aref}, $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ via typebeschrijvingen volgens (pr)NBN S01-400-1			
Klasse	**Typebeschrijving**	**L_{Aref} en $L_{Aref,day}$**	**$L_{Aref,night}$**
1	Veelal bij rustige, landelijk wegen, rustige verkaveling met lokaal verkeer of in stadstraten met lokaal, beperkt verkeer	60 dB	55 dB
2	Stadstraten met normaal verkeer op asfalt, 1 rijvak per rijrichting	65 dB	60 dB
3	Druk, traagrijdend verkeer	70 dB	65 dB
4	Veelal bij stadstraten met zeer intens verkeer (bvb. Beliardstraat te Brussel), bij wegen met betonnen wegdek en met druk verkeer, langs nationale wegen, bij invalswegen naar grotere steden en bij verbindingswegen met regelmatig zwaar verkeer naar industrieterreinen.	≥ 77 dB	≥ 72 dB

Tabel 16: Waarde van L_{Aref} via typebeschrijvingen volgens NBN S01-400-1 en prNBN S01-400-1

De norm zegt zelf dat deze methode leidt tot de minst nauwkeurige bepaling van deze grootheden.
Daarenboven wordt bij deze methode ook niet aangegeven op welke afstand van de rijweg de waarden van de verschillende klassen van toepassing zijn. Er wordt ook geen onderscheid gemaakt in de aard van de bebouwing (aaneengesloten gebouwen, open bebouwing, …). Met de aard van de wegbedekking wordt heel summier rekening gehouden.
Wanneer de beschrijving van de verschillende cases (zie § 5.3.1) vergeleken wordt met deze klassen dan blijkt het ook niet zo gemakkelijk de case eenduidig toe te kennen aan één van deze klassen. Behoort bijvoorbeeld case 1 met de Botelaarlaan in Antwerpen, een drukke invalsweg met een 2x2 baanvaksweg met asfaltwegbedekking, tot klasse 3 of klasse 4 (nationale weg). De meting aan de rand van de weg gaf 73 dB(A) als L_{Aref} zonder gevelreflectie (Tabel 9: Resultaten metingen en berekeningen meetpunten case 1).

Voor de bepaling van de geluidsdrukniveaus aan de verschillende gevels hanteren beide normen rekenregels om L_A af te leiden uit de grootheid L_{Aref} (zie bijlage B van NBN S 01-400-1 en bijlage C van prNBN S 01-400-1). Vergelijking met de geluidsmodellen van de verschillende cases en de resultaten van de uitgevoerde berekeningen op 2 m van de gevels tonen aan dat de rekenregels van de norm redelijk goed corresponderen met de berekeningsresultaten voor eenvoudige situaties en vrijstaande gebouwen. De waarden van de norm zijn eerder conservatieve waarden zoals blijkt uit vergelijkingen. Een akoestisch model laat echter toe om meer nauwkeurige resultaten te bekomen over de verschillende gevelvlakken wat kan leiden tot meer economische voorzieningen achteraf bij de bepaling van de gevelisolaties. Ook laten deze modellen toe om de invloed (afscherming, reflecties, …) van meerdere gebouwen of complexere situaties op de gevelbelastingen te begroten, wat de rekenregels van de norm niet toelaten.
Tot slot zeggen beide normen ook dat wanneer een gebouw langer is dan 20m het gebouw op te delen is in deelgebouwen waarvan de lengte van de gevel kleiner is dan 20 m. Voor elk van deze deelgebouwen is dan L_{Aref} te bepalen aan de meest belaste gevel van het deelgebouw. Voor gebouwen met een grote breedte en diepte of voor meerdere aparte appartementsblokken betreft dit heel wat metingen bij gebruik van de methode van de norm. Dit kan beperkt worden met een akoestische simulatie.

5.5 RESULTATEN GEVELBELASTING VAN DE CASES

5.5.1 Opzet

In voorgaande bespreking van de verschillende cases werden enkel de indicatoren L_{den} en L_{night} gebruikt omdat enkel zij beschikbaar zijn via de huidige geluidsbelastingskaarten. De gevalideerde simulaties en de metingen laten echter ook toe de andere indicatoren L_{day} en $L_{evening}$ te berekenen. Daarenboven werden voor de metingen ook de verschillende andere grootheden berekend die gebruikt worden in de NBN normen (L_{Aref}, $L_{Aref,day}$, $L_{Aref,night}$, …). In deze paragraaf worden de resultaten van deze verschillende grootheden van de verschillende cases gegeven en besproken.
Bij de vergelijking van de resultaten van de verschillende grootheden voor de gevelbelasting worden ook de resultaten gegeven van bijkomende metingen. Het betreffen metingen die in het verleden door Tractebel werden uitgevoerd in het kader van studies van gevelisolaties van woningen. Deze metingen werden uitgevoerd over langere periodes (enkele dagen tot een week) in de buurt van een verkeersweg en werden op dezelfde manier als de cases uitgewerkt om de verschillende grootheden te bepalen. In bijlage worden meer details gegeven van de locatie van deze metingen en de gemeten grootheden.

5.5.2 Vergelijking tussen de indicatoren L_d, L_e, L_n en L_{den}

De bestaande strategische geluidskaarten tonen enkel de L_{den}-waarden en de L_{night}-waarden. Het is niet mogelijk om de andere indicatoren, namelijk L_{day} en $L_{evening}$ uit deze kaarten af te leiden.

De relaties tussen de indicatoren $L_{d(ay)}$, $L_{e(evening)}$, $L_{n(ight)}$ en L_{den} wordt gegeven door de volgende formule:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} (12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}})$$

In de meeste gevallen wordt de L_{den}-waarde voornamelijk bepaald door de L_d-waarde. In dat geval is er weinig verschil tussen beide. Het is mogelijk het verschil tussen de L_{den} en L_d te bepalen voor verschillende situaties. De tabel op de volgende bladzijde toont het verschil uitgaande van het verschil tussen de L_e-L_d en tussen L_n-L_d.

Lden=Ld + tabelwaarde		nacht (Ln-Ld)																				
		-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
avond (Le-Ld)	-15	-2.1	-1.9	-1.7	-1.4	-1.1	-0.7	-0.3	0.2	0.7	1.3	2.0	2.7	3.4	4.2	5.0	5.9	6.7	7.6	8.6	9.5	10.4
	-14	-2.0	-1.8	-1.6	-1.4	-1.0	-0.7	-0.3	0.2	0.7	1.3	2.0	2.7	3.4	4.2	5.0	5.9	6.7	7.6	8.6	9.5	10.4
	-13	-2.0	-1.8	-1.6	-1.3	-1.0	-0.7	-0.2	0.2	0.8	1.3	2.0	2.7	3.4	4.2	5.0	5.9	6.7	7.6	8.6	9.5	10.4
	-12	-1.9	-1.8	-1.5	-1.3	-1.0	-0.6	-0.2	0.3	0.8	1.4	2.0	2.7	3.4	4.2	5.0	5.9	6.7	7.6	8.6	9.5	10.4
	-11	-1.9	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.6	-0.2	0.3	0.8	1.4	2.0	2.7	3.4	4.2	5.0	5.9	6.8	7.7	8.6	9.5	10.4
	-10	-1.8	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.5	-0.1	0.3	0.9	1.4	2.1	2.7	3.5	4.2	5.1	5.9	6.8	7.7	8.6	9.5	10.5
	-9	-1.7	-1.6	-1.3	-1.1	-0.8	-0.5	-0.1	0.4	0.9	1.5	2.1	2.8	3.5	4.3	5.1	5.9	6.8	7.7	8.6	9.5	10.5
	-8	-1.6	-1.4	-1.2	-1.0	-0.7	-0.4	0.0	0.5	1.0	1.5	2.1	2.8	3.5	4.3	5.1	5.9	6.8	7.7	8.6	9.5	10.5
	-7	-1.5	-1.3	-1.1	-0.9	-0.6	-0.3	0.1	0.5	1.0	1.6	2.2	2.9	3.6	4.3	5.1	6.0	6.8	7.7	8.6	9.5	10.5
	-6	-1.3	-1.2	-1.0	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	0.6	1.1	1.7	2.3	2.9	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8	7.7	8.6	9.5	10.5
	-5	-1.1	-1.0	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.4	0.8	1.2	1.8	2.4	3.0	3.7	4.4	5.2	6.0	6.9	7.7	8.6	9.6	10.5
	-4	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.1	3.8	4.5	5.3	6.1	6.9	7.8	8.7	9.6	10.5
	-3	-0.6	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.7	1.1	1.6	2.0	2.6	3.2	3.9	4.6	5.3	6.1	7.0	7.8	8.7	9.6	10.5
	-2	-0.3	-0.2	0.0	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.8	2.2	2.8	3.3	4.0	4.7	5.4	6.2	7.0	7.9	8.7	9.6	10.6
	-1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.4	3.0	3.5	4.1	4.8	5.5	6.3	7.1	7.9	8.8	9.7	10.6
	0	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6	1.9	2.3	2.7	3.2	3.7	4.3	5.0	5.7	6.4	7.2	8.0	8.9	9.7	10.6
	1	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	3.0	3.5	4.0	4.5	5.1	5.8	6.5	7.3	8.1	8.9	9.8	10.7
	2	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.8	4.3	4.8	5.4	6.0	6.7	7.4	8.2	9.0	9.9	10.7
	3	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.8	2.9	3.2	3.5	3.8	4.2	4.6	5.1	5.6	6.2	6.9	7.6	8.3	9.1	10.0	10.8
	4	2.9	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.5	3.7	4.0	4.3	4.6	5.0	5.4	5.9	6.5	7.1	7.8	8.5	9.3	10.1	10.9
	5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.3	4.5	4.8	5.1	5.4	5.8	6.3	6.8	7.4	8.0	8.7	9.5	10.2	11.0
	6	4.3	4.4	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.4	5.6	5.9	6.3	6.7	7.2	7.7	8.3	9.0	9.7	10.4	11.2
	7	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.8	6.0	6.2	6.5	6.8	7.2	7.6	8.1	8.7	9.3	9.9	10.6	11.4
	8	5.9	6.0	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.7	6.9	7.1	7.4	7.7	8.1	8.5	9.0	9.6	10.2	10.9	11.6
	9	6.8	6.8	6.9	6.9	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.8	8.0	8.3	8.7	9.0	9.5	10.0	10.5	11.2	11.8
	10	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.5	8.7	9.0	9.3	9.6	10.0	10.4	10.9	11.5	12.1

Tabel 17: Berekend verschil tussen L_{den} en L_d

Wanneer er 10 dB verschil is tussen dag- en nachtwaarde en 5 dB verschil tussen dag- en avondwaarde dan is L_{den}=L_d conform de formule.

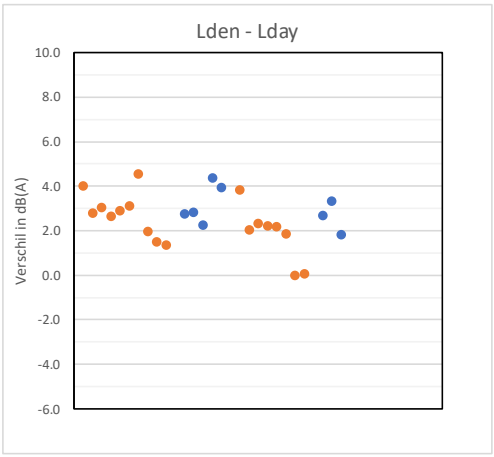
In de meeste gevallen is de avondwaarde gelijk of minder dan de dagwaarde en is de nachtwaarde 5 dB of meer lager dan de dagwaarde. De omkaderde waarden in de tabel geven dan het verschil tussen de meest courant voorkomende dagwaarde en de etmaalwaarde. Dit verschil is dan beperkt:

$$L_{den} \approx L_{day} + (-2 \text{ à } +3 \text{ dB}) \qquad (1)$$

Enkel wanneer de gevelbelastingen tijdens de nacht van dezelfde grootte-orde ($L_n \approx L_d$) zijn dan tijdens de dag of wanneer de gevelbelastingen tijdens de avond groter zijn dan tijdens de dag ($L_e > L_d$), dan zal ook de etmaalwaarde veel groter worden dan de dagwaarde. Dit zijn echter uitzonderingen.
De volgende tabel en grafiek tonen deze verschillen voor de verschillende uitgevoerde metingen. Wanneer de verschillen afwijken van de waarden van bovenstaande formule dan zijn deze waarden gemarkeerd in de tabel. Ook wanneer de nacht minder dan 5 dB stiller is dan de dag of wanneer de avond luider is dan de dag is dit gemarkeerd. Dit laatste is zeldzaam. De nacht kan soms wel relatief luid zijn waardoor het verschil tussen dagwaarde en de etmaalwaarde kan oplopen.

Case		Locatie	Bron	METING				Verschillen tussen parameters				
				Lday	Levening	Lnight	Lden	Lden - Lday	Lden - Lnight	Lnight - Lday	Levening-Lday	Levening - Lnight
CASES												
Case 1	MP1	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	71	69	64	73	2.0	9.0	-7.0	-2.0	5.0
	MP2	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	54	51	51	58	4.0	7.0	-3.0	-3.0	0.0
Case 2	MP1	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	67	66	61	69	2.8	8.6	-5.8	-0.6	5.2
	MP2	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	63	65	56	66	3.1	10.1	-7.0	2.1	9.1
	MP3	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	65	64	58	68	2.6	9.7	-7.0	-1.3	5.8
Case 3	MP1	E40 - Gent	weg	76	74	71	79	2.9	7.5	-4.6	-1.9	2.8
	MP2	E40 - Gent	weg	69	67	64	72	3.1	7.4	-4.3	-1.7	2.6
	MP3	E40 - Gent	weg	57	56	54	62	4.5	7.5	-3.0	-1.4	1.6
Case 4	MP1	Voskenslaan Gent	weg + tram	65	63	59	67	2.0	8.3	-6.3	-2.3	4.1
	MP2	Voskenslaan Gent	weg + tram	65	62	57	66	1.5	8.8	-7.3	-2.7	4.6
	MP3	Voskenslaan Gent	weg + tram	66	63	59	67	1.4	8.9	-7.5	-2.9	4.6
Case 5	MP1	Burggravelaan Gent	weg + spoor	69	67	64	72	2.7	7.9	-5.1	-1.4	3.7
	MP2	Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	2.8	8.0	-5.2	-1.4	3.8
	MP3	Burggravelaan Gent	weg + spoor	73	71	67	75	2.2	8.3	-6.1	-1.5	4.5
Case 6	MP1	Dampoort Gent	weg + spoor	69	68	66	73	4.4	7.3	-3.0	-0.6	2.4
	MP2	Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	4.0	7.1	-3.2	-0.7	2.5
METINGEN TRACTEBEL												
Meting 1	MP1	Boomsesteenweg Aartselaar	weg	70	68	66	74	3.8	7.5	-3.7	-2.0	1.6
Meting 2	MP1	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	57	55	51	59	2.0	8.4	-6.4	-2.0	4.3
	MP2	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	65	63	59	67	2.3	8.0	-5.7	-2.1	3.7
Meting 3	MP1	Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	71	68	65	73	2.2	8.7	-6.5	-2.7	3.8
	MP2	Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	68	66	62	71	2.2	8.7	-6.5	-2.9	3.6
Meting 4	MP1	Britselei Antwerpen	weg + tram	70	68	62	72	1.9	9.6	-7.7	-1.5	6.2
Meting 5	MP1	Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	74	69	63	73	0.0	11.0	-11.0	-4.6	6.4
	MP2	Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	71	66	60	71	0.1	11.1	-11.1	-5.3	5.8
Meting 6	MP1	Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	2.7	8.2	-5.5	-2.8	2.7
Meting 7	MP1	Boechout	spoor	65	64	61	68	3.3	7.5	-4.2	-0.9	3.3
Meting 8	MP1	Lovenjoel	spoor	59	55	51	61	1.8	9.6	-7.8	-4.2	3.6

Tabel 18: Gemeten verschil tussen L_{den} en L_d



Figuur 44: Gemeten verschil tussen L_{den} en L_d voor cases van wegverkeer zonder spoorverkeer (oranje) en met spoorverkeer (blauw)

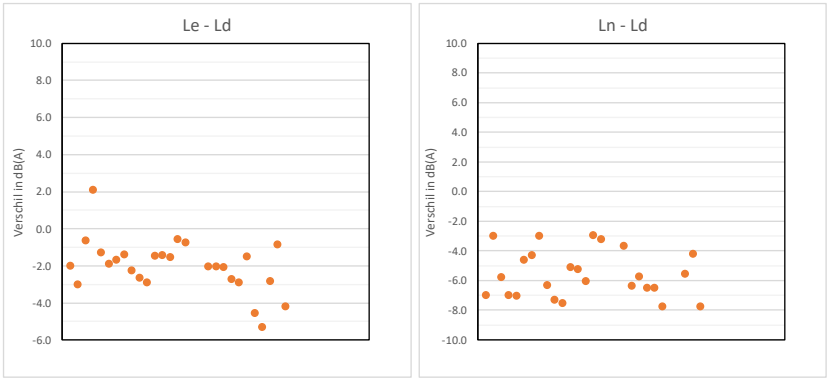
Bij deze metingen blijkt L_{den} altijd groter te zijn dan L_d. Gemiddeld geeft dit dan over alle metingen:

$$L_{den} \approx L_{day} + (0 \text{ à } +4 \text{ dB}) \text{ of omgekeerd } L_{day} \approx L_{den} - (0 \text{ à } 4 \text{ dB})$$

Op de grafiek zijn de waarden met enkel wegverkeerslawaai in het oranje gegeven; deze met enkel spoorverkeerslawaai of een combinatie van spoorverkeerslawaai en wegverkeer in het blauw. De spreiding is echter vrij gelijkaardig.
Volgens het ontwerpnorm zou er volgend verband zijn: [16]

- Voor wegverkeerslawaai $L_{day} = L_{den}$ -1.8 dB
- Voor spoorverkeerslawaai: $L_{day} = L_{den}$ -6.0 dB

De eerste vergelijking wordt teruggevonden in de metingen. De tweede vergelijking echter niet. Het is ook niet altijd mogelijk een site te hebben met enkel één van beide soorten bron, vaak is het een combinatie van beide geluidsbronnen.
De 2 volgende grafieken tonen nog, ter informatie, respectievelijk het verschil tussen de avond- en dagwaarde en tussen de nacht- en de dagwaarde van alle metingen. De avond is gemiddeld 0 tot 5 dB rustiger dan de dag; de nacht is gemiddeld 3 tot 8 dB rustiger dan de dag.



Figuur 45: Gemeten verschil tussen L_e en L_d (rechts) en tussen L_n en L_d (links) voor alle cases

[16] Zie hiervoor een onderzoek van Brink, Schäffer, Pieren, Wunderli. Conversion between noise exposure indicators L_{eq24h}, L_{Day}, $L_{Evening}$, L_{Night}, L_{dn}, and L_{den}: Principles and practical guidance. International Journal of Hygiene and Environmental Health 221 (2018) 54-63

Net zoals tussen de dag- en etmaalwaarde kan ook de relatie tussen de nacht- en etmaalwaarde op dezelfde manier bekeken worden. De volgende tabel toont het verschil uitgaande van het verschil tussen de L_e-L_n en tussen L_d-L_n.

LDEN=Lnight + tabelwaarde		dag (Ld-Ln)																									
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
avond (Le-Ln)	-5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.9	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.1	7.5	7.9	8.3	8.9	9.4	10.1	10.7	11.5	12.2	13.0	13.9	14.8	15.7	16.6	17.5
	-4	5.7	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.4	6.6	6.9	7.2	7.5	7.9	8.4	8.9	9.4	10.1	10.8	11.5	12.2	13.1	13.9	14.8	15.7	16.6	17.5
	-3	5.7	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.2	7.5	7.9	8.4	8.9	9.5	10.1	10.8	11.5	12.3	13.1	13.9	14.8	15.7	16.6	17.5
	-2	5.8	5.9	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.5	6.7	7.0	7.3	7.6	8.0	8.4	8.9	9.5	10.1	10.8	11.5	12.3	13.1	13.9	14.8	15.7	16.6	17.5
	-1	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.6	6.8	7.0	7.3	7.7	8.0	8.5	9.0	9.5	10.2	10.8	11.5	12.3	13.1	13.9	14.8	15.7	16.6	17.5
	0	6.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.7	6.9	7.1	7.4	7.7	8.1	8.5	9.0	9.6	10.2	10.9	11.6	12.3	13.1	13.9	14.8	15.7	16.6	17.5
	1	6.2	6.2	6.3	6.3	6.4	6.5	6.7	6.8	7.0	7.2	7.5	7.8	8.2	8.6	9.1	9.7	10.3	10.9	11.6	12.4	13.1	14.0	14.8	15.7	16.6	17.5
	2	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	7.0	7.1	7.4	7.6	7.9	8.3	8.7	9.2	9.7	10.3	11.0	11.7	12.4	13.2	14.0	14.8	15.7	16.6	17.5
	3	6.5	6.6	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.3	7.5	7.8	8.1	8.4	8.8	9.3	9.8	10.4	11.0	11.7	12.4	13.2	14.0	14.9	15.8	16.6	17.6
	4	6.8	6.8	6.9	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.5	7.7	8.0	8.3	8.6	9.0	9.4	9.9	10.5	11.1	11.8	12.5	13.3	14.1	14.9	15.8	16.7	17.6
	5	7.1	7.1	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.8	8.0	8.2	8.5	8.8	9.2	9.6	10.1	10.6	11.2	11.9	12.6	13.3	14.1	15.0	15.8	16.7	17.6
	6	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.2	8.4	8.7	9.0	9.4	9.8	10.3	10.8	11.4	12.0	12.7	13.4	14.2	15.0	15.9	16.7	17.6
	7	7.8	7.8	7.9	7.9	8.0	8.0	8.1	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.3	9.6	10.0	10.5	11.0	11.5	12.1	12.8	13.5	14.3	15.1	15.9	16.8	17.7
	8	8.2	8.3	8.3	8.3	8.4	8.5	8.5	8.6	8.8	8.9	9.1	9.3	9.6	9.9	10.3	10.7	11.2	11.7	12.3	13.0	13.6	14.4	15.2	16.0	16.8	17.7
	9	8.7	8.8	8.8	8.8	8.9	8.9	9.0	9.1	9.2	9.4	9.5	9.7	10.0	10.3	10.6	11.0	11.4	11.9	12.5	13.1	13.8	14.5	15.3	16.1	16.9	17.8
	10	9.3	9.3	9.3	9.4	9.4	9.5	9.5	9.6	9.7	9.8	10.0	10.2	10.4	10.7	11.0	11.3	11.8	12.2	12.8	13.3	14.0	14.7	15.4	16.2	17.0	17.9
	11	9.9	9.9	10.0	10.0	10.0	10.1	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.7	10.9	11.1	11.4	11.7	12.1	12.5	13.0	13.6	14.2	14.9	15.6	16.3	17.1	17.9
	12	10.6	10.6	10.6	10.6	10.7	10.7	10.8	10.8	10.9	11.0	11.1	11.3	11.4	11.6	11.9	12.2	12.5	12.9	13.4	13.9	14.5	15.1	15.8	16.5	17.3	18.1
	13	11.3	11.3	11.3	11.3	11.4	11.4	11.5	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	12.0	12.2	12.4	12.7	13.0	13.4	13.8	14.2	14.8	15.4	16.0	16.7	17.4	18.2
	14	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.2	12.2	12.2	12.3	12.4	12.4	12.6	12.7	12.8	13.0	13.3	13.5	13.8	14.2	14.6	15.1	15.7	16.3	16.9	17.6	18.4
	15	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	13.0	13.0	13.1	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.7	13.9	14.1	14.4	14.7	15.1	15.5	16.0	16.6	17.2	17.9	18.6
	16	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	13.8	13.8	13.8	13.9	13.9	14.0	14.0	14.1	14.2	14.4	14.5	14.8	15.0	15.3	15.6	16.0	16.5	17.0	17.5	18.1	18.8
	17	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.7	14.7	14.7	14.8	14.8	14.9	15.0	15.1	15.3	15.4	15.7	15.9	16.2	16.5	16.9	17.4	17.9	18.5	19.1
	18	15.4	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.6	15.6	15.6	15.7	15.7	15.8	15.9	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.1	17.5	17.9	18.3	18.9	19.4
	19	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.5	16.5	16.5	16.6	16.7	16.7	16.8	17.0	17.1	17.3	17.5	17.8	18.1	18.4	18.8	19.3	19.8
	20	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.4	17.4	17.4	17.4	17.5	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	18.1	18.2	18.5	18.7	19.0	19.4	19.8	20.3

Tabel 19: Berekend verschil tussen L_{den} en L_n

Wanneer er 10 dB verschil is tussen dag en nachtwaarde en 5 dB verschil tussen dag- en avond-waarde dan is $L_{den}=L_n+$ 10 dB.

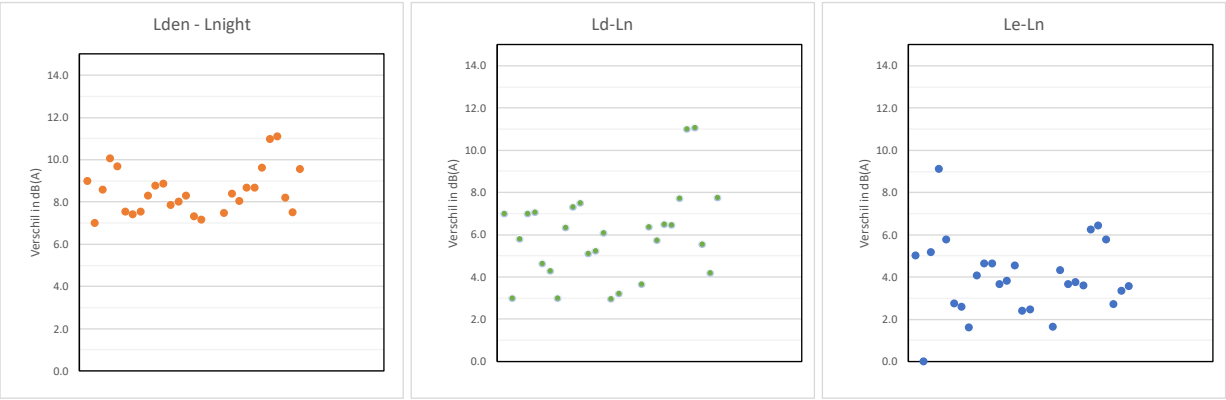
In de meeste gevallen is de avondwaarde gelijk of meer dan de nachtwaarde en is de dagwaarde 5 dB of meer hoger dan de nachtwaarde. De omkaderde waarden in de tabel geven dan het verschil tussen de nachtwaarde en de etmaalwaarde van de meest courant voorkomende situaties. Dit verschil is dan beperkt:

$$L_{den} \approx L_{night} + (7 \text{ à } +14 \text{ dB})$$

De volgende tabel toont deze verschillen voor de verschillende uitgevoerde metingen. Wanneer de verschillen afwijken van de waarden van bovenstaande formule dan zijn deze waarden gemarkeerd in de tabel. Ook wanneer de nacht minder dan 5 dB stiller is dit gemarkeerd. De nacht blijkt nooit luider te zijn dan de avondperiode.
In praktijk (zie ook de grafiek op volgende bladzijde) blijkt het verschil tussen L_{den} en L_{night} zich eerder te situeren tussen 7 en 11 dB of gemiddeld 9 dB. Bij de metingen was de dag ca. 3 tot 8 dB luider dan de nacht en de avond ca. 1 tot 7 dB luider dan de nacht.

Case		Locatie	Bron	METING				Verschillen tussen parameters				
				Lday	Levening	Lnight	Lden	Lden - Lday	Lden - Lnight	Lday - Lnight	Levening-Lday	Levening - Lnight
CASES												
Case 1	MP1	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	71	69	64	73	2.0	9.0	7.0	-2.0	5.0
	MP2	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	54	51	51	58	4.0	7.0	3.0	-3.0	0.0
Case 2	MP1	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	67	66	61	69	2.8	8.6	5.8	-0.6	5.2
	MP2	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	63	65	56	66	3.1	10.1	7.0	2.1	9.1
	MP3	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	65	64	58	68	2.6	9.7	7.0	-1.3	5.8
Case 3	MP1	E40 - Gent	weg	76	74	71	79	2.9	7.5	4.6	-1.9	2.8
	MP2	E40 - Gent	weg	69	67	64	72	3.1	7.4	4.3	-1.7	2.6
	MP3	E40 - Gent	weg	57	56	54	62	4.5	7.5	3.0	-1.4	1.6
Case 4	MP1	Voskenslaan Gent	weg + tram	65	63	59	67	2.0	8.3	6.3	-2.3	4.1
	MP2	Voskenslaan Gent	weg + tram	65	62	57	66	1.5	8.8	7.3	-2.7	4.6
	MP3	Voskenslaan Gent	weg + tram	66	63	59	67	1.4	8.9	7.5	-2.9	4.6
Case 5	MP1	Burggravelaan Gent	weg + spoor	69	67	64	72	2.7	7.9	5.1	-1.4	3.7
	MP2	Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	2.8	8.0	5.2	-1.4	3.8
	MP3	Burggravelaan Gent	weg + spoor	73	71	67	75	2.2	8.3	6.1	-1.5	4.5
Case 6	MP1	Dampoort Gent	weg + spoor	69	68	66	73	4.4	7.3	3.0	-0.6	2.4
	MP2	Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	4.0	7.1	3.2	-0.7	2.5
METINGEN TRACTEBEL												
Meting 1	MP1	Boomsesteenweg Aartselaar	weg	70	68	66	74	3.8	7.5	3.7	-2.0	1.6
Meting 2	MP1	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	57	55	51	59	2.0	8.4	6.4	-2.0	4.3
	MP2	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	65	63	59	67	2.3	8.0	5.7	-2.1	3.7
Meting 3	MP1	Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	71	68	65	73	2.2	8.7	6.5	-2.7	3.8
	MP2	Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	68	66	62	71	2.2	8.7	6.5	-2.9	3.6
Meting 4	MP1	Britselei Antwerpen	weg + tram	70	68	62	72	1.9	9.6	7.7	-1.5	6.2
Meting 5	MP1	Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	74	69	63	73	0.0	11.0	11.0	-4.6	6.4
	MP2	Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	71	66	60	71	0.1	11.1	11.1	-5.3	5.8
Meting 6	MP1	Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	2.7	8.2	5.5	-2.8	2.7
Meting 7	MP1	Boechout	spoor	65	64	61	68	3.3	7.5	4.2	-0.9	3.3
Meting 8	MP1	Lovenjoel	spoor	59	55	51	61	1.8	9.6	7.8	-4.2	3.6

Tabel 20: Gemeten verschil tussen L_{den} en L_n



Figuur 46: Grafiek met gemeten verschil tussen L_{den} - L_n, L_d - L_n, L_e - L_n

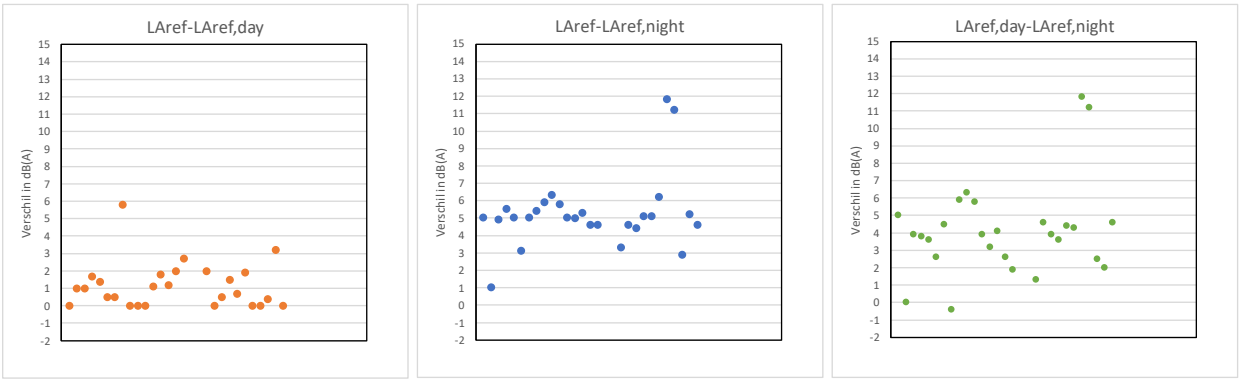
5.5.3 Vergelijking tussen de grootheden L_{Aref}, $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$

De definities van L_{Aref} volgens de huidige norm NBN S01-400-01:2008 en $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ volgens de ontwerpnorm prNBN S01-400-01:2019 werden hoger gegeven (zie §4.2.2.1 en §4.2.3.1), evenals de manier waarop de waarden van deze grootheden afgeleid werden van de meetresultaten (zie §5.2.2.1 en §5.2.2.2).
Bij de metingen van de cases werd er in verschillende meetpunten gemeten. In de veronderstelling dat deze metingen gebeurden op locaties waar een nieuw gebouw zou kunnen komen worden deze meetpunten gebruikt als referentiewaarden voor het geluidsniveau vastgesteld op 2 m van de gevel. Hiertoe moeten de waarden die niet op 2 m van een bestaande gevel werden vastgesteld verhoogd worden met 3 dB om, conform de beide NBN normen te zijn.
De beide bovenstaande NBN normen vragen om deze metingen uit te voeren op 2m boven het maaiveld. Dit was niet het geval voor de uitgevoerde metingen. In de praktijk is het immers niet zo handig in het geval metingen van langere duur uitgevoerd worden zoals hier het geval is. Het toestel moet dan immers achtergelaten worden en is dan nog gemakkelijk bereikbaar (diefstal, beschadiging, …). In deze studie werd niet systematisch onderzocht aan de hand van metingen welk verschil er is tussen de gekozen meethoogte en een meethoogte op 2m. In de simulaties van de verschillende cases, waarbij het geluidsniveau aan de voorgevel werd berekend, blijkt dat er in de hoogte weinig verschil is. Ook worden de gemeten waarden gebruikt om grootheden onderling met elkaar te vergelijken. De afwijkende positie van de meetpost speelt dan ook niet direct.
De volgende tabel toont de berekende waarden voor L_{Aref} van de huidige norm en $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ van de ontwerpnorm voor de verschillende cases en voor de vroeger uitgevoerde metingen. Ook de onderlinge verschillen worden getoond.

Case	Locatie	Bron	METING (met en zonder gevelreflecties)				METING LAref met gevelreflectie			Verschillen		
			LAref * (2008)	LAref,day* (2019)	LAref,night* (2019)	Gevelreflectie inbegrepen (j/n)	LAref (2008)	LAref,day (2019)	LAref, night (2019)	LAref - LAref,day	LAref - LAref,night	LAref,day - LAref,night
CASES												
Case 1	MP1 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	72	72	67	n	75	75	70	0	5	5
	MP2 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	57	56	56	n	60	59	59	1	1	0
Case 2	MP1 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	69	68	65	j	69	68	65	1	5	4
	MP2 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	69	67	63	j	69	67	63	2	6	4
	MP3 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	68	66	63	j	68	66	63	1	5	4
Case 3	MP1 E40 - Gent	weg	78	78	75	n	81	81	78	1	3	3
	MP2 E40 - Gent	weg	72	71	67	n	75	74	70	1	5	5
	MP3 E40 - Gent	weg	67	62	62	n	70	65	65	6	5	0
Case 4	MP1 Voskenslaan Gent	weg + tram	68	68	62	j	68	68	62	0	6	6
	MP2 Voskenslaan Gent	weg + tram	67	67	61	j	67	67	61	0	6	6
	MP3 Voskenslaan Gent	weg + tram	68	68	62	j	68	68	62	0	6	6
Case 5	MP1 Burggravelaan Gent	weg + spoor	72	71	67	j	72	71	67	1	5	4
	MP2 Burggravelaan Gent	weg + spoor	73	71	68	j	73	71	68	2	5	3
	MP3 Burggravelaan Gent	weg + spoor	75	74	70	j	75	74	70	1	5	4
Case 6	MP1 Dampoort Gent	weg + spoor	73	71	69	j	73	71	69	2	5	3
	MP2 Dampoort Gent	weg + spoor	66	63	61	n	69	66	64	3	5	2
METINGEN TRACTEBEL												
Meting 1	MP1 Boomsesteenweg Aartselaar	weg	73	71	70	n	76	74	73	2	3	1
Meting 2	MP1 Oostmalsesteenweg Emblem	weg	59	59	54	j	59	59	54	0	5	5
	MP2 Oostmalsesteenweg Emblem	weg	67	66	62	j	67	66	62	1	4	4
Meting 3	MP1 Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	73	71	67	j	73	71	67	2	5	4
	MP2 Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	70	69	65	j	70	69	65	1	5	4
Meting 4	MP1 Britselei Antwerpen	weg + tram	72	70	66	j	72	70	66	2	6	4
Meting 5	MP1 Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	77	77	65	j	77	77	65	0	12	12
	MP2 Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	74	74	63	j	74	74	63	0	11	11
Meting 6	MP1 Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	56	55	53	n	59	58	56	0	3	3
Meting 7	MP1 Boechout	spoor	71	68	66	n	74	71	69	3	5	2
Meting 8	MP1 Lovenjoel	spoor	61	61	56	j	61	61	56	0	5	5
LAref*, LAref,day* en LAref,night* zijn aangeduid met een asterix om te duiden dat ze nog niet allemaal inclusief gevelreflectie zijn.												

Tabel 21: Gemeten waarden van L_{Aref}, $L_{Aref,day}$ en $L_{Aref,night}$ en onderlinge verschillen

In alle situaties is de huidige L_{Aref}-waarde 0 tot 3 dB hoger dan de dagwaarde van de ontwerpnorm. Met de nachtwaarde zijn er veel grotere verschillen. Gemiddeld liggen ze voor de onderzochte gevallen tussen 3 en 6 dB maar ook veel grotere en lagere waarden komen voor (tussen 1 en 12 dB!). De verschillen tussen de dag- en nachtwaarde van de ontwerpnorm kunnen eveneens groot zijn. Het één en ander heeft ondermeer te maken met het feit dat in beide normen andere periodes worden gehanteerd voor dag en nacht.



Figuur 47: Grafiek met gemeten verschil tussen $L_{Aref} - L_{Aref,day}$ (links), $L_{Aref} - L_{Aref,night}$ (midden) en $L_{Aref,day} - L_{Aref,night}$ (rechts)

5.5.4 Vergelijking tussen de grootheden L_d, L_e, L_n en L_{den} en de L_A-grootheden

In de huidige Belgische norm geeft de grootheid L_A het buitenlawaai op 2 m van een gevelvlak. Dit is ook het geval voor $L_{A,day}$ en $L_{A,night}$ van de ontwerpnorm. Deze grootheden worden afgeleid uit de metingen in het referentiepunt (zie hoger). In hetgeen volgt veronderstellen we een gevel aan de straatzijde op de locatie waar de metingen werden uitgevoerd. Voor deze gevel is $L_A = L_{Aref}$, idem voor de dag- en nachtwaarde (inclusief gevelreflecties). In dezelfde meetpunten beschouwen we de metingen van de L_d, L_e, L_n en L_{den}, voor het invallend geluid (zonder gevelreflectie). De volgende tabel toont deze (aangepast waar nodig) waarden.

Case		Locatie	Bron	Metingen gevelbelastingzonder gevelreflectie				Metingen gevelbelasting inclusief gevelreflecties			Verschillen				
				Lday	Levening	Lnight	Lden	LA	LA,day	LA,night	LA-Lden	LA,day - Lden	LA,night - Lden	LA,day-Lday	LA,night-Lnight
CASES															
Case 1	MP1	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	71	69	64	73	75	75	70	2.0	2.0	-3.0	4.0	6.0
	MP2	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	54	51	51	58	60	59	59	2.0	1.0	1.0	5.0	8.0
Case 2	MP1	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	64	63	58	66	69	68	65	2.9	1.9	-2.0	4.7	6.6
	MP2	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	60	62	53	63	69	67	63	5.4	3.7	-0.1	6.8	10.0
	MP3	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	62	61	55	65	68	66	63	3.1	1.7	-1.9	4.3	7.7
Case 3	MP1	E40 - Gent	weg	76	74	71	79	81	81	78	2.6	2.1	-0.5	5.0	7.0
	MP2	E40 - Gent	weg	69	67	64	72	75	74	70	2.9	2.4	-2.1	5.5	5.3
	MP3	E40 - Gent	weg	57	56	54	62	70	65	65	8.8	3.0	3.4	7.5	10.9
Case 4	MP1	Voskenslaan Gent	weg + tram	62	60	56	64	68	68	62	4.1	4.1	-1.8	6.0	6.4
	MP2	Voskenslaan Gent	weg + tram	62	59	54	63	67	67	61	3.8	3.8	-2.5	5.3	6.3
	MP3	Voskenslaan Gent	weg + tram	63	60	56	64	68	68	62	3.7	3.7	-2.1	5.1	6.8
Case 5	MP1	Burggravelaan Gent	weg + spoor	66	64	61	69	72	71	67	3.5	2.4	-1.5	5.2	6.4
	MP2	Burggravelaan Gent	weg + spoor	67	65	61	69	73	71	68	3.7	1.9	-1.3	4.7	6.8
	MP3	Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	75	74	70	3.1	1.9	-2.2	4.1	6.1
Case 6	MP1	Dampoort Gent	weg + spoor	66	65	63	70	73	71	69	3.1	1.1	-1.5	5.4	5.8
	MP2	Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	69	66	64	3.3	0.6	-1.3	4.5	5.8
METINGEN TRACTEBEL															
Meting 1	MP1	Boomsesteenweg Aartselaar	weg	70	68	66	74	76	74	73	2.4	0.4	-0.9	4.3	6.6
Meting 2	MP1	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	54	52	48	56	59	59	54	2.9	2.9	-1.7	4.9	6.7
	MP2	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	62	60	56	64	67	66	62	2.4	1.9	-2.0	4.2	6.0
Meting 3	MP1	Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	68	65	62	70	73	71	67	2.2	0.7	-2.9	2.9	5.8
	MP2	Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	65	63	59	68	70	69	65	2.0	1.3	-3.1	3.5	5.5
Meting 4	MP1	Britselei Antwerpen	weg + tram	67	65	59	69	72	70	66	3.7	1.8	-2.5	3.7	7.1
Meting 5	MP1	Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	71	66	60	70	77	77	65	6.8	6.8	-5.0	6.8	6.0
	MP2	Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	68	63	57	68	74	74	63	5.8	5.8	-5.4	5.9	5.8
Meting 6	MP1	Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	59	58	56	2.9	2.6	0.1	5.2	8.3
Meting 7	MP1	Boechout	spoor	65	64	61	68	74	71	69	5.5	2.3	0.3	5.6	7.8
Meting 8	MP1	Lovenjoel	spoor	56	52	48	58	61	61	56	2.7	2.7	-1.9	4.5	7.7
											gemidd	**3.6**	**2.5**	**-1.6**	**5.0**	**6.9**
											standaarddeviatie	2.6	2.2	3.0	1.1	1.7

Tabel 22: Gemeten waarden grootheden gevelbelasting en onderlinge verschillen

Volgens de ontwerpnorm prNBN S01-400-1 : 2019 zijn er een aantal verbanden tussen deze grootheden. Deze worden hieronder gegeven en vergeleken met de bovenstaande meetwaarden.

1. Verband tussen $L_{A,day}$ en L_{day}

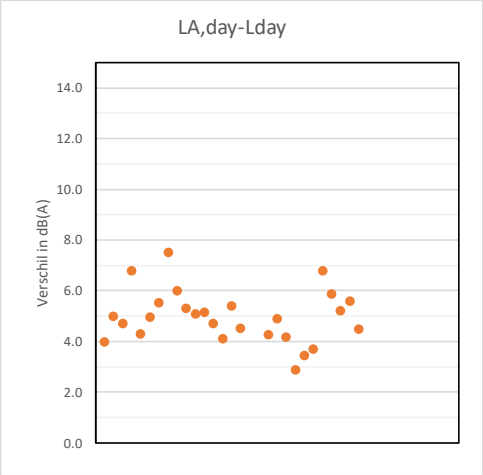
   De norm prNBN S01-400-1 : 2019 geeft hiervoor:

   $$L_{A,day} = L_{day} + 1\ dB + 3\ dB\ = L_{day} + 4\ dB$$

   De norm stelt dat deze waarde geldig is voor wegverkeer en luchtverkeer, maar geeft aan dat dit als eerste benadering ook voor spoorverkeer kan gebruikt worden. De grafiek op volgende bladzijde toont de verschillen over alle uitgevoerde metingen (ook spoorverkeer). Volgens deze metingen is gemiddeld:

   $L_{A,day} = L_{day} + 2\ dB + 3\ dB\ = L_{day} + 5\ dB$ of met een standaarddeviatie van 1.1 dB

   Gemiddeld is de afwijking met de norm 1 dB.



Figuur 48: Grafiek met gemeten verschil tussen $L_{A,day} - L_{day}$, gemiddeld 5.0 dB, standaarddeviatie = 1.1 dB

2. Verband tussen $L_{A,night}$ en L_{night}

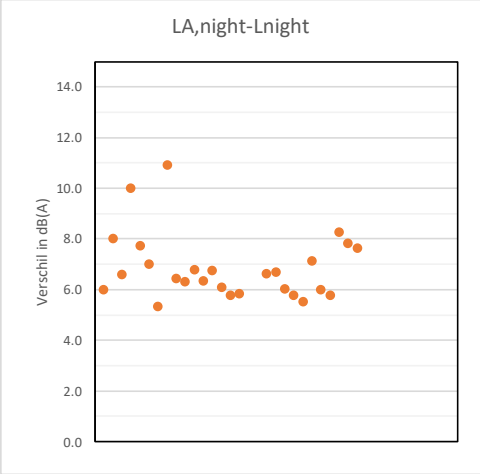
   De norm prNBN S01-400-1 : 2019 geeft hiervoor:

   $$L_{A,night} = L_{night} + 5\ dB + 3\ dB\ = L_{night} + 8\ dB$$

   De norm stelt dat deze waarde geldig is voor wegverkeer en luchtverkeer, maar geeft aan dat dit als eerste benadering ook voor spoorverkeer kan gebruikt worden. De grafiek op volgende bladzijde toont de verschillen over alle uitgevoerde metingen (ook spoorverkeer). Volgens deze metingen is gemiddeld:

   $L_{A,night} = L_{night} + 3.9\ dB + 3\ dB = L_{night} + 6.9\ dB$ met een standaarddeviatie van 1.7 dB

   Gemiddeld is de afwijking met de norm -1.1 dB.



Figuur 49: Grafiek met gemeten verschil tussen $L_{A,night} - L_{night}$, gemiddeld 6.9 dB, standaarddeviatie = 1.7 dB

3. Verband tussen $L_{A,day}$ en L_{den}

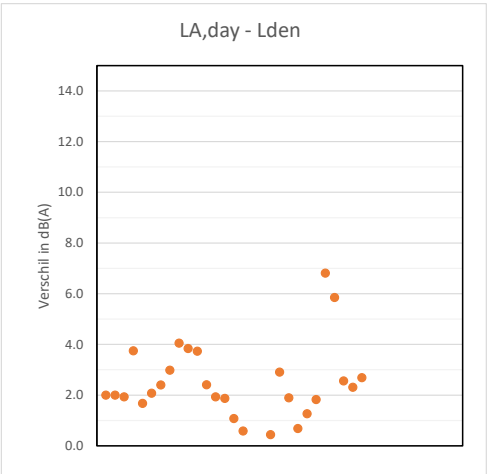
De norm prNBN S01-400-1 : 2019 geeft hiervoor:

$L_{A,day} = L_{den} - 1\ dB + 3\ dB\ = L_{den} + 2\ dB$ voor weg- en luchtvaartverkeer

$L_{A,day} = L_{den} - 5\ dB + 3\ dB\ = L_{den} - 2\ dB$ voor spoorverkeer

De grafiek hieronder toont de verschillen over alle uitgevoerde metingen (ook spoorverkeer). Volgens deze metingen is gemiddeld:

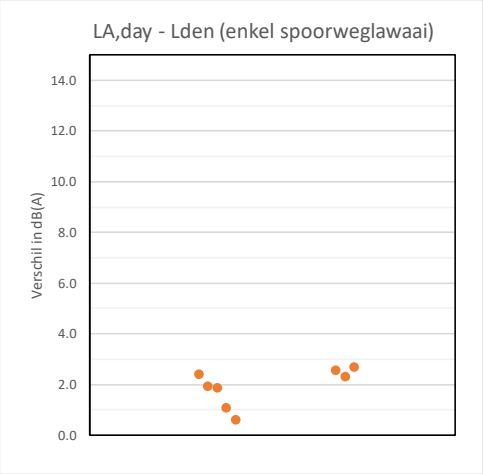
$L_{A,day} = L_{den} - 0.5\ dB + 3\ dB\ = L_{den} + 2.5\ dB$ met een standaarddeviatie van 2.2 dB



Figuur 50: Grafiek met gemeten verschil tussen $L_{A,day} - L_{den}$, gemiddeld 2.5 dB, standaarddeviatie = 2.2 dB

Gemiddeld is de afwijking van de waarde van weg- en luchtvaartlawaai van de norm 0.5 dB.

Wanneer enkel de resultaten genomen worden van de cases waarin spoorwegverkeer aanwezig is, dan geeft dit de volgende grafiek:



Figuur 51: Grafiek met gemeten verschil tussen $L_{A,day}$ – L_{den} enkel voor spoorweglawaai; gemiddeld 1.9 dB, standaarddeviatie = 0.6 dB

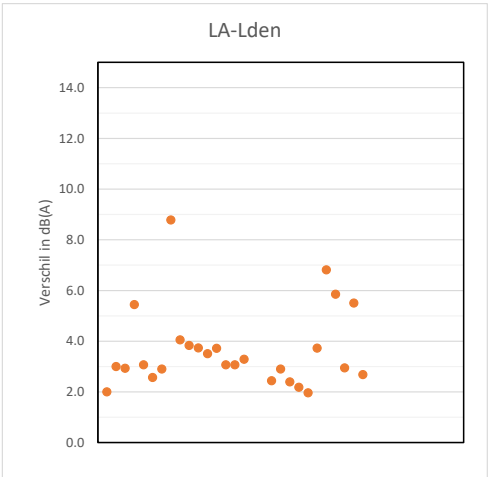
Volgens deze metingen is gemiddeld:

$L_{A,day} = L_{den} - 1.1\ dB + 3\ dB\ = L_{den} + 1.9\ dB$ met een standaarddeviatie van 0.6 dB

Dit wijkt sterk af van de relatie $L_{A,day} = L_{den} - 5\ dB + 3\ dB\ = L_{den} - 2\ dB$ die de norm prNBN S01-400-1 : 2019 geeft voor spoorverkeer. Het aantal metingen is echter te beperkt om conclusies te maken. Daarenboven bevat het merendeel van deze metingen ook wegverkeerslawaai.

In de huidige norm worden er geen verbanden gesteld tussen L_A en L_{den} of andere grootheden. Ter informatie wordt hier het verband getoond tussen L_A en L_{den} zoals berekend uit de verschillende metingen (zie volgende figuur):

$L_A = L_{den} + 3.6\ dB\ = L_{den} + 0.6 + 3\ dB$



Figuur 52: Grafiek met gemeten verschil tussen L_A – L_{den}, gemiddeld 3.6 dB, standaarddeviatie = 2.6 dB

5.5.5 Conclusies

De $L_{Aref(day)\ (night)}$-waarden die in de norm gehanteerd worden en de afgeleide $L_{A(day)\ (night)}$-waarden kunnen in principe enkel vrij nauwkeurig bepaald worden aan de hand van een meting. Maar ze zijn echter niet reproduceerbaar vermits heel wat aannames niet vastgelegd zijn in de norm (resultaat wordt o.a. bepaald door de duur van de metingen, de keuze van in dit geval het 90 percentiel niveau van de uitgevoerde metingen, …). Akoestische rekenmodellen zijn ook niet geschikt omdat ze deze grootheid niet berekenen. Uit voorgaande analyses en uit de bijlagen van de ontwerpnorm blijkt dat er wel een aantal overeenkomsten bestaan tussen deze $L_{A(day)\ (night)}$-waarden en de grootheden die in akoestische modellen worden berekend, maar dat er in praktijk toch nog redelijke afwijkingen kunnen voorkomen, zoals voorgaande analyses aantonen. Vermits enkele dB verhoging van nodige gevelisolatie al vlug kan leiden tot aanzienlijke aangepaste maatregelen en verhoging van kostprijs, is het aangewezen om het buitenlawaai toch zo nauwkeurig als mogelijk te bepalen aan de verschillende geveldelen.
Omdat rekenmodellen toelaten om de gevelbelasting te bepalen aan de verschillende geveldelen van gebouwen (zie vorige paragraaf) lijkt het dan ook logischer om eisen op te leggen aan grootheden die met deze rekenmodellen kunnen worden berekend. In die zin zijn eisen opgelegd aan grootheden die gebruik maken van L_{den} of L_{day} en L_{night}, te verkiezen boven grootheden op basis van gemeten $L_{A(day)\ (night)}$-waarden.

5.6 PIEKGELUIDNIVEAUS VAN DE CASES

Zowel de huidige Belgische norm NBN S01-400-1: 2008 als het ontwerp van nieuwe norm prNBN S01-400-1: 2019 en het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift gebruiken L_{Amax}-waarden om een extra eis op te leggen aan de geluidsisolatie van de gevels van de nachtruimten (slaapkamer).

De voorwaarden om deze waarden te gebruiken zijn verschillend:

- In de huidige norm NBN S01-400-1: 2008 is de L_{Amax}-waarde enkel te gebruiken indien het treinlawaai of vliegtuiglawaai betreft en deze waarde hoger ligt dan 70 dB(A).
- In het ontwerp van nieuwe Belgische norm prNBN S01-400-1: 2019 is de L_{Amax}-waarde eveneens enkel te gebruiken indien deze waarde hoger ligt dan 70 dB(A). In de definitie van L_{Amax} wordt gesteld dat deze afgeleid wordt uit de maximale waarde van alle $L_{Aeq,1s}$-waarden die gemeten worden gedurende de passage, van niet alleen vliegtuigen en treinen, maar wel de passage van een voertuig waarmee een tram, trein, bus, vliegtuig, … bedoeld wordt. Voor al deze situaties is er een minimale gevelisolatie te voorzien van 34 dB. Bijkomend kan er nog een extra eis opgelegd worden voor treinen en vliegtuigen in functie van de L_{Amax}-waarde (bijlage E van de norm). Merk op dat heel wat vragen kunnen gesteld worden rond de juridische waarde ervan in de toepassing van de NBN norm: het gaat om een informatieve bijlage E waarin extra criteria als 'richtlijn' zijn opgenomen.
- In het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is de L_{Amax}-waarde ook enkel te gebruiken indien het treinlawaai of vliegtuiglawaai betreft. Hier wordt geen voorwaarde gesteld aan vanaf welke (drempel)waarde piekgeluiden in beschouwing moeten genomen worden; het is een algemeen toepasbaar criterium. Voor vliegtuiglawaai wordt nog gesteld dat deze waarde enkel te nemen is voor vliegbewegingen die representatief zijn voor vliegbewegingen die jaarlijks minstens 5% van de tijd voorkomen

De L_{Amax}-waarden die gebruikt worden zijn ook niet gelijk in elk van deze normen of voorschrift:

- De huidige norm NBN S01-400-1 (2008) gebruikt hiervoor de 3de hoogste maximale waarde $L_{Amax,3x}$ die minstens 1 dag per week voorkomt. De meetperiode ligt tussen 22u en 6u. Deze waarde wordt bepaald door een meting op 2m van de gevel en bevat aldus de gevelreflecties.
- Het ontwerp van nieuwe Belgische norm prNBN S01-400-1 (2019) gebruikt eveneens de 3de hoogste maximale waarde $L_{Amax,3x}$ die minstens 1 dag per week voorkomt. De meetperiode ligt echter tussen 23u en 7u. Ook deze waarde wordt bepaald door een meting op 2m van de gevel en bevat aldus de gevelreflecties.
- Het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift gebruikt de 5de hoogste maximale waarde $L_{Amax,5x}$, voor zowel spoorlawaai als voor vliegtuiglawaai. Voor vliegtuiglawaai wordt daarenboven ook nog de hoogste maximale waarde gebruikt $L_{Amax,1x}$. De meetperiode ligt ook hier tussen 23u en 7u. Deze waarde wordt echter bepaald zonder gevelreflecties.

In bijlage worden de verschillende bovenstaande gemeten maximale waarden voor elke case en voor de metingen in andere projecten gegeven (zie ook §5.2.2.4). Dit werd ook bepaald voor sites waar geen treinlawaai voorkomt, om aan te geven in welke mate andere voertuigen ook aanleiding kunnen geven tot belangrijke piekwaarden.
De volgende tabel toont de maximale waarde van enkel de cases waar ook treinlawaai voorkomt. Het pieklawaai wordt telkens op 2 manieren gegeven:

- De maximale waarde van alle $L_{Amax,3x,22u-06u}$, $L_{Amax,3x,23u-07u}$ en $L_{Amax,5x,23u-07u}$ van elke dag van de meetperiode.
- De gemiddelde waarde van alle $L_{Amax,3x,22u-06u}$, $L_{Amax,3x,23u-07u}$ en $L_{Amax,5x,23u-07u}$ van elke dag van de meetperiode.

Case		Locatie	Bron	Metingen gevelbelastingzonder gevelreflectie				Metingen gevelbelasting inclusief gevelreflecties			Gevelreflectie inbegrepen (j/n)	Metingen met gemiddelde waarde van alle dagen			Metingen aan/op gevel op basis van gemiddelde waarde			Metingen met maximale waarde van alle dagen			Metingen aan/op gevel op basis van maximale waarde			Verschil maximale waarde en gemiddelde waarde		
				Lday	Levening	Lnight	Lden	LA	LA,day	LA,night		LA,max,3x 22u-6u	LA,max,3x 23u-7u	LA,max,5x 23u-7u	inclusief reflecties LA,max,3x 22u-6u	inclusief reflecties LA,max,3x 23u-7u	exclusief reflecties LA,max,5x 23u-7u	LA,max,3x 22u-6u	LA,max,3x 23u-7u	LA,max,5x 23u-7u	inclusief reflecties LA,max,3x 22u-6u	inclusief reflecties LA,max,3x 23u-7u	exclusief reflecties LA,max,5x 23u-7u	LA,max,3x 22u-6u	LA,max,3x 23u-7u	LA,max,5x 23u-7u
CASES																										
Case 5	MP1	Burggravelaan Gent	weg + spoor	66	64	61	69	72	71	67	j	86.6	84.3	82.2	87	84	79	86.9	88.3	84.5	97	88	82	10.3	4.0	2.3
	MP2	Burggravelaan Gent	weg + spoor	67	65	61	69	73	71	68	j	86.3	84.9	83.2	86	85	80	90.3	87.9	86.0	90	88	83	4.0	3.0	2.8
	MP3	Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	75	74	70	j															
Case 6	MP1	Dampoort Gent	weg + spoor	66	65	63	70	73	71	69	j															
	MP2	Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	69	66	64	n	78.0	77.4	76.4	81	80	76	81.5	78.3	77.0	85	81	77	3.5	0.9	0.6
METINGEN TRACTEBEL																										
Meting 6	MP1	Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	59	58	56	n	76.4	72.5	-	79	76	-	76.4	74.9	-	79	78	-	0.0	2.4	-
Meting 7	MP1	Boechout	spoor	65	64	61	68	74	71	69	n	84.4	83.9	82.8	87	87	83	86.7	86.7	86.3	90	90	86	2.3	2.8	3.5
Meting 8	MP1	Lovenjoel	spoor	56	52	48	58	61	61	56	j	74.1	74.1	71.9	74	74	69	75.5	75.5	72.6	76	76	70	1.4	1.4	0.7

Tabel 23: Gemeten waarden van L_{Armax} en andere grootheden

Volgens de beide normen moet de maximale waarde genomen worden: $L_{Amax,3x}$ die minstens 1 dag per week voorkomt.
In het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is dit nog niet eenduidig gedefinieerd. Er staat dat $L_{Amax,5x}$ is te bepalen voor nachten die representatief zijn voor de nachtelijke belasting door spoorverkeer.

Iets dat slechts 1x per week voorkomt kan niet als representatief beschouwd te worden. Het is dan ook logisch dat er uitgegaan wordt van een gemiddelde waarde. Ook zou, hoe langer de meting uitgevoerd wordt, des te hoger de maximale waarde over de ganse meetperiode worden. Dit kan niet de bedoeling zijn.
Door de hoogste waarde te nemen, zoals de NBN normen zeggen, kunnen piekgeluiden soms wel heel hoog zijn zoals meetpunt 1 in case 5 aangeeft. De maximale waarde van $L_{Amax,3x,22u-06u}$ bedraagt hier 97 dB, terwijl de gemiddelde waarde 87 dB geeft. Gelukkig maakt de waarde van dit geluidsdrukniveau niet uit voor de bepaling van de gevelisolatie in de huidige NBN norm. Bij toepassing van de richtlijnen uit de informatieve bijlage E van prNBN S01-400-1: 2019 is dit echter wel het geval (er blijft dus nog de vraag in hoeverre juridisch hard te maken aan gezien het om richtlijnen gaat).

6 AKOESTISCHE GEVELISOLATIE

6.1 TOETSINGSCRITERIA

In hoofdstuk 4 werden de verschillende toetsingscriteria gegeven voor gevelisolatie. Het betreffen de criteria die in de huidige Belgische norm NBN S01-400-1: 2008 zijn opgelegd, de criteria van het ontwerp van nieuwe Belgische norm prNBN S01-400-1: 2019 en de criteria van het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift. Elk van deze criteria heeft het gewogen gestandaardiseerd geluidsdrukniveauverschil met correctiefactor voor verkeerslawaai, namelijk D_{Atr}, als grootheid. De gevraagde isolatiepeilen zijn echter verschillend.

In hetgeen volgt veronderstellen we dat de D_{Atr}-waarde dient bepaald te worden van een (fictieve) gevel aan de straatzijde op de locatie waar de metingen werden uitgevoerd. Voor deze gevel is $L_A = L_{Aref}$, idem voor de dag- en nachtwaarde (inclusief gevelreflecties) (zie hoger). In dezelfde meetpunten beschouwen we de metingen van L_{day}, L_{night} en L_{den}, voor het invallend geluid (zonder gevelreflectie).

In elk van deze normen of voorschrift wordt een onderscheid gemaakt tussen dagruimten en nachtruimten:

- In de NBN normen stelt men voor dagruimten zowel de woonkamer, de eetkamer, de keuken, de studeerruimte als de slaapkamer. Als nachtruimte is dit enkel de slaapkamer. Aan de slaapkamer worden dus eisen opgelegd voor een gebruik zowel als dagruimte als voor nachtruimte. Beide worden getoetst.
- In het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift wordt eveneens een onderscheid gemaakt tussen dag- en nachtruimten. Er wordt vanuit gegaan dat hiermee dezelfde ruimtes worden bedoeld als in de norm (zie definitie onder hoofdstuk 3). In dit voorstel zijn de eisen voor de gevelisolatie van de dag- en nachtruimte apart geformuleerd. Bij de verdere berekeningen word een nachtruimte (slaapkamer) enkel getoetst aan de eisen van de nachtruimte.

Prestatieniveaus:

- In de huidige Belgische norm NBN S01-400-1: 2008 wordt een minimaal comfortniveau beschouwd en een verhoogd comfortniveau, elk met eigen eisen. Voor deze norm zijn de eisen van verhoogd comfort 4 dB strenger dan deze van normaal comfort, ook de minimale eis. Enkel bij pieklawaai is de minimale en verhoogde eis gelijk.
- In het voorstel van ontwerp van Belgische norm prNBN S01-400-1: 2019 stelt men 3 prestatieklassen (A, B en C) maar voor gevelisolatie zijn de eisen van klasse A en B gelijk. Klasse C is de minst strenge. Hier zijn klasse A en B elk 4 dB strenger dan klasse C, voor de daglokalen en 3 dB voor de nachtlokalen. Bij pieklawaai zijn de eisen gelijk voor alle klassen, tenzij er aangepaste bescherming gewenst is bij nachtelijk lucht- of spoorverkeerslawaai, waarvoor als richtlijn extra criteria worden voorgesteld in een informatieve bijlage E. In dat geval zijn de eisen van klasse A en B telkens 4 dB strenger dan deze van klasse C.
- In het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is er geen onderscheid gemaakt in prestatieniveau.

6.2 AANVULLEND TOETSINGSCRITERIUM

In dit deel 2 wordt ook onderzocht of het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift niet kan vereenvoudigd worden. Een eenvoudiger benadering is geen onderscheid maken tussen dagperiode en nachtperiode en ook geen onderscheid tussen dag- en nachtruimten. Hierbij wordt gerefereerd naar §4.7 (Het ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift en internationale criteria) waarbij zoals bijvoorbeeld in Denemarken (norm DS 490: 2018) er geen onderscheid gemaakt wordt tussen de verschillende ruimtes en uitgegaan wordt van het invallend geluid zonder gevelreflecties. Hier wordt een binnenniveau $L_{den} \leq 33$ dB gevraagd. Om dit te bekomen moet $D_{Atr} \geq L_{den} + 3 - 33$ dB.

Dit laatste lijkt een haalbaar criterium dat de moeite loont om verder getoetst te worden. Dit wordt verder gebruikt als aanvullend toetsingscriterium als mogelijke vereenvoudiging van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift.

$$D_{Atr} \geq L_{den} + 3 \text{ dB} - 33 \text{ dB}$$

Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen dag- en nachtruimten. Theoretisch beschouwd blijkt meestal dat $L_{den} \approx L_{night} + (7 \text{ à } +14 \text{ dB})$; de cases geven eerder $L_{den} \approx L_{night} + (7 \text{ à } +11 \text{ dB})$ (zie §5.5.2). Met bovenstaande voorwaarde zal dan ook in de meeste gevallen het geluidsniveau tijdens de nacht (L_{night}) gemiddeld 7 tot 11 à 14 dB lager liggen dan 33 dB, namelijk meestal onder 26 tot zelfs onder 22 à 19 dB.

Als bijkomende voorwaarde is er nog een minimale eis aan D_{Atr} op te leggen. Uitgaande van het voorstel van nieuwe NBN norm waar hiervoor 28 dB genomen wordt voor normaal comfort en 32 dB voor verhoogd comfort wordt hier $D_{Atr} \geq 30$ dB voorgesteld als minimale geluidsisolatie.

Als bijkomende eis voor D_{Atr} van te beschermen nachtruimten tegen nachtelijke piekgeluiden wordt gesteld dat:

$$D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u} + 3 - 42 \text{ dB}$$

met $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ het 5x overschrijdingsniveau (5e piek) tijdens de nachtperiode (23-07u). In kader van de toepassing op de cases voor spoorverkeersgeluid werd de grootheid $L_{Amax,5x}$ geëvalueerd als een 'gemiddelde' waarde over de beschouwde meetperiode (ca. 1week). Het bijkomend criterium is uiteraard enkel van toepassing op nachtruimten.

6.3 GELUIDSISOLATIES VAN DAGRUIMTEN

Voor dagruimten worden er geen eisen opgelegd die afgeleid worden van piekgeluiden. De tabel hierna toont de verschillende waarden van de geluidsniveaus buiten en de D_{Atr}-waarden van de gevels die geëist worden door de verschillende toetsingscriteria (zie hierboven). Het betreffen de eisen om normaal comfort of klasse C te realiseren van de beide NBN normen, de eisen van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift en de eisen van het aanvullend criterium.

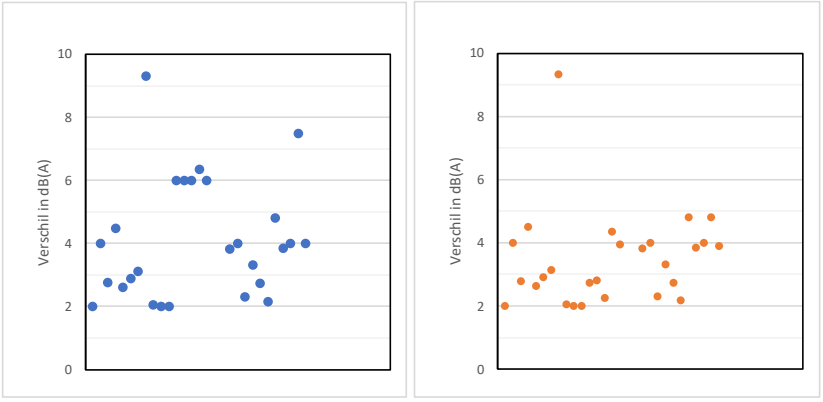
Case	Locatie	Bron	Metingen gevelbelastingzonder gevelreflectie				Metingen gevelbelasting inclusief gevelreflecties			DAGRUIMTEN									
										NBN S01-400-1 normaal comfort	prNBN S01-400-1 Klasse C			Ontwerp Gewestelijk isolatievoorschrift		Aanvullend criterium Lden +3dB - 33dB	Verschil hoogste en laagste waarde	Verschil hoogste en laagste waarde zonder criterium spoonweglawaai
			Lday	Levening	Lnight	Lden	LA	LA,day	LA,night	met LA	met LA,day	met Lday (weg/spoor)	met Lden (weg)	met Lden (spoor)	met Lday (weg)	met Lday (spoor)	met Lden		
CASES																			
Case 1	MP1 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	71	69	64	73	75	75	70	41	41	41	41	---	41	---	43	2	2
	MP2 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	54	51	51	58	60	59	59	26	28	28	28	---	26	---	30	4	4
Case 2	MP1 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	64	63	58	66	69	68	65	35	34	34	34	---	34	---	36	3	3
	MP2 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	60	62	53	63	69	67	63	35	33	30	31	---	30	---	33	5	5
	MP3 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	62	61	55	65	68	66	63	34	32	32	33	---	32	---	35	3	3
Case 3	MP1 E40 - Gent	weg	76	74	71	79	81	81	78	47	47	46	47	---	46	---	49	3	3
	MP2 E40 - Gent	weg	69	67	64	72	75	74	70	41	40	39	40	---	39	---	42	3	3
	MP3 E40 - Gent	weg	57	56	54	62	70	65	65	36	31	28	30	---	27	---	32	9	9
Case 4	MP1 Voskenslaan Gent	weg + tram	62	60	56	64	68	68	62	34	34	32	32	---	32	---	34	2	2
	MP2 Voskenslaan Gent	weg + tram	62	59	54	63	67	67	61	33	33	32	31	---	32	---	33	2	2
	MP3 Voskenslaan Gent	weg + tram	63	60	56	64	68	68	62	34	34	33	32	---	33	---	34	2	2
Case 5	MP1 Burggravelaan Gent	weg + spoor	66	64	61	69	72	71	67	38	37	36	37	33	36	34	39	6	3
	MP2 Burggravelaan Gent	weg + spoor	67	65	61	69	73	71	68	39	37	37	37	33	37	35	39	6	3
	MP3 Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	75	74	70	41	40	40	40	36	40	38	42	6	2
Case 6	MP1 Dampoort Gent	weg + spoor	66	65	63	70	73	71	69	39	37	36	38	34	36	34	40	6	4
	MP2 Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	69	66	64	35	32	31	33	29	31	29	35	6	4
Met 1	MP1 Boomsesteenweg Aartselaar	weg	70	68	66	74	76	74	73	42	40	40	42	---	40	---	44	4	4
Met 2	MP1 Oostmalsesteenweg Emblem	weg	54	52	48	56	59	59	54	26	28	28	28	---	26	---	30	4	4
	MP2 Oostmalsesteenweg Emblem	weg	62	60	56	64	67	66	62	33	32	32	32	---	32	---	34	2	2
Met 3	MP1 Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	68	65	62	70	73	71	67	39	37	38	38	---	38	---	40	3	3
	MP2 Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	65	63	59	68	70	69	65	36	35	35	36	---	35	---	38	3	3
Met 4	MP1 Britselei Antwerpen	weg + tram	67	65	59	69	72	70	66	38	36	37	37	---	37	---	39	2	2
Met 5	MP1 Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	71	66	60	70	77	77	65	43	43	41	38	---	41	---	40	5	5
	MP2 Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	68	63	57	68	74	74	63	40	40	38	36	---	38	---	38	4	4
Met 6	MP1 Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	59	58	56	26	28	28	28	28	26	26	30	4	4
Met 7	MP1 Boechout	spoor	65	64	61	68	74	71	69	40	37	35	36	32	35	33	38	8	5
Met 8	MP1 Lovenjoel	spoor	56	52	48	58	61	61	56	27	28	28	28	28	26	26	30	4	4

Tabel 24: Berekening D_{Atr}-waarden voor dagruimten

In deze tabel worden de hoogste (rood) tot laagste (groen) waarden ingekleurd voor elke gevel (meting) apart. Ook wordt in de voorlaatste kolom het verschil gegeven tussen de hoogste en laagste waarde gegeven van elke meting, terwijl in de laatste kolom dit ook gebeurt maar dan zonder rekening te houden met de criteria voor spoorlawaai.

Uit deze tabel kunnen volgende aspecten afgeleid worden:

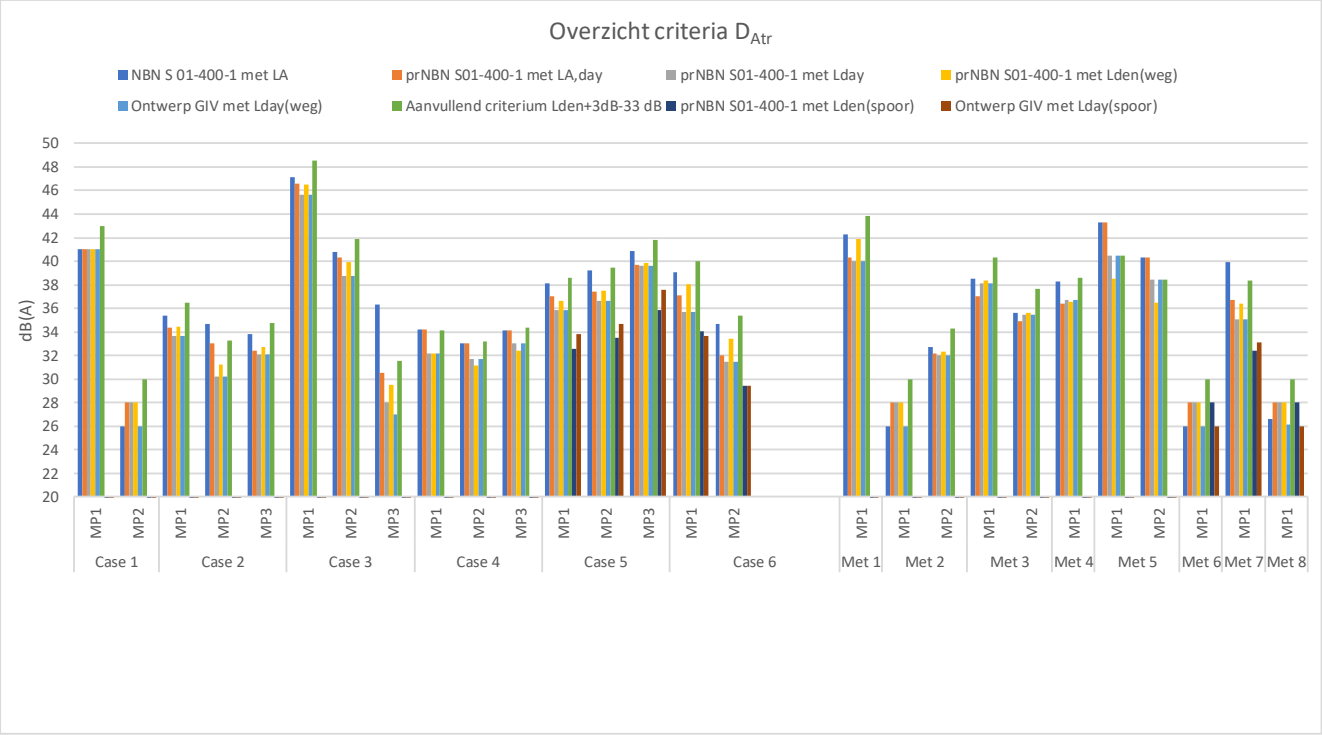
- De verschillen tussen de hoogste en laagste D_{Atr}-waarden van elke meting apart situeren zich tussen 2 en 9 dB (zie ook onderstaande grafiek rechts) waarbij 9 dB een exceptionele waarde is. De andere waarden situeren zich tussen 2 en 6 dB. Wanneer er geen rekening gehouden wordt met de D_{Atr}-waarden van de eis van treinlawaai (onderstaande grafiek rechts) dan wordt eenzelfde grafiek bekomen zonder de waarden tussen 6 en 8 dB. Zonder de exceptionele waarde van 9 dB liggen alle verschillen nu tussen 2 en 5 dB.



Figuur 53: Grafiek met verschil tussen de hoogste en laagste D_{Atr} waarden van elke meting (dagruimte) inclusief de D_{Atr} waarden van treinlawaai (links) en exclusief de D_{Atr} waarden voor treinverkeer (rechts)

- Bij nagenoeg alle metingen geeft het aanvullend criterium de hoogste waarden, maar deze waarden verschillen zeer weinig met deze van de huidige NBN norm. Gemiddeld zijn de eisen meestal 1 dB strenger.
- De criteria van het ontwerp van nieuwe norm zijn gemiddeld 0 tot 4 dB minder streng dan de strengste eis behalve bij de eis van spoorlawaai.
- Er is slechts weinig verschil tussen de isolatie-eisen berekend via L_{Aday}, L_{day} en L_{den} (weglawaai) van het ontwerp van nieuwe NBN norm. De verschillen variëren tussen 0 en 3 dB. Meestal geeft de meting via L_{Aday} een iets hogere waarde.
- De eisen voor spoorweglawaai zijn steeds de laagste in het ontwerp van nieuwe NBN norm. Zij liggen gemiddeld iets lager dan de eisen van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift voor spoorlawaai maar duidelijk lager dan alle andere eisen.
- Het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is steeds minder streng dan de huidige NBN norm en ook gunstiger dan de meeste eisen van het ontwerp van nieuwe NBN norm. Het is trouwens gelijk aan de eisen van deze nieuwe NBN norm indien deze rekent met L_{day}, met uitzondering wanneer de minimale waarde van toepassing is. De eisen van treinverkeer zijn steeds lager.

Onderstaande grafiek geeft grafisch het verschil weer tussen de verschillende D_{Atr}-waarden van elke meting in functie van het criterium.



Figuur 54: Grafiek met D_{Atr} waarden voor dagruimten van elke meting in functie van het criterium

6.4 GELUIDSISOLATIES VAN NACHTRUIMTEN ZONDER DE PIEKLAWAAI-EIS

Voor nachtruimten worden er ook eisen opgelegd aan piekgeluiden bij trein- en vliegtuiglawaai. Deze worden in een volgende paragraaf behandeld. In deze paragraaf worden de eisen van nachtruimten geanalyseerd zonder rekening te houden met deze piekgeluiden. Voor de meeste metingen zijn ze trouwens niet van toepassing wegens wegverkeerslawaai.
Zonder pieklawaai zijn de eisen van de huidige NBN norm voor nachtruimten gelijk aan deze van dagruimten. Voor het ontwerp van nieuwe NBN norm zijn beiden van toepassing. Hier wordt de hoogste waarde genomen. Voor het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is de eis van nachtruimten verschillend. Tot slot geldt voor het aanvullend criterium met L_{den} ook dezelfde eis als voor dagruimten.
De tabel hieronder toont de verschillende waarden van de geluidsniveaus buiten en de D_{Atr}-waarden van de gevels die geëist worden door de verschillende toetsingscriteria (zie hierboven). Het betreffen de eisen om normaal comfort of klasse C te realiseren.

Case	Locatie	Bron	Metingen gevelbelastingzonder gevelreflectie				Metingen gevelbelasting inclusief gevelreflecties			NACHTRUIMTEN zonder pieklawaai								
										NBN S01-400-1 normaal comfort	prNBN S01-400-1 Klasse C			Ontwerp Gewestelijk isolatievoorschrift		Aanvullend criterium Lden +3dB -33dB	Verschil hoogste en laagste waarde	Verschil hoogste en laagste waarde zonder criterium spoorweglawaai
			Lday	Levening	Lnight	Lden	LA	LA,day	LA,night	met LA	met LA,night/LA,day	met Lnight/Lday (weg/spoor)	met Lnight en Lden (weg) *)	met Lnight en Lden (spoor) *)	met Lnight (weg)	met Lnight (spoor)	met Lden		
CASES																			
Case 1	MP1 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	71	69	64	73	75	75	70	41	43	45	45	---	39	---	43	6	6
	MP2 Boterlaarbaan Antwerpen	weg	54	51	51	58	60	59	59	26	32	32	32	---	26	---	30	6	6
Case 2	MP1 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	64	63	58	66	69	68	65	35	38	39	39	---	33	---	36	6	6
	MP2 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	60	62	53	63	69	67	63	35	36	34	34	---	28	---	33	8	8
	MP3 Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	62	61	55	65	68	66	63	34	36	36	36	---	30	---	35	6	6
Case 3	MP1 E40 - Gent	weg	76	74	71	79	81	81	78	47	51	52	52	---	46	---	49	6	6
	MP2 E40 - Gent	weg	69	67	64	72	75	74	70	41	43	45	45	---	39	---	42	6	6
	MP3 E40 - Gent	weg	57	56	54	62	70	65	65	36	38	35	35	---	29	---	32	9	9
Case 4	MP1 Voskenslaan Gent	weg + tram	62	60	56	64	68	68	62	34	35	37	37	---	31	---	34	6	6
	MP2 Voskenslaan Gent	weg + tram	62	59	54	63	67	67	61	33	34	35	35	---	29	---	33	6	6
	MP3 Voskenslaan Gent	weg + tram	63	60	56	64	68	68	62	34	35	37	37	---	31	---	34	6	6
Case 5	MP1 Burggravelaan Gent	weg + spoor	66	64	61	69	72	71	67	38	40	42	42	42	36	34	39	8	6
	MP2 Burggravelaan Gent	weg + spoor	67	65	61	69	73	71	68	39	41	42	42	42	36	34	39	8	6
	MP3 Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	75	74	70	41	43	45	45	45	39	37	42	8	6
Case 6	MP1 Dampoort Gent	weg + spoor	66	65	63	70	73	71	69	39	42	44	44	44	38	36	40	8	6
	MP2 Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	69	66	64	35	37	39	39	39	33	31	35	8	6
METINGEN TRACTEBEL																			
Meting 1	MP1 Boomsesteenweg Aartselaar	weg	70	68	66	74	76	74	73	42	46	47	47	---	41	---	44	6	6
Meting 2	MP1 Oostmalsesteenweg Emblem	weg	54	52	48	56	59	59	54	26	28	29	29	---	26	---	30	4	4
	MP2 Oostmalsesteenweg Emblem	weg	62	60	56	64	67	66	62	33	35	37	37	---	31	---	34	6	6
Meting 3	MP1 Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	68	65	62	70	73	71	67	39	40	43	43	---	37	---	40	6	6
	MP2 Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	65	63	59	68	70	69	65	36	38	40	40	---	34	---	38	6	6
Meting 4	MP1 Britselei Antwerpen	weg + tram	67	65	59	69	72	70	66	38	39	40	40	---	34	---	39	6	6
Meting 5	MP1 Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	71	66	60	70	77	77	65	43	43	41	41	---	35	---	40	9	9
	MP2 Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	68	63	57	68	74	74	63	40	40	38	38	---	32	---	38	8	8
Meting 6	MP1 Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	59	58	56	26	29	29	29	29	26	26	30	4	4
Meting 7	MP1 Boechout	spoor	65	64	61	68	74	71	69	40	42	42	42	42	36	34	38	8	6
Meting 8	MP1 Lovenjoel	spoor	56	52	48	58	61	61	56	27	29	29	29	29	26	26	30	4	4

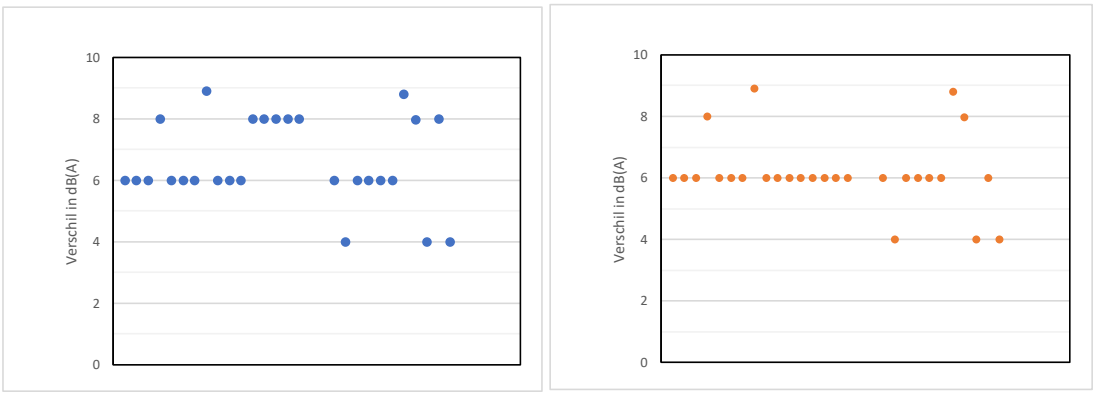
*) de norm prNBN S01-400-1:2019 geeft wel een verband tussen LAday en Lden maar niet tussen LAnight en Lden. Daarom is de eis gebaseerd op het maximum van DAtr ≥ 28 dB; DAtr ≥ Lden -1dB+3dB-34dB (weg) of Lden -5dB+3dB-34dB (spoor) (uit LAday-34 dB) en DAtr ≥ Lnight+5dB +3 dB -27 dB (uit LAnight-27dB). De eis voor de nacht is bepalend.

Tabel 25: Berekening D_{Atr}-waarden voor nachtruimten (zonder pieklawaai-eisen)

In deze tabel worden de hoogste (rood) tot laagste (groen) waarden ingekleurd voor elke gevel (meting) apart. Ook wordt in de laatste kolom het verschil tussen de hoogste en laagste waarde gegeven van elke meting.

Uit deze tabel kunnen volgende aspecten afgeleid worden:

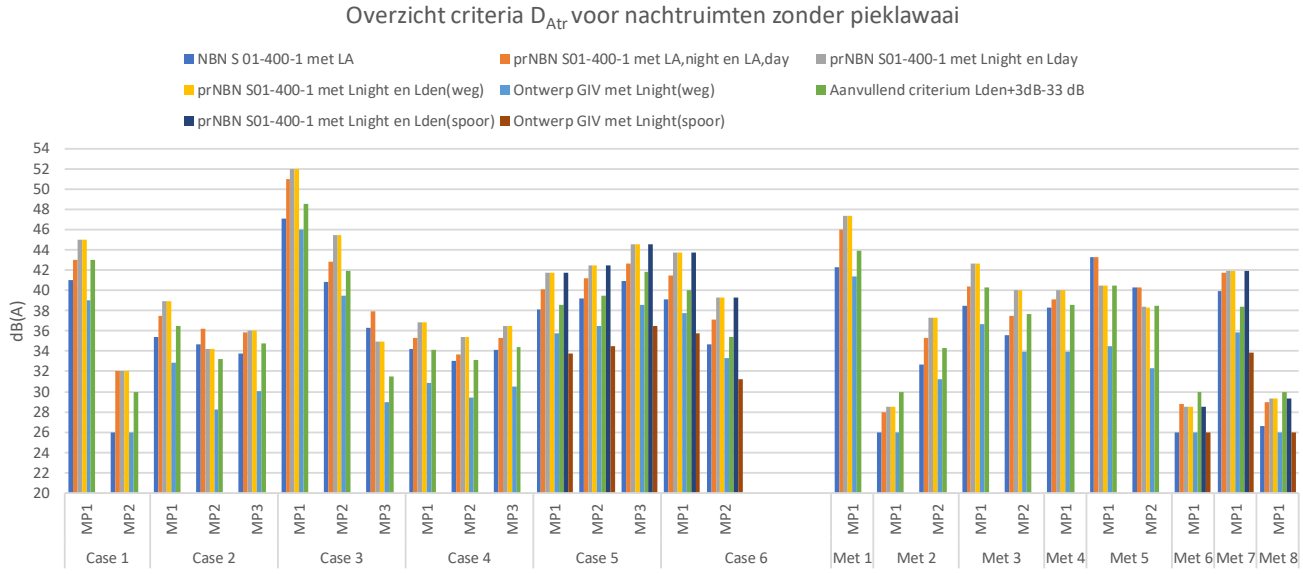
- De verschillen tussen de hoogste en laagste D_{Atr}-waarden van elke meting apart situeren zich tussen 4 en 9 dB wat zeer veel is (zie ook volgende grafiek).



Figuur 55: Grafiek met verschil tussen de hoogste en laagste D_{Atr} waarden van elke meting (nacht) inclusief de D_{Atr} waarden van treinlawaai (links) en exclusief de D_{Atr} waarden voor treinverkeer (rechts)

- De hoogste geluidsisolatie-eisen worden steeds gevraagd in het ontwerp van nieuwe NBN norm.
- Wanneer bij deze nieuwe NBN norm de eisen berekend worden op basis van $L_{A,night}$ en $L_{A,day}$ dan is zo goed als altijd de nachtwaarde bepalend. Op basis van L_{night} en L_{day} is dit steeds het geval en is de eis voor L_{night} duidelijk strenger. Ook op basis van L_{night} en L_{den} (voor dagruimte) is L_{night} steeds bepalend.
- Sommige eisen van de nieuwe NBN norm zullen moeilijk te realiseren zijn (eisen boven ca. 42 dB).
- De eisen van de huidige NBN norm liggen duidelijk lager dan deze van de nieuwe NBN norm.
- De eisen van het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift liggen steeds het laagst, zeker voor treinlawaai. Deze eisen liggen meestal ca. 2 à 4 dB lager dan de huidige NBN norm.
- Het aanvullend criterium met L_{den} is iets hoger dan dit van de huidige NBN norm, maar lager dan het ontwerp van nieuwe NBN norm.

Onderstaande grafiek geeft grafisch het verschil weer tussen de verschillende D_{Atr}-waarden van elke meting in functie van het criterium.



Figuur 56: Grafiek met D_{Atr} waarden voor nachtruimten (zonder pieklawaai) van elke meting in functie van het criterium

6.5 GELUIDSISOLATIES VAN NACHTRUIMTEN MET PIEKLAWAAI-EIS

6.5.1 Analyse criteria

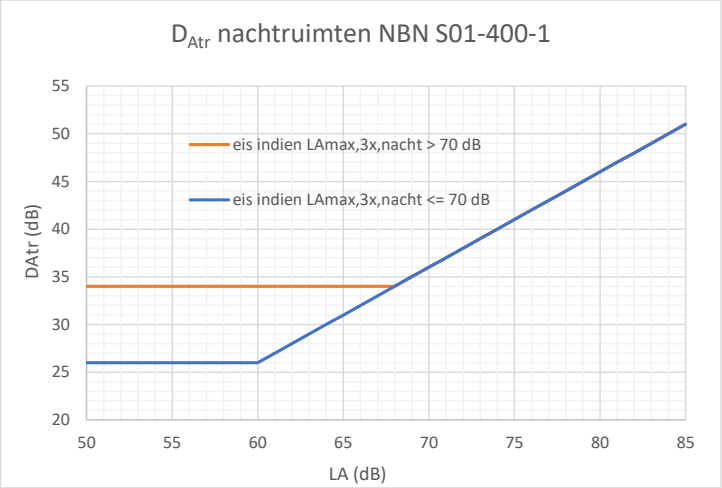
Voor nachtruimten worden er ook bijkomende eisen opgelegd aan D_{Atr} wanneer er piekgeluiden voorkomen afkomstig van trein- en vliegtuiglawaai (zie hoger). Deze bijkomende eisen zijn dan te vergelijken met de eisen van de nachtruimten (zie vorige paragraaf) en de hoogste van beide is dan bepalend voor de waarde die toegekend wordt aan de grootheid D_{Atr}. Deze bijkomende eisen leiden echter niet altijd tot strengere criteria voor D_{Atr} zoals de volgende redeneringen laten zien (voor treinlawaai).

1. <u>Huidige norm NBN S01-400-1 (2008):</u>
   Deze eis stelt:

   indien $L_{Amax,3x}$ > 70 dB → D_{Atr} = 34 dB

   Omdat de normale eis voor nachtruimten ook geldt, wordt de eis voor pieklawaai enkel strenger op voorwaarde dat de waarde van L_A lager ligt dan 68 dB(A). Boven 68 dB(A) wordt immers $D_{Atr} \geq 34$ dB en is de L_A-waarde bepalend voor de geluidsisolatie-eis. De volgende figuur toont dit.

   Wanneer $L_A \geq 68$ dB, dan moeten piekgeluiden eigenlijk niet meer beschouwd worden.



Figuur 57: Criteria D_{Atr} norm NBN S 01-400-1 voor nachtruimten

2. <u>Ontwerpnorm prNBN S01-400-1 (2019) voor spoorlawaai</u>
   Deze eis stelt:

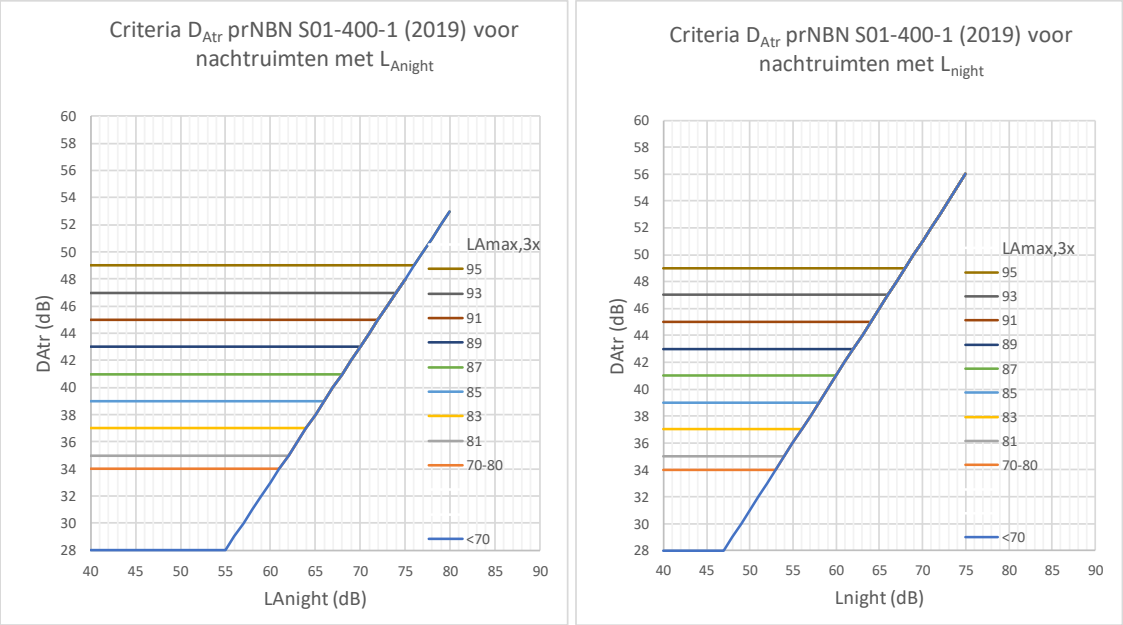
   indien $L_{Amax,3x}$ > 70 dB → $D_{Atr} \geq L_{Amax,3x}$ - 46 dB (met $L_{Amax,3x}$ inclusief gevelreflecties)
   én ≥ 34 dB

   Ook hier geldt eenzelfde minimale eis D_{Atr} = 34 dB, die aangevuld kan worden met de richtlijnen voor extra criteria met betrekking tot de gevelisolatie (informatieve bijlage E van de norm). In dit laatste geval wordt de eis van piekgeluid ook afhankelijk van de waarde van dit piekgeluid wat de eis ingewikkelder maakt. Daarenboven geldt ook de normale eis voor nachtruimten die kan bepaald worden aan de hand van L_{Anight} of L_{night}.

Met beide eisen gecombineerd geldt dan (zie grafieken op volgende bladzijde):

- Wanneer 70 dB < $L_{Amax,3x}$ ≤ 80 dB dan wordt de eis van piekgeluiden enkel strenger op voorwaarde dat de gevelwaarde L_{Anight} ≤ 61 dB én L_{Aday} ≤ 68 dB is of indien L_{night} ≤ 53 dB én L_{day} ≤ 64 dB is. In de andere gevallen is de normale eis bepalend of de eis van de dagperiode.
- Wanneer $L_{Amax,3x}$ > 80 dB dan wordt de eis van piekgeluiden strenger op voorwaarde dat deze piek minstens 19 dB hoger ligt dan L_{Anight} én minstens 12 dB hoger dan L_{Aday} of indien deze piek minstens 27 dB hoger ligt dan L_{night} én minstens 16 dB hoger dan L_{day}. In de andere gevallen is de normale eis bepalend of de eis van de dagperiode.

Beide aspecten worden getoond op de grafieken hieronder. Afhankelijk van het gebruik van L_{Anight} of L_{night} tonen ze de eis in functie van de waarde van het voorkomende piekgeluid en de normale eis voor nachtruimten. De bekomen waarden is dan nog te toetsen aan de eis van dagwaarden.



Figuur 58: Criteria D_{Atr} norm prNBN S0-400-1 voor nachtruimten met L_{Anight} (links) en L_{night} (rechts)

3. <u>Voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift bij spoorlawaai</u>

Deze eis geeft geen onderste grens voor pieklawaai. Zij stelt:

→ D_{Atr} ≥ $L_{Amax,5x}$ +3 - 50 dB (met $L_{Amax,5x}$ exclusief gevelreflecties)
én ≥ 26 dB

Daarenboven geldt ook de normale eis voor nachtruimten die kan bepaald worden aan de hand van L_{night}.

Met beide eisen gecombineerd geldt dan de grafiek van volgende bladzijde.
Wanneer $L_{Amax,5x}$ gelijk of boven 73 dB ligt dan wordt de eis van gevelisolatie enkel strenger op voorwaarde dat de gevelwaarde L_{night} minstens 20 dB lager ligt dan $L_{Amax,5x}$. In alle andere gevallen is de normale eis het meest streng.

Het gevolg hiervan is dat:

- Pieken $L_{Amax,5x}$ van treinlawaai onder 73 dB moeten eigenlijk niet beschouwd worden.
- Pieken die minder of gelijk aan 20 dB hoger zijn dan L_{night} moeten eveneens niet beschouwd worden.

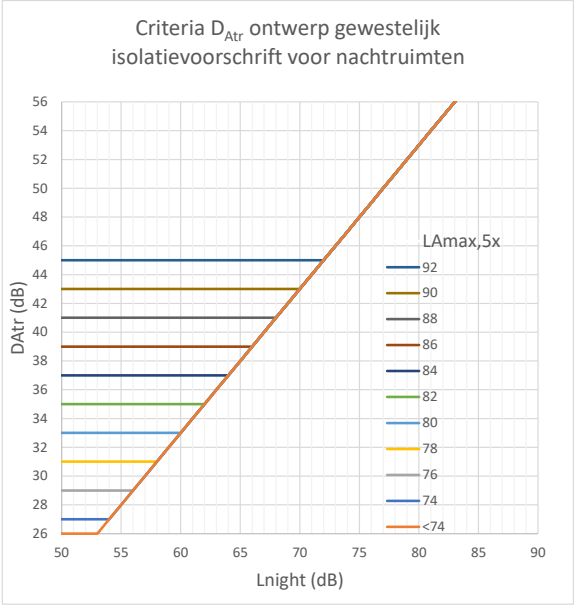
Dus enkel indien:

$$L_{Amax,5x} \geq 73 \text{ dB én } L_{Amax,5x} - L_{night} > 20 \text{ dB},$$

dan is de eis van piekgeluid bepalend.
Indien er ook wegverkeer aanwezig is dan zijn de normale eisen van wegverkeer 2 dB strenger dan voor treinlawaai. In dat geval geldt:

$$L_{Amax,5x} \geq 75 \text{ dB én } L_{Amax,5x} - L_{night} > 22 \text{ dB},$$

opdat de eis van piekgeluid zou bepalend zijn.
Beide situaties dienen niet meer getoetst te worden aan de eisen van dagruimten (niet van toepassing).



Figuur 59: Criteria D_{Atr} ontwerp gewestelijk isolatievoorschrift voor nachtruimten voor spoorlawaai

4. <u>Voorstel van aanvullend criterium</u>

Voor het aanvullend criterium wordt voorgesteld uit te gaan van het feit dat er ontwaakreacties optreden wanneer het geluidsdrukniveau binnen 42 dB overschrijdt ten gevolge van pieklawaai (volgens de Wereld Gezondheidsorganisatie). Er wordt als eis gesteld bij pieklawaai:

→ $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x}$ +3 - 42 dB (met $L_{Amax,5x}$ exclusief gevelreflecties)

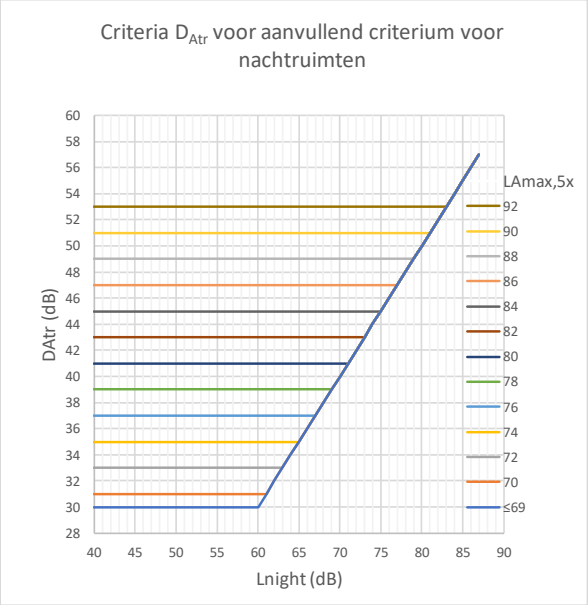
Daarenboven geldt ook de minimale eis en de normale eis voor nachtruimten die kan bepaald worden aan de hand van L_{den}.

Met beide eisen gecombineerd geldt dan de grafiek van volgende bladzijde.

Er geldt algemeen dat indien:

$$L_{Amax,5x} \geq 69 \text{ dB én } L_{Amax,5x} - L_{night} > 9 \text{ dB},$$

dan is de eis van piekgeluid steeds bepalend.



Figuur 60: Criteria D_{Atr} aanvullend criterium voor nachtruimten

6.5.2 Toepassing op de metingen

In deze paragraaf worden de nodige geluidsisolatie-eisen getoond volgens de verschillende NBN normen en ontwerpvoorstel voor nachtruimtes waarbij rekening wordt gehouden met voorkomende piekgeluiden. Deze piekgeluiden zijn enkel te beschouwen voor de gevallen waarbij er pieken voorkomen van treinlawaai. Dit is het geval voor 2 cases en voor 3 uitgevoerde vroegere metingen. De waarden van piekgeluiden van deze situaties zijn terug te vinden in bijlage. Zij worden getoond in de volgende Tabel 26. Hierbij werd rekening gehouden met het al dan niet voorkomen van gevelreflecties bij de meting van de piekgeluiden.

Rekening houdend met het voorkomen van deze piekwaarden werden de waarden van D_{Atr} opnieuw berekend voor de nachtlokalen. De hierop volgende tabel toont de resultaten (Tabel 27). Voor het aanvullend criterium werd als eis bij piekgeluiden genomen: $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,\ 23u\text{-}7u}$ (gemiddelde waarde) + 3 dB – 42 dB.

Case		Locatie	Bron	Metingen gevelbelastingzonder gevelreflectie				Metingen gevelbelasting inclusief gevelreflecties			Gevelreflectie inbegrepen (jn)	Metingen met gemiddelde waarde van alle dagen			Metingen aan/op gevel op basis van gemiddelde waarde			Metingen met maximale waarde van alle dagen			Metingen aan/op gevel op basis van maximale waarde		
												inclusief reflecties			inclusief reflecties		exclusief reflecties				inclusief reflecties		
				Lday	Levening	Lnight	Lden	LA	LA,day	LA,night		LA,max,3x 22u-6u	LA,max,3x 23u-7u	LA,max,5x 23u-7u	LA,max,3x 22u-6u	LA,max,3x 23u-7u	LA,max,5x 23u-7u	LA,max,3x 22u-6u	LA,max,3x 23u-7u	LA,max,5x 23u-7u	LA,max,3x 22u-6u	LA,max,3x 23u-7u	LA,max,5x 23u-7u
CASES																							
Case 1	MP1	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	71	69	64	73	75	75	70	n												
	MP2	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	54	51	51	58	60	59	59	n												
Case 2	MP1	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	64	63	58	66	69	68	65	j												
	MP2	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	60	62	53	63	69	67	63	j												
	MP3	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	62	61	55	65	68	66	63	j												
Case 3	MP1	E40 - Gent	weg	76	74	71	79	81	81	78	n												
	MP2	E40 - Gent	weg	69	67	64	72	75	74	70	n												
	MP3	E40 - Gent	weg	57	56	54	62	70	65	65	n												
Case 4	MP1	Voskenslaan Gent	weg + tram	62	60	56	64	68	68	62	j												
	MP2	Voskenslaan Gent	weg + tram	62	59	54	63	67	67	61	j												
	MP3	Voskenslaan Gent	weg + tram	63	60	56	64	68	68	62	j												
Case 5	MP1	Burggravelaan Gent	weg + spoor	66	64	61	69	72	71	67	j	86.6	84.3	82.2	87	84	79	96.9	88.3	84.5	97	88	82
	MP2	Burggravelaan Gent	weg + spoor	67	65	61	69	73	71	68	j	86.3	84.9	83.2	86	85	80	90.3	87.9	86.0	90	88	83
	MP3	Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	75	74	70	j												
Case 6	MP1	Dampoort Gent	weg + spoor	66	65	63	70	73	71	69	j												
	MP2	Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	69	66	64	n	78.0	77.4	76.4	81	80	76	81.5	78.3	77.0	85	81	77
METINGEN TRACTEBEL																							
Meting 1	MP1	Boomsesteenweg Aartselaar	weg	70	68	66	74	76	74	73	n												
Meting 2	MP1	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	54	52	48	56	59	59	54	j												
	MP2	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	62	60	56	64	67	66	62	j												
Meting 3	MP1	Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	68	65	62	70	73	71	67	j												
	MP2	Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	65	63	59	68	70	69	65	j												
Meting 4	MP1	Britselei Antwerpen	weg + tram	67	65	59	69	72	70	66	j												
Meting 5	MP1	Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	71	66	60	70	77	77	65	j												
	MP2	Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	68	63	57	68	74	74	63	j												
Meting 6	MP1	Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	59	58	56	n	76.4	72.5	-	79	76	-	76.4	74.9	-	79	78	-
Meting 7	MP1	Boechout	spoor	65	64	61	68	74	71	69	n	84.4	83.9	82.8	87	87	83	86.7	86.7	86.3	90	90	86
Meting 8	MP1	Lovenjoel	spoor	56	52	48	58	61	61	56	j	74.1	74.1	71.9	74	74	69	75.5	75.5	72.6	76	76	70

Tabel 26: Berekening met $L_{Amax,nx}$ waarden van de cases en metingen

Case		Locatie	Bron	Metingen gevelbelastingzonder gevelreflectie				Metingen gevelbelasting inclusief gevelreflecties			Metingen Lmax			DAtr- waarden voor NACHTRUIMTEN inclusief pieklawaai													
											inclusief reflecties	inclusief reflecties	exclusief reflecties	NBN S01-400-1 normaal comfort		prNBN S01-400-1 Klasse C						Ontwerp Gewestelijk isolatievoorschrif			Aanvullend criterium Lden +3dB -33dB	
				Lday	Levening	Lnight	Lden	LA	LA,day	LA,night	LA,max,3x 22u-6u (maximale waarde)	LA,max,3x 23u-7u (maximale waarde)	LA,max 5x 23u-7u (gemiddelde waarde)	met LA	met LA,max,3x 22u-6u (maximale waarde)	met LA,night,LA,day	met LA,max,3x 23u-7u (maximale waarde)	met LnightLday (weg/spoor)	met LA,max,3x 23u-7u (maximale waarde)	met Lnight en Lden (weg) *)	met Lnight en Lden (spoor) *)	met LA,max,3x 23u-7u (maximale waarde)	met Lnight (weg)	met Lnight (spoor)	met LA,max,5x 23u-7u (gemiddelde waarde)	met Lden	met $D_{Atr} \geq L_{A,max,5x\ 23u-7u\ (gemiddld.)} + 3$ dB - 42 dB
CASES																											
Case 1	MP1	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	71	69	64	73	75	75	70				41		43		45		45	---		39	---		43	
	MP2	Boterlaarbaan Antwerpen	weg	54	51	51	58	60	59	59				26		32		32		32	---		26	---		30	
Case 2	MP1	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	64	63	58	66	69	68	65				35		38		39		39	---		33	---		36	
	MP2	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	60	62	53	63	69	67	63				35		36		34		34	---		28	---		33	
	MP3	Sint Bernardsesteenweg A'pen	weg + tram	62	61	55	65	68	66	63				34		36		36		36	---		30	---		35	
Case 3	MP1	E40 - Gent	weg	76	74	71	79	81	81	78				47		51		52		52	---		46	---		49	
	MP2	E40 - Gent	weg	69	67	64	72	75	74	70				41		43		45		45	---		39	---		42	
	MP3	E40 - Gent	weg	57	56	54	62	70	65	65				36		38		35		35	---		29	---		32	
Case 4	MP1	Voskenslaan Gent	weg + tram	62	60	56	64	68	68	62				34		35		37		37	---		31	---		34	
	MP2	Voskenslaan Gent	weg + tram	62	59	54	63	67	67	61				33		34		35		35	---		29	---		33	
	MP3	Voskenslaan Gent	weg + tram	63	60	56	64	68	68	62				34		35		37		37	---		31	---		34	
Case 5	MP1	Burggravelaan Gent	weg + spoor	66	64	61	69	72	71	67	96.9	88.3	79.2	38	38	40	42	42	42	42	42	42	36	34	34	39	40
	MP2	Burggravelaan Gent	weg + spoor	67	65	61	69	73	71	68	90.3	87.9	80.2	39	39	41	42	42	42	42	42	42	36	34	34	39	41
	MP3	Burggravelaan Gent	weg + spoor	70	68	64	72	75	74	70				41		43		45		45	45		39	37		42	
Case 6	MP1	Dampoort Gent	weg + spoor	66	65	63	70	73	71	69				39		42		44		44	44		38	36		40	
	MP2	Dampoort Gent	weg + spoor	61	61	58	65	69	66	64	84.5	81.3	76.4	35	35	37	37	39	39	39	39	39	33	31	31	35	37
METINGEN TRACTEBEL																											
Meting 1	MP1	Boomsesteenweg Aartselaar	weg	70	68	66	74	76	74	73				42		46		47		47	---		41	---		44	
Meting 2	MP1	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	54	52	48	56	59	59	54				26		28		29		29	---		26	---		30	
	MP2	Oostmalsesteenweg Emblem	weg	62	60	56	64	67	66	62				33		35		37		37	---		31	---		34	
Meting 3	MP1	Nationalestraat A1 Antwerpen	weg + tram	68	65	62	70	73	71	67				39		40		43		43	---		37	---		40	
	MP2	Nationalestraat A6 Antwerpen	weg + tram	65	63	59	68	70	69	65				36		38		40		40	---		34	---		38	
Meting 4	MP1	Britselei Antwerpen	weg + tram	67	65	59	69	72	70	66				38		39		40		40	---		34	---		39	
Meting 5	MP1	Mechelsesteenweg A'pen niv1	weg + tram	71	66	60	70	77	77	65				43		43		41		41	---		35	---		40	
	MP2	Mechelsesteenweg A'pen niv6	weg + tram	68	63	57	68	74	74	63				40		40		38		38	---		32	---		38	
Meting 6	MP1	Fodderiestraat/Groen Zuid A'pen	spoor	53	50	48	56	59	58	56	79.4	77.9	-	26	34	29	34	29	34	29	29	34	26	26	---	30	
Meting 7	MP1	Boechout	spoor	65	64	61	68	74	71	69	89.7	89.7	82.8	40	40	42	44	42	44	42	42	44	36	34	36	38	44
Meting 8	MP1	Lovenjoel	spoor	56	52	48	58	61	61	56	75.5	75.5	68.9	27	34	29	34	29	34	29	29	34	26	26	26	30	30

*) de norm prNBN S01-400-1:2019 geeft wel een verband tussen LAday en Lden maar niet tussen LAnight en Lden. Daarom is de eis gebaseerd op het maximum van DAtr ≥ 28 dB; DAtr ≥ Lden -1dB+3dB-34dB (weg) of Lden -5dB+3dB-34dB (spoor) (uit LAday-34 dB) en DAtr ≥ Lnight+5dB +3 dB -27 dB (uit LAnight-27dB). De eis voor de nacht is bepalend.

Tabel 27: Berekening eisen D_{Atr} van nachtruimten inclusief eisen pieklawaai

Voor de cases geldt:

- De eisen voor D_{Atr} van de nachtruimtes van de cases veranderen enkel bij het ontwerp van nieuwe NBN norm. Het criterium van $L_{Amax,3x}$ is dan strenger dan dat van $L_{A,night}$. Dit is niet het geval wanneer L_{night} gebruikt wordt als criterium.
- Voor de huidige NBN norm ligt L_A van de cases steeds boven 68 dB en is de normale eis bepalend.
- Voor het voorstel van ontwerp gewestelijk isolatievoorschrift ligt het pieklawaai minder dan 20 dB boven L_{night} en is dus ook niet bepalend.
- Uitgaande van $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,\ 23u\text{-}7u}$ (gemiddelde waarde) + 3 dB – 42 dB, wordt deze eis bepalend voor het aanvullend criterium. Dit is immers het geval vanaf $L_{Amax,5x} > L_{den}$ + 9 dB.

Voor metingen 6, 7 en 8 geldt:

- Voor de huidige NBN norm worden de situaties verhoogd wanneer L_A onder 68 dB ligt en de eis van pieklawaai bepalend is.
- Alle eisen berekend volgens het ontwerp van nieuwe NBN norm worden strenger.
- De eis van het voorstel van ontwerp gewestelijk isolatievoorschrift verandert enkel voor meting 7 waar het pieklawaai meer dan 20 dB boven L_{night} en is dit piekgeluid wel bepalend. Maar de eis is niet hoger dan de eis opgelegd door het verkeerslawaai (verschil ≤ 22 dB).
- Voor meting 7 is er een belangrijk verschil tussen $L_{Amax,5x}$ en L_{den} waardoor de gevraagde geluidsisolatie ook sterk toeneemt. Bij meting 8 is de minimale eis nog bepalend.

Globaal worden de eisen van nachtruimten voornamelijk strenger bij het ontwerp van de nieuwe NBN norm en bij het aanvullend criterium. Verhogingen door piekgeluiden komen vooral voor wanneer het buitengeluid laag is. Bij het ontwerp van nieuwe NBN norm en het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift moeten de waarden van de piekgeluiden al redelijk hoog boven het buitenlawaai liggen om een invloed te hebben. Bij het aanvullend criterium is dit veel minder het geval.

6.6 CRITERIA BIJ VERHOOGD COMFORT

De huidige NBN S01-400-1 (2008) geeft behalve criteria voor normaal comfort ook criteria voor verhoogd comfort. Deze liggen voor alle situaties 4 dB hoger dan deze van normaal comfort, enkel de criteria bij piekgeluiden blijven gelijk. De nodige geluidsisolaties van vorige analyses zullen dan ook praktisch overal met 4 dB worden verhoogd bij verhoogd comfort.

Het ontwerp van nieuwe norm prNBN S01-400-1 (2019) spreekt niet over normaal en verhoogd comfort, maar over klasse C en klassen A en B. In het voorgaande werden de eisen van klasse C besproken. De eisen van klasse A en B zijn gelijk. Voor de dagruimten liggen ze 4 dB hoger dan voor klasse C; voor nachtruimten is dit 3 dB. De minimumwaarde ligt echter wel steeds 4 dB hoger voor dag- en nachtruimten. Ook de eisen uit piekgeluiden (voor nachtruimten) zijn 4 dB strenger. Globaal zullen dan ook de nodige geluidsisolaties die hoger berekend werden steeds 4 dB hoger zijn voor dagruimten en 3 of 4 dB hoger voor nachtruimten. Vooral voor deze laatste ruimten waar de eisen al hoog liggen voor klasse C, zal de eis moeilijk te realiseren zijn bij hoge geluidsbelastingen buiten. Hierop wordt niet verder ingegaan.

Voor het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift en het alternatief criterium zijn er geen eisen voor een ‘verhoogd’ comfort.

6.7 GELUIDSISOLATIES BIJ LUCHTVERKEERSLAWAAI

De Vlaamse Overheid beschikt ook over gegevens van geluidsmetingen uitgevoerd door het meetnet rond de luchthaven van Brussel Nationaal. Het betreffen geluidsmetingen uitgevoerd over een periode van 1 jaar op 10 meetlocaties.

Overzicht van actieve meetstations in 2018

40	40-1	KONINGSLO	150301	178013	Omgeving	2001.10.05	
41	41-1	GRIMBERGEN	149551	179614	Omgeving	2002.09.27	
42	42-2	DIEGEM	154872	176423	Omgeving	2011.01.01	
43	43-2	ERPS-KWERPS	163353	177079	Omgeving	2011.01.01	
44	44-2	TERVUREN	161589	169250	Omgeving	2011.01.05	
45	45-1	MEISE	146637	179948	Omgeving	2003.01.01	
46	46-2	WEZEMBEEK-OPPEM	157375	170504	Omgeving	2005.10.18	
47	47-3	STERREBEEK	158845	172271	Omgeving	2011.01.01	
48	48-3	BERTEM	168162	173589	Omgeving	2011.01.01	
70	70-1	ROTSELAAR	173832	181833	Omgeving	2018.02.08	2019.01.25

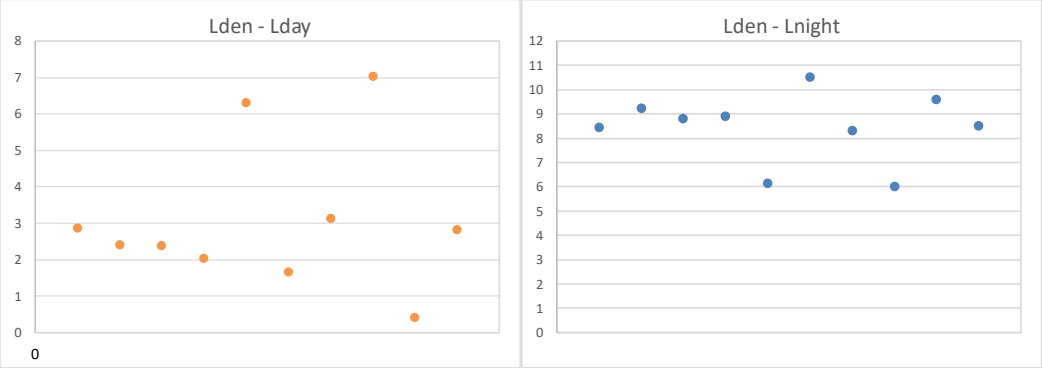
Tabel 28: Locaties meetpunten meetnet Brussel Nationaal

De tabel hieronder toont de jaargemiddelde waarde van de Europese indicatoren L_{day}, $L_{evening}$, L_{night} en L_{den} voor elk van deze meetpunten. De $L_{Amax,nx}$-waarden zijn de gemiddelde waarden van de dagelijks (nacht) gemeten $L_{Amax,nx}$-waarden.

NMT	40	41	42	43	44	45	46	47	48	70
Lday (07-19u)	54.1	49.1	65.5	58.2	45.5	46.4	56.7	49.3	30.3	51.6
Levening (19-23u)	53.9	49.3	65.0	57.1	43.1	46.5	56.9	47.3	26.0	51.5
Lnight	48.5	42.2	59.1	51.3	45.7	37.6	51.5	50.3	21.1	45.9
Lden	56.9	51.5	67.9	60.2	51.8	48.1	59.8	56.3	30.7	54.4
LAmax,10x,23-07u	69.4	64.1	79.9	72.8	67.0	0.0	71.5	69.9	0.0	65.0
LAmax,5x,23-07u	71.3	66.1	81.7	74.3	70.2	63.8	71.2	74.5	0.0	67.1
LAmax,3x,23-07u	72.6	67.4	82.7	75.1	71.6	65.1	71.7	76.0	62.2	68.3
LAmax,1x,23-07u	74.2	69.2	84.1	76.2	72.7	67.7	73.2	77.2	68.1	70.2

Tabel 29: L_{day}, $L_{evening}$, L_{night}, L_{den} en $L_{Amax,nx}$ voor elk van de meetpunten van voorgaande tabel

Wanneer het verschil gemaakt wordt tussen respectievelijk L_{den} en L_{nay} (L_{den}-L_{day}) en L_{den} en L_{night} (L_{den}-L_{night}) dan geeft dit de resultaten van de volgende grafieken voor de verschillende meetlocaties:

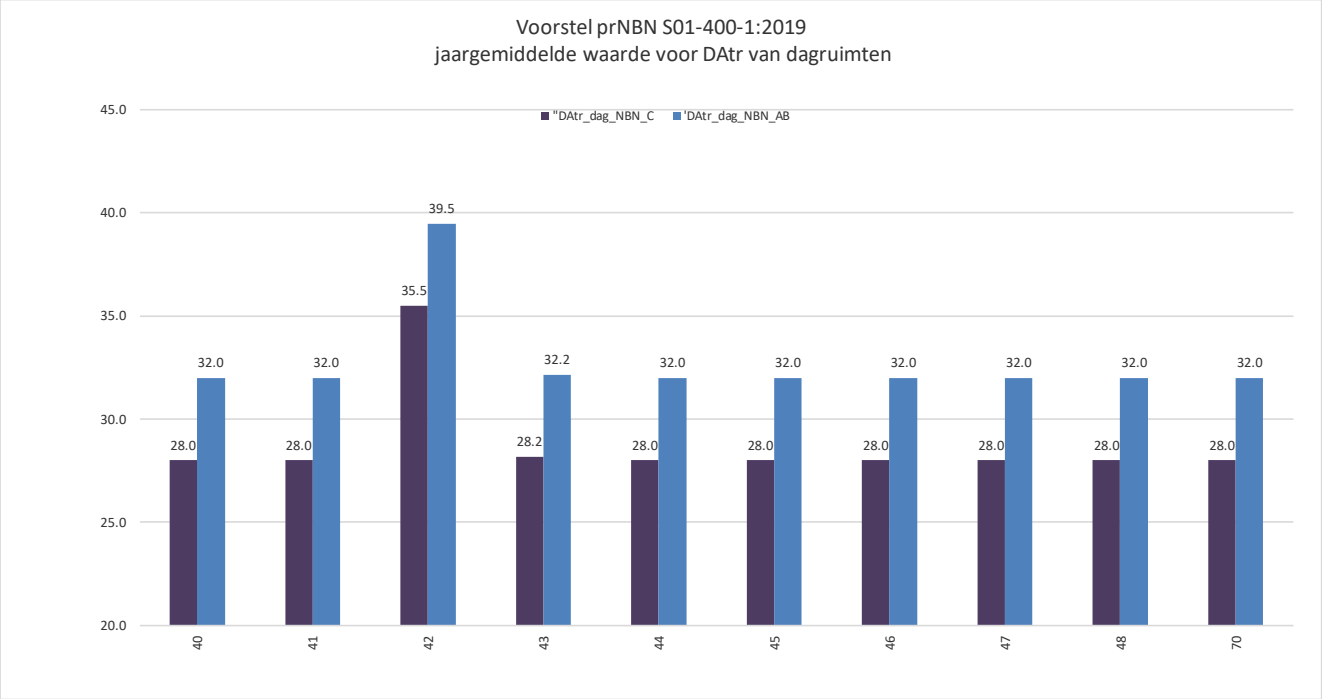


Figuur 61: Verschil tussen L_{den} -L_{day} en L_{den} -L_{night} in de verschillende meetpunten

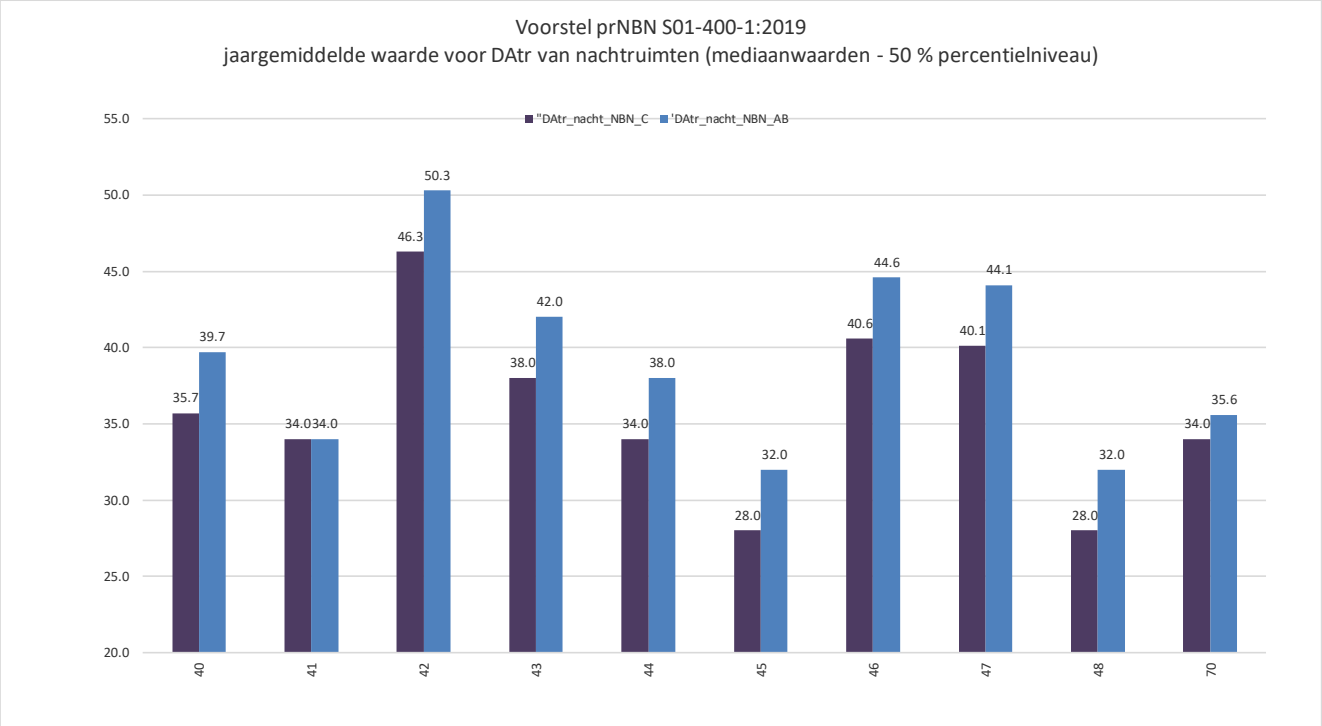
Het verschil L_{den}-L_{day} ≈ 0.4 tot 7 dB, met een gemiddelde van 3.1 dB; het verschil L_{den}-L_{night} ≈ 6 tot 10.5 dB, of gemiddeld 8.5 dB.
Dit is uiteraard slechts gebaseerd op een heel beperkte steekproef.

Door de Vlaamse overheid werden hiermee de D_{Atr}-waarden bepaald voor dag- en nachtruimten conform de ontwerpnorm prNBN S01-400-1 (2019). Deze worden getoond op de volgende grafieken. Het betreffen zowel de waarden voor klasse C als de waarden voor klassen A en B volgens deze norm.

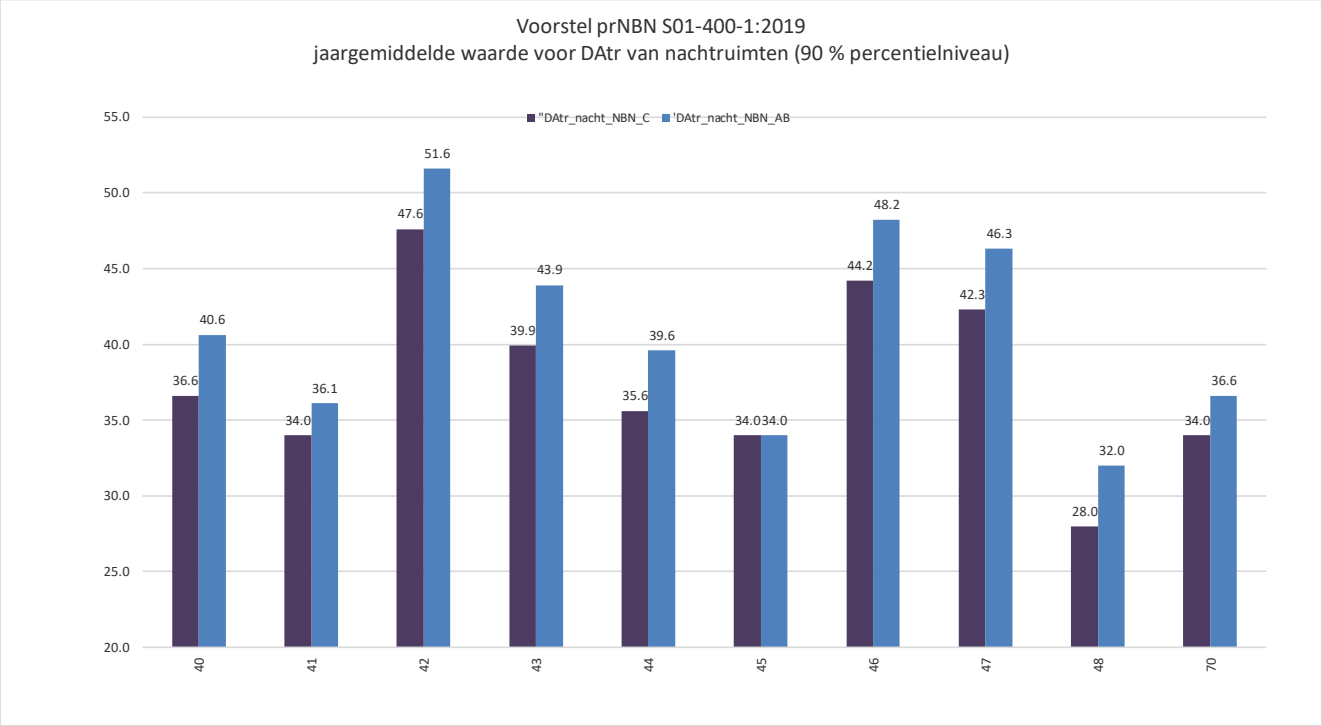
Aanvullende toelichting:
Uitgangspunten hierbij zijn de verbanden tussen $L_{A,day}$ en L_{day} enerzijds en $L_{A,night}$ en L_{night} anderzijds uit de informatieve bijlage D van de ontwerpnorm. De aanvullende criteria voor D_{Atr} op basis van het 3x overschrijdingsniveau $L_{Amax,3x}$ werden voor elke dag afzonderlijk bepaald als het maximum over de voorbije week (hoogste waarde van de voorbij 7 nachten).



Figuur 62: Jaargemiddelde D_{Atr}-waarden voor dagruimten volgens prNBN S01-400-1 (2019) in de verschillende meetpunten



Figuur 63: Jaargemiddelde D_{Atr}-waarden voor nachtruimten volgens prNBN S01-400-1 (2019) in de verschillende meetpunten op basis van de mediaanwaarden

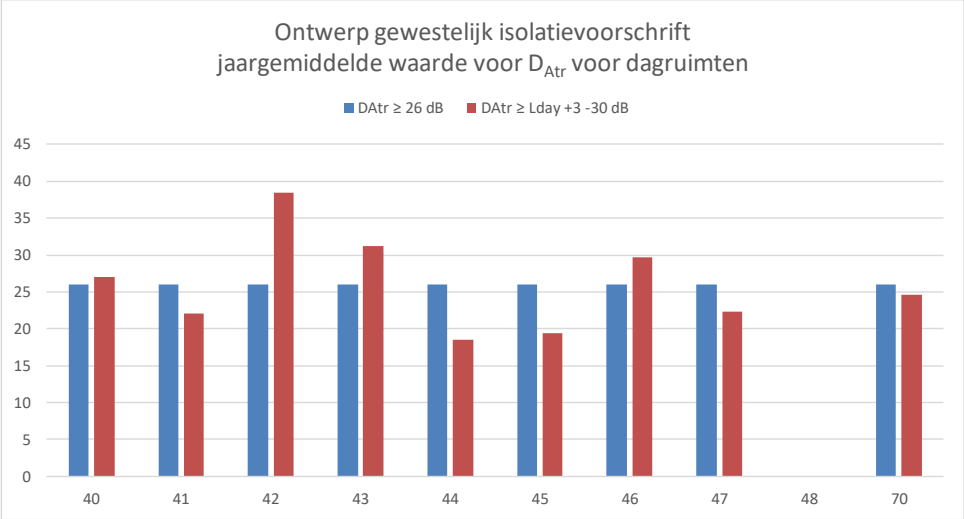


Figuur 64: Jaargemiddelde D_{Atr}-waarden voor nachtruimten volgens prNBN S01-400-1 (2019) in de verschillende meetpunten op basis van de 90% percentielwaarden

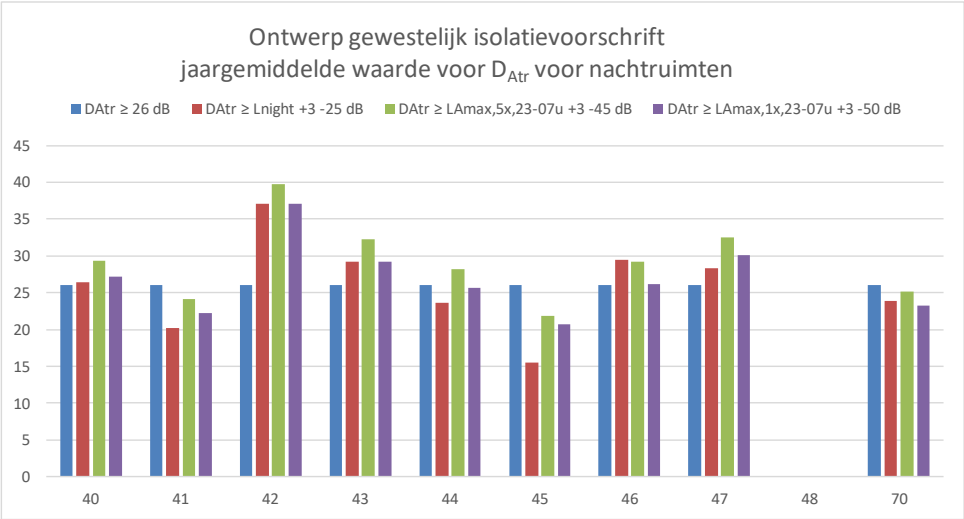
Bovenstaande gegevens zijn louter informatief en dienen om de resultaten te tonen voor concrete situaties met pieken van vliegtuiglawaai. Volgens deze grafieken kunnen de eisen die aan D_{Atr} opgelegd worden voor de nachtruimten door deze NBN norm in sommige gevallen zeer hoog oplopen!

De resultaten tonen ook aan dat bij de toepassing van het aanvullende nachtelijk piekgeluidencriterium uit bijlage E van de ontwerpnorm het van belang is om de 'tijdsbasis' voor evaluatie eenduidig te preciseren. Het gaat om de vraag welke (week)nacht representatief is voor het bepalen van de vereiste isolatie D_{Atr}. Rond luchthavens is dit omwille van het gebruik van verschillende baanconfiguraties moeilijker eenduidig te definiëren dan bijvoorbeeld in de nabijheid van een spoorweg. In de voorstellen werd bij wijze van voorbeeld gekozen voor de mediaan en 90 percentielwaarden naar analogie van de bepaling van de parameters uit de norm in de gemeten cases. Deze keuze blijft echter vrij arbitrair.

Tot slot werden op basis van de gegevens van de meetpunten (Tabel 28) ook de jaargemiddelde D_{Atr}-waarden bepaald voor respectievelijk de dag- en nachtruimten volgens het ontwerp van het gewestelijk isolatievoorschrift. De volgende 2 figuren geven deze waarden. De resultaten liggen duidelijk lager dan deze berekend volgens de ontwerpnorm prNBN S01-400-1 (2019).



Figuur 65: Jaargemiddelde D_{Atr}-waarden voor dagruimten volgens het ontwerp van het gewestelijk isolatievoorschrift in de verschillende meetpunten

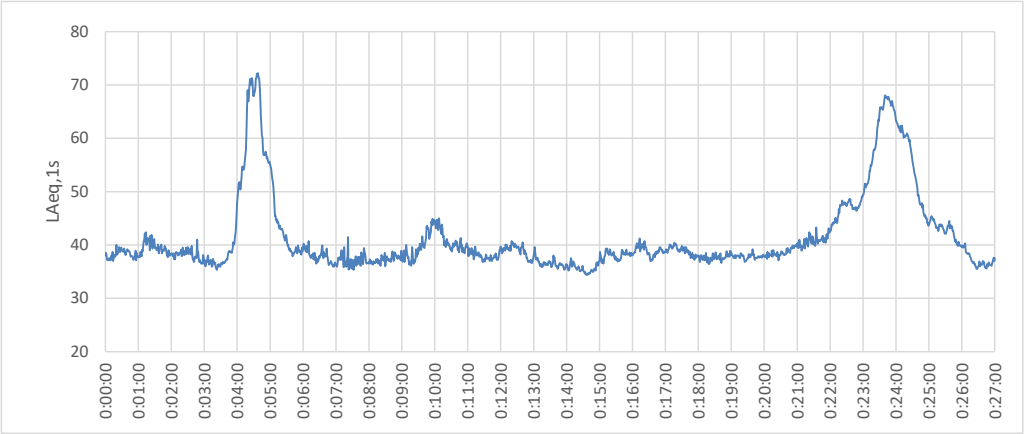


Figuur 66: Jaargemiddelde D_{Atr}-waarden voor nachtruimten volgens het ontwerp van het gewestelijk isolatievoorschrift in de verschillende meetpunten

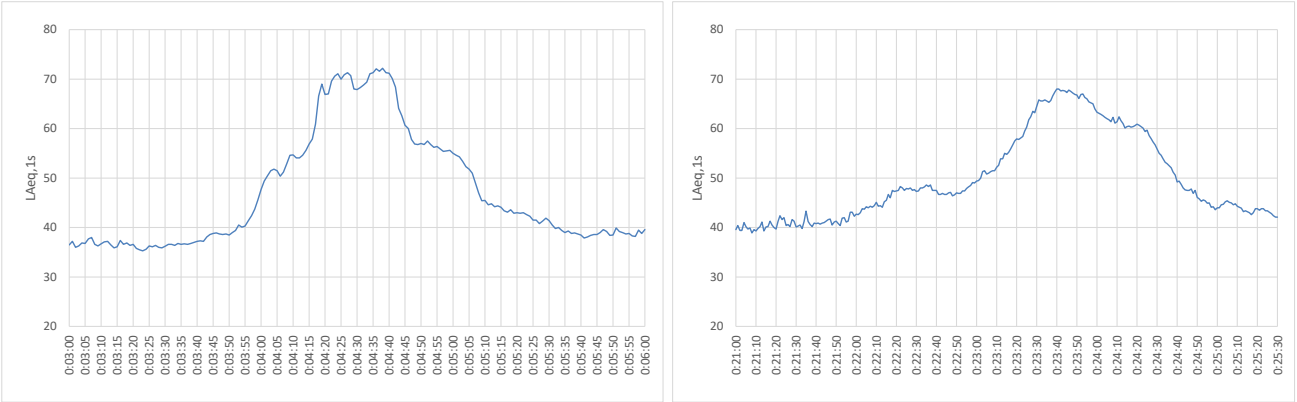
Voor de nachtruimten zijn meestal de $L_{Amax,5x,23-07u}$-waarden bepalend voor de eis, terwijl de $L_{Amax,1x,23-07u}$-waarden nooit bepalend zijn. Het aantal cases is hier echter te beperkt om hieruit conclusies te trekken.

7 BEREKENING VAN PIEKGELUIDEN

Piekgeluiden ($L_{Amax,nx}$) kunnen enkel correct vastgesteld worden door metingen. De waarde die dan bekomen wordt is echter enkel geldig voor het meetpunt. Op andere plaatsen op het terrein zullen deze waarden verschillen.
Bij verwerking van metingen is het ook moeilijk om achteraf vast te stellen waarvan deze piekgeluiden afkomstig zijn.
Passages afkomstig van treinen of vliegtuigen kenmerken zich door een opkomend geluid in de tijd, het aanhouden gedurende enkele seconden van de hoogste waarde en het terug afnemen van het geluid tot het achtergrondniveau. De piek zelf houdt enige tijd aan afhankelijk van de afstand van de bron en de snelheid van de bron. Onderstaande figuur toont een voorbeeld van passages van 2 treinen. In de beide figuren daaronder worden deze pieken uitvergroot. De L_{Amax}-waarde wordt bepaald door de hoogste $L_{Aeq,1s}$ waarde.



Figuur 67: Voorbeeld van het verloop van 2 treinpassages in functie van de tijd



Figuur 68: Detail van beide treinpassages van vorige figuur

Wanneer deze piekwaarde door een meting werd bepaald is deze alleen geldig voor een ontvanger (of gevel) die zich in dat meetpunt zou bevinden. Op andere plaatsen is de afstand tot de bron immers verschillend of kan de bron geheel of gedeeltelijk afgeschermd zijn. Het is dan ook zeer moeilijk om een correcte waarde van het piekgeluid vast te stellen op andere plaatsen zonder metingen.

De bijlagen van de norm kunnen dan toegepast worden om het piekgeluid op de andere gevels te bepalen waarbij de waarde van $L_{Aref(day/night)}$ vervangen wordt door de waarde van de piek. Er wordt dan verondersteld dat de piekgeluid op de andere gevels op dezelfde manier veranderen als de equivalente waarden. Het probleem is echter dat deze rekenregels enkel geldig zijn voor wegverkeerslawaai en in principe niet voor treinlawaai.

Beschikt men over een geluidsmodel van het project met de gevelbelastingen dan kan elke waarde van het berekende geluidsniveau verhoogd worden met verschil tussen de gemeten piekwaarde in het meetpunt en de berekende waarde in het meetpunt. Dit principe kan echter alleen gevolgd worden indien het rekenmodel enkel het treinlawaai bestudeert en dit treinlawaai afkomstig is van slechts één spoorlijn.

Het probleem kan ook theoretisch beschouwd worden.

In het geval de bron een bewegende puntbron is die steeds hetzelfde geluidsniveau uitstuurt (bv. vliegtuiglawaai) dan wordt het piekgeluid bepaald door de kortste afstand tussen de bron en de waarnemer. Het piekgeluid of de L_{Amax}-waarde wordt echter bepaald door de hoogste equivalente 1 seconde waarde ($L_{Aeq,1s}$) van een passage. Over 1 seconde legt de bron echter een afstand d af gelijk aan de snelheid (v) van de bron indien als eenheid van de snelheid m/s wordt genomen (d =v X 1= v). Bijvoorbeeld met een snelheid van 20m/s (= 72 km/u) legt de bron 20 m af op 1 seconde. De bron bevindt zich tijdens die seconde niet meer op elk ogenblik op dezelfde afstand van de waarnemer, zeker niet kort bij de bron. Staat hij daarentegen ver af van de bron dan is de afstand en dus ook het geluidsniveau over deze seconde steeds gelijk quasi gelijk.

In het geval van een bewegende lijnbron, zoals een trein met meerdere wagons, waarbij elk onderdeel eenzelfde geluidsvermogen uitstuurt zijn er verscheidene puntbronnen die zich situeren op één lijn. In dit geval wordt de hoogste piek niet alleen bepaald door de afstand van de bron die het dichtst bij is maar ook door alle andere bronnen samen die zich op verschillende afstanden bevinden. Waar deze bronnen zich bevinden is afhankelijk van de lengte van de lijnbron. Over 1 seconde wordt het piekgeluid bij een waarnemer dan ook niet alleen bepaald door de afstand van de dichtste bron en de snelheid van de lijnbron, maar ook door de lengte van lijnbron (aantal puntbronnen). In dit geval moet dus ook de lengte gekend zijn.

Een akoestische simulatie laat toe de uurlijkse equivalente waarde te berekenen van een puntbron of een lijnbron in verschillende waarneempunten. Beschouwt men één enkele puntbron of één enkele lijnbron die zich met een welbepaalde snelheid verplaatst, dan geeft het rekenmodel de $L_{Aeq,1h}$-waarde van deze bron in elk berekeningspunt. De totale ontvangen geluidsenergie van die ene bron tijdens dat uur is dan gekend in elk waarneempunt. De $L_{Aeq,1h}$-waarde is dan het geluidsdrukniveau, dat wanneer het constant zou aangehouden worden over 1 uur, eenzelfde gemiddelde waarde van de gekwadrateerde A-gewogen geluiddruk oplevert als het fluctuerend geluid. Over de tijdsspanne van één uur is het fluctuerend geluid van de bron maar een beperkte tijd aanwezig en tijdens deze tijd heeft het fluctuerend geluid een vorm zoals getoond in de vorige figuren. Het is echter wel mogelijk om uit deze $L_{Aeq,1h}$-waarde de maximale waarde van deze gebeurtenis te bepalen.

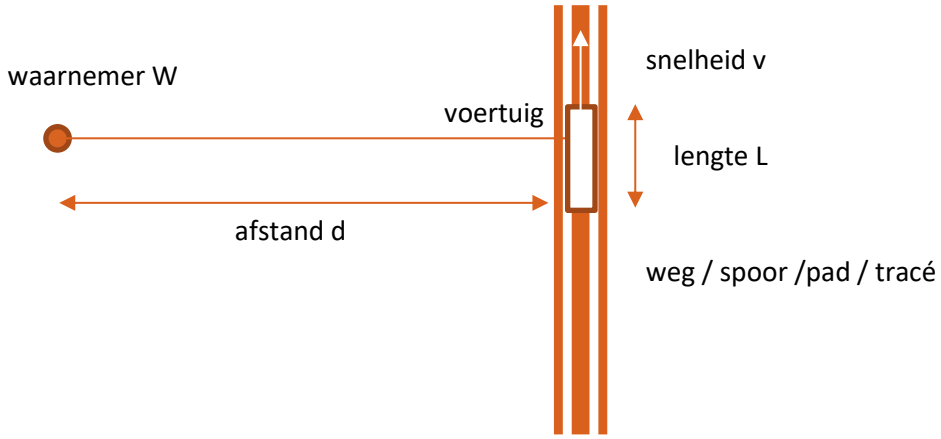
De 'sound exposure level' karakteriseert een geïsoleerde geluidgebeurtenis zoals het passeren van een vrachtwagen, trein of het overvliegen van een vliegtuig. De Sound Exposure Level, kortweg SEL, is de energetische equivalent van het globale geluidsniveau geïntegreerd over een tijdsspanne T op basis van een 1 seconde referentie t_{ref}.

$$SEL = 10\,log\left(\frac{1}{t_{ref}}\int_{-T/2}^{T/2}\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 dt\right)$$

De A-gewogen equivalent waarde $L_{Aeq,T}$ over een periode T is de SEL waarde die uitgemiddeld wordt over de periode T met de volgende formule:

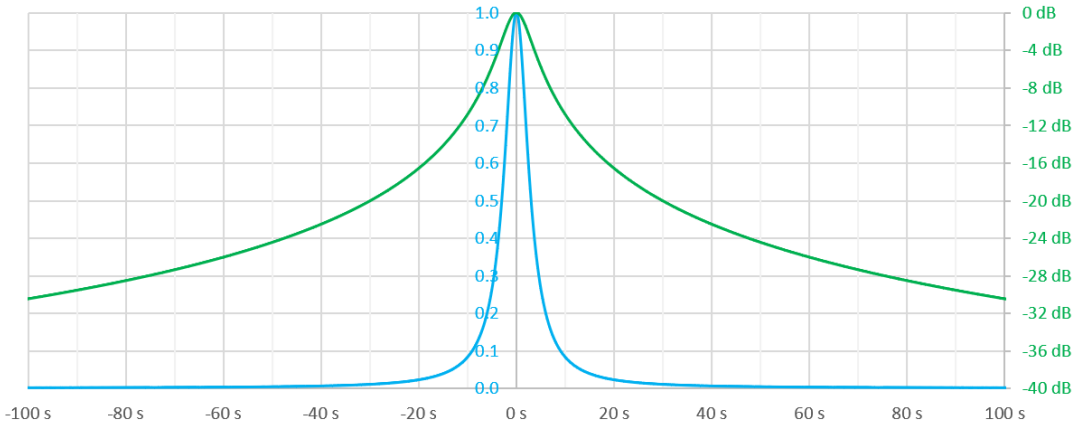
$$L_{Aeq,T} = SEL - 10\log(T)$$

Men gaat eerst uit van één puntbron op een afstand d van de ontvanger en met een snelheid v. Dit is bij voorbeeld een individuele wagen of een vliegtuig.



Figuur 69: Voorstelling van een bewegend voertuig op een afstand d van een waarnemer

De geluidsoverdracht is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen bron en ontvanger. De grafiek geeft het voorbeeld van een bron aan 60km/u op 50m afstand.



Figuur 70: Voorbeeld van het geluidsniveau van een bewegende puntbron

De blauwe lijn geeft het kwadraat van de verhouding van de eigenlijke afstand ten opzichte van de kortste afstand tussen bron en ontvanger en dit in functie van de tijd. De groene curve geeft de impact hiervan weer op de overdracht in geluidsdruk.
Het geluid dat men waarneemt in open veld en zonder absorptie op een bepaalde afstand van een bron kan men bepalen met:

$$L_p = L_W + 10\ log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right)$$

Hier geldt dat L_p de geluidsdruk is, L_w het geluidsvermogen, Q de directiviteit van de bron (wanneer Q gelijk is aan 1 spreekt men van een omni-directionele bron) en r de afstand tussen bron en ontvanger.
Het verschil in geluidsdruk tussen 2 punten op verschillende afstanden r_1 en r_2 van de bron wordt dan:

$$\Delta L_p = L_{p2} - L_{p1} = 10\ log\left(\frac{Q}{4\pi r_2^2}\right) - 10\ log\left(\frac{Q}{4\pi r_1^2}\right) = 10\ log\left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)$$

De geluidsdruk p op een afstand r van de bron ten opzichte van de geluidsdruk op 1m van de bron kan men bepalen door :

$$\Delta L_p = L_{p,r} - L_{p,1m} = 10\ log\left(\frac{1}{r^2}\right) = 10\ log\left(\frac{{p_r}^2}{p_0^2}\right) - 10\ log\left(\frac{{p_{1m}}^2}{p_0^2}\right) = 10\ log\left(\frac{{p_r}^2}{p_{1m}^2}\right)$$

waaruit volgt dat

$$p_r = \frac{p_{1m}}{r}$$

en ook:

$$SEL = 10\ log\left(\int_{-\infty}^{\infty}\left(\frac{p_r}{p_0}\right)^2 dt\right) = 10\ log\left(\left(\frac{p_{1m}}{p_0}\right)^2 \int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{r^2}dt\right) = L_{p,1m} + 10\ log\left(\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{r^2}dt\right)$$

De puntbron is in beweging en de afstand tussen de bron en de ontvanger kan men schrijven in functie van de kortste loodrechte afstand d tussen beide, op tijdstip t=0, en de snelheid v van de bron:

$$r^2 = d^2 + (vt)^2$$

De integraal in de tweede term van de vergelijking voor SEL wordt dan:

$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{r^2}dt = \int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{d^2 + (vt)^2}dt = \frac{1}{d^2}\frac{d}{v}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{1 + \left(\frac{vt}{d}\right)^2}d\left(\frac{vt}{d}\right)$$

$$= \frac{1}{dv}\left[\text{atan}\left(\frac{vt}{d}\right)\right]_{-\infty}^{\infty} = \frac{1}{dv}\left(\frac{\pi}{2} - \left(-\frac{\pi}{2}\right)\right) = \frac{\pi}{dv}$$

Aldus wordt:

$$SEL = L_{p,1m} + 10\ log\left(\frac{d\pi}{v}\right)$$

Er geldt ook dat het geluidsdrukniveau op de kortste afstand d het hoogste piekniveau L_{peak} genereert en gelijk is aan:

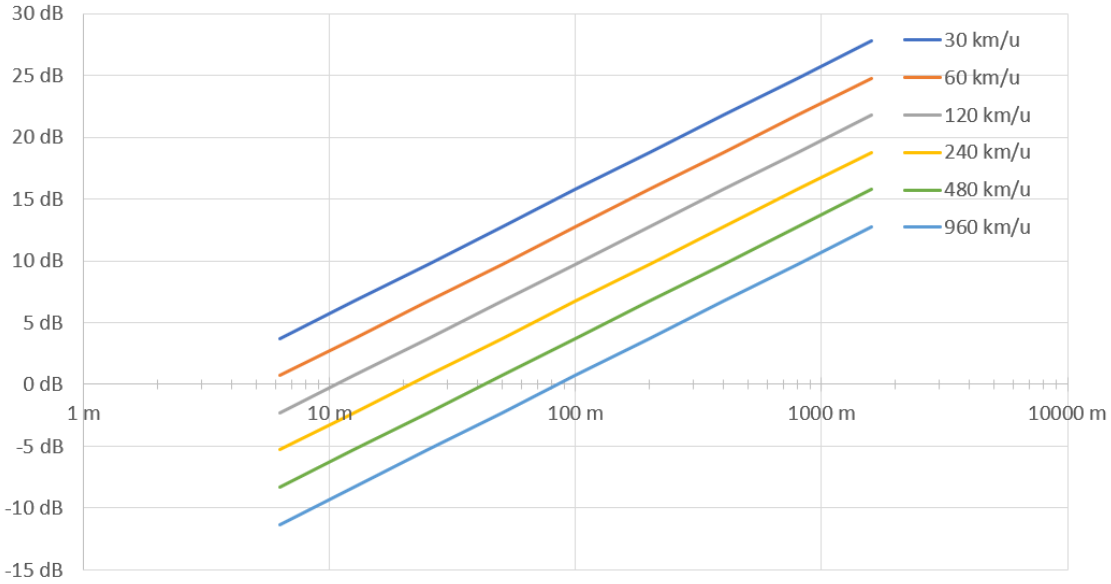
$$L_{peak} = 10\ log\left(\frac{p_d}{p_0}\right)^2 = 10\ log\left(\frac{1}{p_0}\frac{p_{1m}}{d}\right)^2 = L_{p,1m} + 10\ log\left(\frac{1}{d^2}\right)$$

Beide vergelijkingen combineren geeft dan:

$$SEL = L_{peak} - 10\ log\left(\frac{1}{d^2}\right) + 10\ log\left(\frac{\pi}{dv}\right)$$

$$SEL = L_{Peak} + 10\ log\left(\frac{d\pi}{v}\right)$$

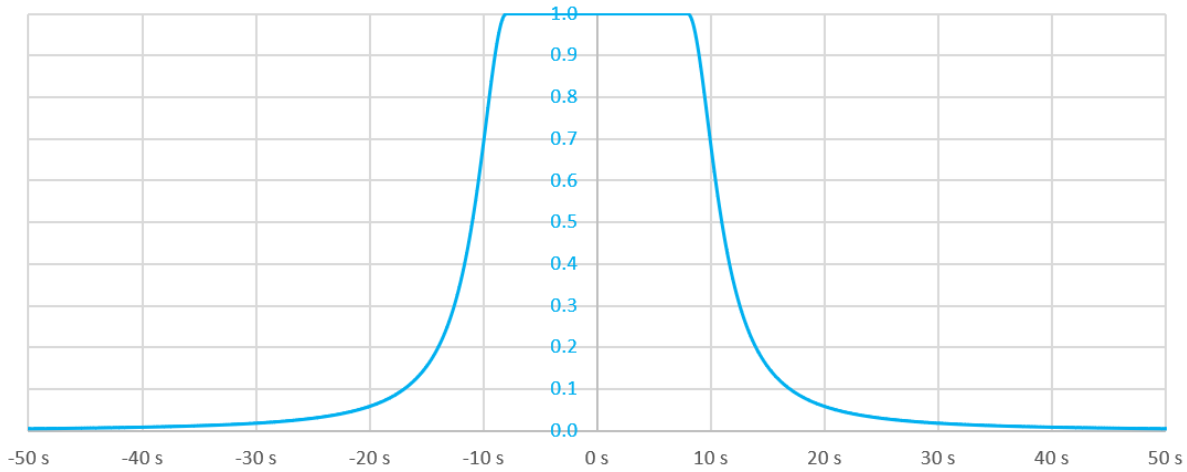
Algemeen kan men stellen dat de Sound Exposure Level (SEL), d.w.z. de geïntegreerde geluidsdruk bij de volledige passage, afhangt van de snelheid van de bron. Bij een hogere snelheid zal de bron kortstondiger hoorbaar zijn en zal de SEL dus kleiner zijn.
Ze is ook afhankelijk van de afstand tussen bron en ontvanger. Bij een grotere afstand zal het geluidsniveau minder snel variëren en zal de SEL toenemen.
Volgende figuur toont enkele relaties. Hoe sneller het verkeer, hoe verder verwijderd de dichtstbijzijnde bebouwing zich meestal zal bevinden. In deze gevallen is 5dB een goede richtwaarde voor het verschil tussen de SEL en de piekwaarde.



Figuur 71: Verschil tussen SEL en peak voor een puntbron

Deze relatie geldt voor de ogenblikkelijke piekwaarde L_{Peak}. In praktijk werkt men echter met de L_{Amax} waarde die de maximale $L_{Aeq,1s}$ waarde is van de meetreeks. Tijdens één seconde zal echter in voorkomende gevallen de geluidsdruk rond het maximum maar beperkt variëren waardoor er géén belangrijk verschil optreedt tussen de maximum waarde L_{Amax} en de piekwaarde L_{Peak}.

Bij lange voertuigen kan men niet meer spreken van één puntbron en zijn er een reeks puntbronnen eigen aan het voertuig en met een gelijkaardig bronvermogen.



Figuur 72: Voorbeeld van het geluidsniveau van een bewegende lijnbron

De L_{AMax}-waarde blijft dan langer aan, vooral op een korte afstand tot de bron, ttz een afstand die veel kleiner is dan de lengte van het voertuig. Dit is meer van toepassing voor treinen of, in uitzonderlijk geval, een lange vrachtwagen met oplegger. De tijdsduur is dan meestal deze van "bumper tot bumper" aan de gegeven voertuigsnelheid. In dat geval dient men een correctie toe te passen voor de eindige lengte van het voertuig bij de bepaling van de SEL.

$$SEL = L_{Amax} + 10\ log\left(\frac{d\pi}{v}\right) + 10\ log\left(\frac{L}{v}\right)$$

Voor de toepassing van de formule dient L/v groter te zijn dan 1.

Voor een goederentrein met een lengte van 400m (ongeveer 20 wagons) en een snelheid van 90 km/u (ofwel 25 m/s) is deze correctie 12 dB.

Deze individuele passage kan over een langere periode T, bijvoorbeeld 1 uur, N keren voorkomen.

$$L_{Aeq,T} = SEL + 10\log(N) - 10\log(T)$$

Met voorgaande formule kan men het equivalent geluidsniveau over een periode T berekenen waarbij er N passages zijn geweest van eenzelfde type bron.

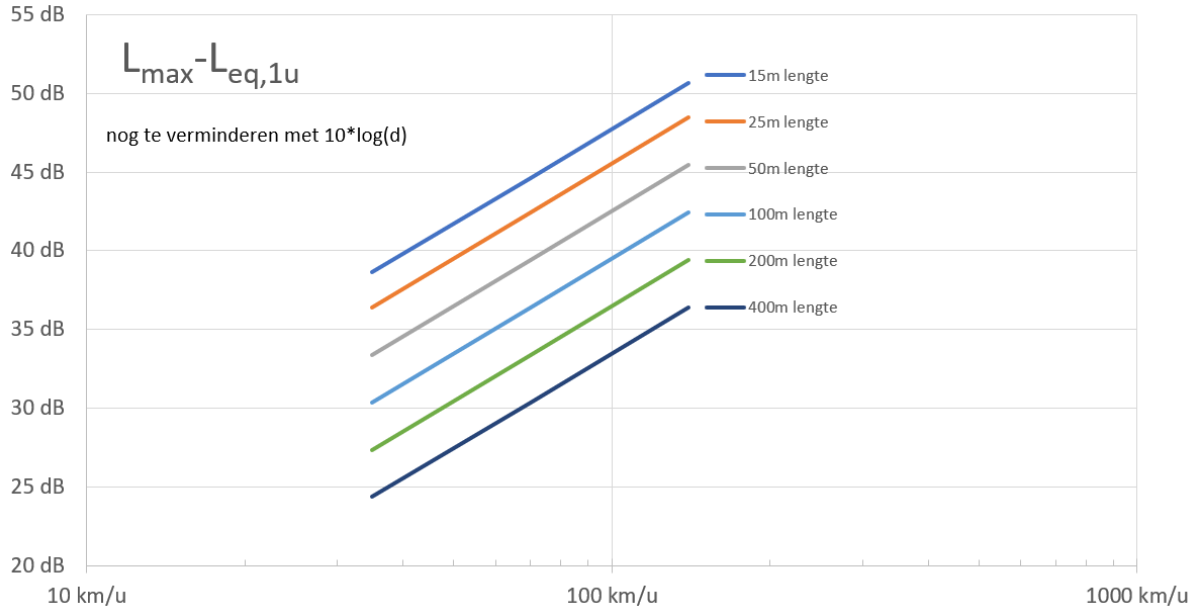
Voor één trein over een periode van één uur (3600 seconden) wordt de relatie dan:

$$L_{Aeq,1u} = L_{Amax} + 10\ log\left(\frac{d\pi}{v}\right) + 10\ log\left(\frac{L}{v}\right) - 35.6$$

Of:

$$L_{Amax} = L_{Aeq,1u} - 10\ log\left(\frac{d\pi}{v}\right) - 10\ log\left(\frac{L}{v}\right) + 35.6$$

Dit kan men ook aflezen in de volgende grafiek die het verschil aangeeft tussen de maximale waarde bij passage en de equivalente waarde over één uur, in functie van de treinlengte (van 15m tot 400m) en de treinsnelheid (tussen 35 en 140km/u).



Figuur 73: Verschil tussen de maximale waarde bij passage en de equivalente waarde over één uur van een lijnbron

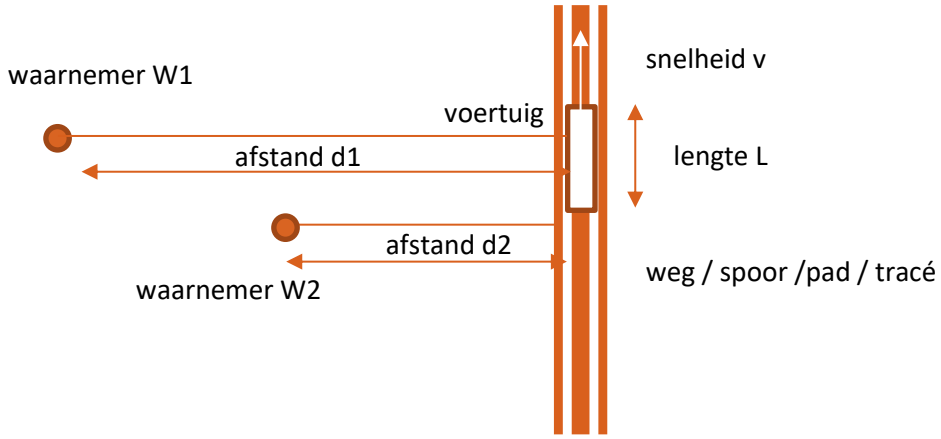
De grafiek is genormaliseerd voor een afstand van 1m. Men zal de aflezing dus nog moeten verminderen met 10log(d) waarbij d de kortste afstand tussen de bron en de waarnemer is, dus voor 10m is dit -10 dB, voor 25m is dit -14dB.
Voor het voorbeeld van een goederentrein van 400m met een snelheid van 90km/u op een afstand van 50m wordt dit:

$$L_{Amax} = L_{Aeq,1u} - 8.0 - 12 + 35.6 = L_{Aeq,1u} + 15.6\ dB$$

De $L_{Aeq,1h}$ equivalent waarde voor één passage over een uur is dan 15.6 dB lager dan de L_{Amax} waarde van de passage.
Merk op dat ook voor trams dit soms een puntbron kan zijn, zoals voor een enkelvoudige PCC maar dat dit niet meer opgaat voor een Hermelijn (30m) of een Albatros (43m) waarbij men ook rekening dient te houden met de lengte van de tram voor gevels kort bij het spoor.

Rekensoftware werkt steeds op basis van equivalent waarden over een bepaalde periode. Zo ook worden de bronvermogens voor treintypes uitgelijst op basis van een equivalent waarde per uur. Als men dan een berekening doet voor één eenheid van dit brontype kent men de equivalent impact naar de omgeving. Deze rekenwaarden kan men nu omzetten, voor elk type, naar een piekwaarde rekening houdend met de lengte van de bron en de afstand tot de bron.

Stel 2 waarneempunten W1 en W2 op verschillende afstanden respectievelijk d1 en d2 van eenzelfde bron met lengte L en snelheid v (zie onderstaande figuur):



Figuur 74: Voorstelling van een bewegend voertuig op een afstand d van een waarnemer

Volgens bovenstaande redeneringen geldt dan:

$$L_{Amax,1} - L_{Aeq,1u,1} = 10\,log\left(\frac{d_1\pi}{v}\right) - 10\,log\left(\frac{L}{v}\right) + 35.6$$

en:

$$L_{Amax,2} - L_{Aeq,1u,2} = 10\,log\left(\frac{d_2\pi}{v}\right) - 10\,log\left(\frac{L}{v}\right) + 35.6$$

Hieruit volgt:

$$(L_{Amax,2} - L_{Aeq,1u,2}) = (L_{Amax,1} - L_{Aeq,1u,1}) + 10\,log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

Indien $L_{Amax,1}$ en $L_{Aeq,1u,1}$ wordt bepaald door een meting in één meetpunt dan kan ook het verschil $L_{Amax,2}$ - $L_{Aeq,1u,2}$ op een andere locatie bepaald worden. Indien vervolgens $L_{Aeq,1u,2}$ berekend wordt in deze locatie via bijvoorbeeld een simulatieprogramma, dan kan ook op deze plaats $L_{Amax,2}$ afgeleid worden via bovenstaande formule.

8 SAMENVATTING VAN DE ONDERZOEKSBEVINDINGEN

8.1 INLEIDING

Om rekening te houden met het omgevingslawaai bij nieuwe woonontwikkelingen werd een ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift opgesteld voor de akoestische gevelisolatie van woningen tegen weg-, spoor- en luchtverkeerslawaai.
Opdat dit ontwerp inzetbaar zou zijn in het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen en later geoperationaliseerd kan worden in geschikte instrumenten binnen het ruimtelijk beleid als onderdeel van een algemene, ruimtelijke strategie, is dit ontwerp nader te evalueren. Dit dient te gebeuren via een internationale (Europese) benchmarking om na te gaan hoe internationaal omgegaan wordt met aspecten inzake akoestische gevelisolatie in instrumenten binnen het omgevingsbeleid (plannen, vergunningverlening ,…) en de toepassing in de dagdagelijkse bouwpraktijk. Het eerste onderdeel werd reeds uitgevoerd via een verkennende literatuurstudie en werd in deel 1 behandeld (deel 1: internationaal verkennende literatuurstudie).
In voorliggende deel van dit onderzoek (deel 2: evaluatie van het gewestelijk isolatievoorschrift) wordt het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift nader geëvalueerd aan de hand van praktische casestudies samen met een algemene benchmarking van het ontwerp van isolatievoorschrift met inzichten uit de internationale verkenning. In een laatste deel (deel 3) zal een (eenvoudige) rekentool en een technische leidraad opgesteld worden die dient als ondersteuning naar bouwprofessionals (geluidsdeskundigen, ontwerpers, architecten, …) om zodoende de toepassing van het isolatievoorschrift in de praktijk te faciliteren.

8.2 ONDERZOEK

De wijze waarop omgegaan wordt met de akoestische gevelisolatie tegen weg-, spoor- en luchtverkeerslawaai is zeer verschillend van land tot land. De akoestische grootheden en de isolatiecriteria die gebruikt worden zijn niet overal gelijk.
Voor het technisch aspect van de akoestische gevelisolatie zijn er 2 verschillende soorten grootheden:

- Grootheden die de gevelbelasting karakteriseren en eventuele piekgeluiden.
- Grootheden die de gevelisolatie karakteriseren. Dit laatste gebeurt ofwel aan de hand van een grootheid die de geluidsreductie van de gevel geeft; ofwel een grootheid met betrekking tot isolatieprestatie van het geheel of de samenstellende elementen van de gevel of gevelvlak; ofwel door een grootheid die het toegelaten geluidsdrukniveau binnen bepaalt.

In het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift zijn de grootheden die de gevelbelasting karakteriseren L_{day} en L_{night}, samen met de grootheden $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ en $L_{Amax,1x,23\text{-}07u}$ voor piekgeluiden. De gevelisolatie wordt gekarakteriseerd door het gewogen gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil voor een gevelvlak met het typespectrum voor wegverkeerslawaai, of kortweg D_{Atr}.
Actueel legt de Belgische norm NBN S 01-400-1 (jan 2008) 'Akoestische criteria voor woongebouwen' reeds eisen op aan de gevels van gebouwen die geheel of gedeeltelijk voor bewoning bestemd zijn. Deze norm gebruikt dezelfde grootheid D_{Atr} voor karakterisering van de gevelisolatie, maar de eisen die hiervoor opgelegd worden,

worden afgeleid van een andere akoestische grootheid die de gevelbelasting buiten karakteriseert, namelijk L_A. Ook bij het voorkomen van piekgeluiden wordt een andere grootheid gebruikt, namelijk $L_{Amax,3x,22-06u}$.
Deze NBN norm is reeds jarenlang van toepassing waardoor er een ruime ervaring is met deze grootheden. Daarom wordt in deze studie de vergelijking gemaakt tussen de eisen van deze norm en het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift.
Ondertussen heeft een normcommissie een ontwerp opgesteld voor een nieuwe norm woongebouwen met aangepaste criteria voor gevelisolaties: norm prNBN S 01-400-1 (07-2019) 'Akoestische criteria voor woongebouwen'. Deze norm is van toepassing op woningen die niet afhankelijk zijn van gemeenschappelijke keukens en niet afhankelijk zijn van gemeenschappelijke sanitaire ruimten (hieronder vallen bv. ook assistentiewoningen, studio's).
Ook hier wordt dezelfde grootheid D_{Atr} voor karakterisering van de gevelisolatie gebruikt, maar de eisen zijn ook hier weer afhankelijk van anders gedefinieerde grootheden buiten voor het karakteriseren van de gevelbelasting en piekbelasting. Daarenboven kan deze gevelbelasting ook via verschillende grootheden bepaald worden. De norm geeft ook verbanden tussen deze grootheden. Tot slot gebruikt deze norm ook verschillende grootheden voor gevelbelasting voor dag- en nachtruimtes. Ook deze norm maakt deel uit van dit onderzoek waarbij de grootheden en eisen vergeleken worden met de huidige norm en het ontwerp van gewestelijk isolatievoorstel.

Tot slot blijkt uit de internationale verkenning ook dat er nog andere grootheden gebruikt worden, zowel voor de gevelbelasting en de piekbelasting buiten, als voor de gevelisolatie en voor het geluidsniveau binnen. Verdere analyse van de voornaamste grootheden van andere landen toont aan dat er meer en meer tendens is om over te gaan naar grootheden die gedefinieerd zijn in ISO-normen en de grootheden die gebruikt worden voor het opstellen van strategische geluidsbelastingskaarten in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG van 25 juni 2002 'inzake de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai (richtlijn omgevingslawaai).
Naar aanleiding hiervan en om te komen tot een eenvoudig isolatievoorschrift wordt daarom ook onderzocht of de geluidsisolatie van de gevels van een gebouw niet kunnen worden vastgelegd door eenzelfde grootheid D_{Atr} die slechts afhankelijk is van één enkele grootheid die de gevelbelasting van een geveldeel karakteriseert voor alle periodes van de dag.

Omdat de eisen die opgelegd worden aan de gevelisolatie in elk van deze NBN normen of voorstellen afhankelijk zijn van de gevelbelasting en/of piekbelastingen, moeten deze laatste grootheden die het geluidsniveau buiten weergeven eenduidig zijn en ook eenduidig kunnen vastgesteld worden.

Dit is niet helemaal het geval voor de grootheid L_A die in de huidige norm NBN S 01-400-1 (jan 2008) gebruikt wordt en die de gevelbelasting van een gevelvlak karakteriseert en vastgesteld wordt op 2 m van de gevel. Deze grootheid is niet éénduidig omdat:

- Hij afgeleid wordt uit halfuurlijkse waarden uit metingen tijdens de dagperiode en tijdens de nachtperiode in een referentiepunt. Er wordt echter niet vastgelegd wanneer er precies dient gemeten te worden (representatief voor de mogelijke hinder) en hoe deze grootheid te bepalen is wanneer over lange duur wordt gemeten.
- Strikt genomen volstaat 1 meting over 30 minuten tijdens de dag en eenzelfde meting tijdens de nacht om deze grootheid te bepalen. Zeker tijdens de nacht kan deze grootheid sterk variëren. In principe kan ook gesteld worden dat de nachtwaarde 5 dB lager is dan de dagwaarde zodat de grootheid gelijk is aan de waarde van de dag. Zulke beknopte metingen kunnen soms wel sterk afwijken van de werkelijke

geluidsbelasting op gevels over langere termijn en zijn dan ook louter indicatief. Enkel op sites waar het geluidsniveau zeer weinig schommelt (bv vlak naast autosnelweg met vlot verkeer) kunnen ze representatief zijn.

- De afleiding ervan uit de referentiemeting gebeurt op basis van rekenregels die enkel geldig zijn voor enkele eenvoudige situaties en alleen gelden voor verkeerslawaai. Voor ingewikkelder situaties zou deze grootheid kunnen bepaald worden aan de hand van akoestische modellen, maar deze modellen zijn niet gebaseerd op deze grootheid.

In het ontwerpvoorstel van nieuwe Belgische norm prNBN S 01-400-1 (2019) voor woongebouwen gebruikt men analoge grootheden $L_{A,day}$ en $L_{A,night}$ met als verschil dat ze apart worden bepaald voor de dagperiode en voor de nachtperiode. Deze grootheden hebben echter juist dezelfde nadelen als de grootheid L_A van de huidige norm. In dit ontwerp stelt men ook voor gebruik te maken van de Europese grootheden L_{day}, L_{night} en L_{den}. Deze grootheden kunnen wel zowel via metingen als berekeningen bepaald worden. Wanneer dit via metingen zou gebeuren, dan zegt de norm niets over de meetduur . Het voordeel is wel dat er een bepaalde periode kan gemeten worden en dat deze metingen kunnen vergeleken worden met de berekening in eenzelfde locatie aan de hand van een akoestisch model van de site. Vergelijking met de gepubliceerde geluidskaarten kan enkel voor de grootheden L_{den} en L_{night}, niet voor L_{day}. Over deze geluidsbelastingskaarten zegt deze norm het volgende in de informatieve bijlage D: '*Aangezien de geluidbelastingskaarten het resultaat zijn van een modelberekening en slechts globaal rekening houden met verschillende parameters zoals verkeersintensiteit, type verkeer, type wegdek en geometrie van de omgeving, zijn ze niet bijzonder geschikt om de exacte gevelbelasting ten gevolge van wegverkeer of spoorwegverkeer voor een specifieke locatie te bepalen. De geluidbelastingskaarten kunnen echter wel gebruikt worden om eerste richtwaarden voor de gevelisolatie te bepalen. Voor luchtverkeer is er minder onzekerheid omdat de geluidsbronnen beter gekend zijn en afscherming en reflectie van naburige gebouwen en objecten een kleinere invloed hebben op de gevelbelasting.*'

Het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift hanteert de grootheden L_{day} en L_{night}. In het kader van de toepassing binnen MER (en ook de luchthavenproblematiek) is het de bedoeling deze te bepalen via berekeningen. Het model kan dan getoetst worden op basis van metingen in referentiepunten of in meetstations zoals deze van Brussel-Nationaal. Bij dit laatste is er steeds controle nodig van een gelijkwaardige input bij de berekeningen en meting.

In het alternatief voorstel wordt uitgegaan van een geluidsbelasting gekarakteriseerd door L_{den}. Dit kan bepaald worden aan de hand van berekeningen via een model en in principe ook via de huidige geluidsbelastingskaarten. Dit laatste is af te raden zoals hoger in deze studie is gebleken.

Tot slot is er ook nog een grootheid die de piekbelasting op gevels moet karakteriseren. In alle voorgaande normen en voorstellen wordt gebruik gemaakt van de grootheid $L_{Amax,nx}$, bepaald tijdens de nachtperiode. Afhankelijk van de NBN norm of voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is n=1, 3 of 5. Deze grootheid heeft een aantal grote nadelen:

- In principe is hij enkel nauwkeurig te bepalen aan de hand van een meting en dan nog. Hoe langer een meting duurt, des te hoger kan deze waarde zijn. Daarom is het zinvoller om uit te gaan van bijvoorbeeld een gemiddelde van de maximale waarden van al de nachten dat er gemeten werd. Dit zou eenduidig moeten gedefinieerd worden.

- Zelfs al beschikt men over metingen, dan is het niet altijd eenvoudig om vast te stellen welke pieken afkomstig zijn van vliegtuigen of treinen. Bij metingen over lange meetperiodes vraagt dit ook veel werk om al deze pieken te bepalen. Ook hier zou een meer eenduidige bepaling nuttig zijn.
- Piekgeluiden kunnen toevallig al dan niet meer of minder of niet aanwezig geweest zijn tijdens de meetduur. Jaargemiddelde waarden van pieken zijn dan ook moeilijk vast te leggen en kunnen in principe enkel via een meting over een volledig jaar zoals gebeurt in de meetpunten rond de luchthaven van Brussel-Nationaal. Bij metingen over een beperktere meetperiode is men nooit zeker dat de optredende pieken representatief geweest zijn voor een jaargemiddelde waarde.
- Piekgeluiden zijn enkel geldig in het meetpunt. Het is moeilijk en niet eenduidig om deze aan de hand van de meting in één punt ook te bepalen op andere plaatsen.
- Tenslotte bestaan er ook geen rekenprogramma's die piekgeluiden berekenen. Enkel schattingen zijn mogelijk.

Elk van deze grootheden werd grondig geëvalueerd in dit deel. Dit gebeurde met behulp van 6 verschillende cases. Elk van deze 6 cases betreft een verkeerssite met druk verkeer, afkomstig van wegverkeer en/of tramverkeer en/of spoorverkeer. Bij elk van deze cases werd in 2 of 3 referentiepunten het geluidsdrukniveau gemeten op basis van $L_{Aeq,1s}$, en dit over de periode van ca. 1 week. Het betreffen meetpunten in het open veld zonder gevelreflecties en metingen vlak bij gevels (inclusief gevelreflecties). De meeste metingen werden uitgevoerd op 4 m hoogte; enkele aan hoger gelegen verdiepingen van woningen.
Met behulp van deze metingen werd voor elke meting elk van de boven vermelde grootheden voor gevelbelasting en piekbelasting bepaald.
Bijkomend beschikte Tractebel nog over gelijkaardige metingen op andere sites over een langere periode. Ook voor deze metingen werden dezelfde grootheden afgeleid om een grotere steekproef te bekomen.

Vervolgens werden de resultaten van de metingen van de cases ook vergeleken met de geluidsniveaus zoals deze op de strategische geluidskaarten opgesteld in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG kunnen worden afgelezen. Het betreffen L_{night} en L_{den}. Omdat deze kaarten niet altijd makkelijk en eenduidig afleesbaar zijn op de plaatsen waar de metingen werden uitgevoerd, werd met behulp van de invoergegevens van deze geluidskaarten de berekeningen opnieuw uitgevoerd voor de exacte locatie. Op deze locaties bleken er toch vaak opmerkelijke verschillen te bestaan tussen deze kaarten en de gemeten waarden en werd er gezocht naar oorzaken die deze verschillen kunnen verklaren. Het betreffen voornamelijk aanpassingen zoals deze op de site konden worden vastgesteld. Met de gevalideerde geluidsmodellen werden er dan simulaties gemaakt met de inplanting van nieuwe gebouwsituaties om het effect van de ligging van deze gebouwen op de gevelbelasting te kunnen begroten.

De vergelijking met strategische geluidskaarten en de uitgevoerde simulaties leiden tot de volgende vaststellingen:
- De overeenkomsten tussen uitgevoerde metingen en aflezing in dezelfde locaties op de bestaande geluidskaarten, opgesteld in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai, blijken niet altijd zo goed te zijn. Hiervoor zijn er verschillende redenen (zie §5.4.1). Zij zijn dan ook niet te gebruiken om de gevelbelasting rechtstreeks op af te lezen.
- Deze stategische geluidsbelastingskaarten geven enkel het geluidsdrukniveau op een hoogte van 4m. Dit komt niet overeen met de hoogte van de referentiewaarde L_{Aref} die gevraagd wordt in de huidige of de ontwerpnorm (2m). In de meeste gevallen is het verschil op andere hoogtes niet zo groot zoals uit de

simulaties blijkt, maar soms kunnen bepaalde bronnen afgeschermd zijn bij andere hoogtes wat andere resultaten kan geven.
- Vervolgens laten de bestaande geluidskaarten ook niet toe om het geluidsniveau af te lezen op plaatsen waar het terrein en de gebouwen veranderen: geluidsbelasting op nieuwe gebouwen, het inplanten van verscheidene gebouwen, afbreken van bestaande gebouwen, … zoals duidelijk uit de simulaties blijkt.
- Tot slot bestaan er ook geen geluidskaarten van gans Vlaanderen. Op veel plaatsen kan er dan ook geen gebruik van gemaakt worden.

De bestaande strategische geluidsbelastingskaarten opgesteld in het kader van de Europese richtlijn 2002/49/EG zijn dan ook enkel maar indicatief te gebruiken, maar zijn zeker niet geschikt voor een (nauwkeurige) bepaling van de gevelbelasting bij nieuwe bouwprojecten en voor aanwending bij de bepaling van de nodige gevelisolaties.

Simulaties met behulp van akoestische rekenprogramma's zijn wel meer geschikt voor het bepalen van gevelbelastingen. Deze simulaties moeten echter aan verschillende voorwaarden voldoen om voldoende betrouwbaar te zijn:
- Zo moeten de invoergegevens voldoende nauwkeurig overeenkomen met de werkelijkheid. Dit geldt zowel voor de geometrie, als voor de geluidsbronnen, als voor de akoestische karakteristieken van de materialen (absorptie bodem, wegen, gevels, …) en de meteo-omstandigheden. Dit wordt ook steeds best ter plaatse geverifieerd.
- Daarbij moet ook het terrein dat gesimuleerd wordt voldoende groot zijn. Niet enkel de wegen waarlangs de gebouwen opgetrokken worden maar ook verder af gelegen verkeerswegen moeten deel uit maken van de simulatie. Zo zal het geluidsniveau van drukke autosnelwegen nog op grote afstanden een invloed hebben, zeker wanneer deze weg niet afgeschermd wordt. Er dient dan ook vastgelegd te worden welk minimum terreinoppervlak in rekening is te brengen bij het uitvoeren van simulaties.
- De simulaties worden ook best getoetst aan de bestaande situatie. Metingen over een voldoende lange periode, geven interessante informatie over het verloop van het geluidsniveau over een etmaal. Deze metingen zijn dan wel uit te voeren op representatieve locaties die dan kunnen vergeleken worden met dezelfde locatie in de simulatie. Metingen van korte duur (bv een uur) elders op het terrein, en afkomstig van dezelfde bronnen, kunnen bijkomende info geven in andere meetpunten door vergelijking met de meetresultaten van het meetpunt van lange duur over dezelfde periode. Beide types metingen laten toe het model bij te sturen indien nodig. Dit kan echter enkel wanneer de omgevingsparameters van de metingen gelijkaardig zijn aan deze van de simulatie (zie hoger).
- Om de geluidsbelasting aan (nieuwe) gebouwen te kennen moeten deze simulaties ook uitgevoerd worden voor de nieuwe situatie met de toekomstige inplanting van gebouwen. Volgens de uitgevoerde simulaties zijn de verschillen in geluidsniveau over de hoogte van de gevels meestal niet zo belangrijk, en zou een simulatie op één hoogte kunnen volstaan. In sommige situaties kunnen er echter toch wel grotere verschillen optreden. Dit is voornamelijk het geval bij al dan niet afschermende effecten van gebouwen in de omgeving. Het is dan ook veilig de simulaties uit te voeren op verschillende hoogtes om nauwkeuriger resultaten te bekomen. Indien besloten wordt dat één hoogte kan volstaan dient deze hoogte vastgelegd te worden: 2m zoals gevraagd wordt in de norm of 4m zoals de Europese richtlijn doet, of nog een andere hoogte?
- Tot slot dient ook vastgelegd te worden hoe het buitengeluid is te berekenen of af te lezen: op 2 m van de gevel of het invallend geluid op de gevel? Het buitengeluid vastgesteld op 2m van de gevel houdt in dat ook

het geluid dat gereflecteerd wordt tegen het eigen gebouw mee het buitengeluid bepaalt. Dit is conform de huidige NBN norm en het ontwerp van nieuwe NBN norm. Indien het buitengeluid aan het gebouw enkel bepaald door het invallend geluid, zonder reflecties van het eigen gebouw dan spreekt men over de gevelbelasting. In dat geval dient het bekomen resultaat met 3 dB verhoogd te worden volgens de NBN normen. In principe zijn beide methodes geldig, maar steeds moet duidelijk aangegeven worden op welke manier het buitengeluid wordt bepaald.

Simulaties van nieuwe (gebouwen)situaties laten toe de toekomstige geluidsniveaus aan of ter hoogte van de verschillende gevels te berekenen. Dit is veel nauwkeuriger dan wat de huidige NBN norm of het ontwerp van nieuwe NBN norm berekent aan de hand van rekenregels die gegeven worden in de bijlagen van de normen. Deze zijn enkel geschikt voor eenvoudige situaties met slechts één vrijstaand gebouw (geen reflecties of afschermingen) en enkel van toepassing voor een eenvoudige situatie van wegverkeer.
De eenvoudige rekenregels van bijlagen van de NBN normen komen wel overeen met gelijkaardige situaties die gesimuleerd werden, zij het eerder conservatief. De voornaamste kenmerken die uit de berekeningen van de gevelbelasting blijken, zijn:

- Aan de gevels gelegen aan de verkeersweg zijn er weinig verschillen over de hoogte van de gevel. Globaal blijft dit beperkt tot 1 à 2 dB over de hoogte van de gevel, zelfs bij hoge gebouwen. Dit is geldig voor vlakke gevels. De invloed aan hellende daken werd evenwel niet onderzocht.
- Langs vrijstaande zijgevels is er, zonder afschermingen, een afname die al vlug 3 dB bedraagt en bij diepere gebouwen nog sterker kan afnemen. Ook hier is er in de hoogte nauwelijks verschil.
- Langs de achterzijde is de geluidsreductie meestal groter dan wat de norm aangeeft. Zeker wanneer er afgesloten binnenruimtes zijn, kan het geluidsniveau hier veel lager liggen. In de hoogte, over de gevel, is ook hier het verschil beperkt.
- Op de hoeken aan de achtergevels liggende geluidsniveaus meestal wat hoger. Dit is ook het geval wanneer er openingen gemaakt worden bij rijwoningen.
- Naastliggende of achterliggende gebouwen hebben een invloed op de gevelbelastingen. Door geschikte afschermingen kunnen deze geluidsniveaus duidelijk afnemen. Omgekeerd kunnen ze ook aanleiding geven tot bijkomende geluidsreflecties. Meestal is het effect daarvan beperkt.
- De geschikte inplanting van gebouwen kan ook zorgen voor grotere gebieden met lagere geluidsniveaus zodat hier een rustiger omgeving kan bekomen worden. Wanneer het lawaai echter komt van weerszijden van een terrein, met vergelijkbare bronintensiteiten, dan is dit echter moeilijker te realiseren. Enkel sterk aaneengesloten bebouwing kan dan hier het geluidsniveau op het achterliggend terrein en achtergevels voldoende reduceren.

Rekenmodellen hebben dan ook een belangrijke toegevoegde waarde om de geluidsbelastingen aan de toekomstige gebouwen en geluidsbelastingen over het terrein te kunnen beoordelen en zo te komen tot voorstellen van inplantingen van gebouwen die én beter zijn om de gevelbelasting te beperken én om de geluidsbelasting op een zo groot mogelijk terrein te verminderen.

De verschillende grootheden die de geluidsbelastingen karakteriseren in de verschillende NBN normen en voorstellen en waarvan de waarden berekend werden in de meetpunten van de verschillende cases en in de meetpunten van bijkomende vroegere metingen, werden ook onderling met elkaar vergeleken voor elk meetpunt. Om correcte vergelijkingen te maken werden de waarden aangepast waar nodig met een factor -3 of

+3 dB om ofwel gemeten gevelreflecties uit te schakelen ofwel om gevelreflecties toe te voegen bij metingen in het vrije veld, en dit afhankelijk van het soort grootheid en norm of voorstel.
Tussen de verschillende grootheden zijn er een aantal verbanden, die redelijk aansluiten met de verbanden die ook in het ontwerp van nieuwe norm prNBN S01-400-1 (2019) worden gehanteerd. Deze verbanden zijn echter gebaseerd op gemiddelde waarden, in praktijk kunnen er toch soms belangrijke afwijkingen optreden. Het is dan niet zo eenduidig en correct om over te gaan van één grootheid naar een andere of criteria te gebruiken die kunnen bepaald worden aan de hand van verschillende grootheden. Beter is één enkele grootheid te gebruiken die de representatieve gevelbelasting tijdens respectievelijk de dag- en nachtperiode geeft of een grootheid die beide bevat. Dit om de verschillen te beperken.

Aan de hand van deze verschillende grootheden worden de criteria voor de gevelisolaties vastgelegd. De beide NBN normen en ook het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift en het alternatief voorstel geven deze criteria van gevelisolatie op basis van de grootheid D_{Atr}. Aan de hand van de verschillende grootheden die afgeleid werden uit de metingen van de cases en van vroegere studies werd voor elk meetpunt de D_{Atr} waarde berekend volgens de verschillende normen en voorstellen. Deze berekeningen werden respectievelijk gedaan voor de dagruimten, de nachtruimten zonder invloed van piekbelastingen en voor de nachtruimten met invloed van pieklawaai.

Voor de dagruimten leidt dit tot volgende vaststellingen:
- De verschillen tussen de hoogste en laagste D_{Atr}-waarden van elke meting apart situeren zich tussen 2 en 9 dB, waarbij 9 dB een exceptionele waarde is. Zonder deze waarde ligt het verschil tussen 2 en 6 dB.
- Bij nagenoeg alle metingen geeft het aanvullend criterium de hoogste waarden, maar deze waarden verschillen zeer weinig met deze van de huidige norm NBN S01-400-1 (2008). Gemiddeld zijn de eisen meestal 1 dB strenger.
- De criteria van het ontwerp van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) zijn gemiddeld 0 tot 4 dB minder streng dan de strengste eis behalve bij de eis van spoorlawaai.
- Er is slechts weinig verschil tussen de isolatie-eisen berekend via L_{Aday}, L_{day} en L_{den} (weglawaai) van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019). De verschillen variëren tussen 0 en 3 dB. Meestal geeft de meting via L_{Aday} een iets hogere waarde.
- De eisen voor spoorweglawaai zijn steeds de laagste in het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019). Zij liggen gemiddeld iets lager dan de eisen van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift voor spoorlawaai maar duidelijk lager dan alle andere eisen.
- Het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift is steeds minder streng dan de huidige NBN norm en ook gunstiger dan de meeste eisen van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019). Het is trouwens gelijk aan de eisen van deze laatste norm indien deze rekent met L_{day}, met uitzondering wanneer de minimale waarde van toepassing is. De eisen voor treinverkeer zijn steeds lager.

Voor de nachtruimten zijn de conclusies verschillend. Belangrijk is hier ook dat voor de nachtruimten (slaapkamers) er specifieke eisen zijn, maar dat ook de eisen van dagruimtes op hen van toepassing zijn, tenminste in de NBN normen, niet in de voorstellen. In het alternatief voorstel wordt geen onderscheid gemaakt tussen dag- en nachtruimtes. De eisen zijn gelijk.

Er geldt dan (zonder rekening te houden met de bijkomende eisen van pieklawaai):

- De verschillen tussen de hoogste en laagste D_{Atr}-waarden van elke meting apart situeren zich tussen 4 en 9 dB wat zeer veel is.
- De hoogste geluidsisolatie-eisen worden steeds gevraagd in het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019).
- Wanneer bij dit normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) de eisen berekend worden op basis van $L_{A,night}$ en $L_{A,day}$ dan is zo goed als altijd de nachtwaarde bepalend. Op basis van L_{night} en L_{day} is dit steeds het geval en is de eis voor L_{night} duidelijk strenger. Ook op basis van L_{night} en L_{den} (voor dagruimte) is L_{night} steeds bepalend.
- Sommige eisen van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) zullen moeilijk te realiseren zijn (eisen boven ca. 42 dB).
- De eisen van de huidige norm NBN S01-400-1 (2008) liggen duidelijk lager dan deze van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019).
- De eisen van het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift liggen steeds het laagst, zeker voor treinlawaai. Deze eisen liggen meestal ca. 2 à 4 dB lager dan deze van de huidige norm NBN S01-400-1 (2008).
- Het aanvullend criterium met L_{den} is iets hoger dan dit van de huidige NBN S01-400-1 (2008), maar lager dan het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019).

Bijkomende eisen ten gevolge van piekgeluiden zijn enkel van toepassing bij treinlawaai en vliegtuiglawaai (dit laatste werd hier niet beschouwd) en zijn enkel geldig voor nachtruimten. In de 2 NBN normen gelden deze bijkomende eisen enkel indien de pieken hoger zijn dan 70 dB. In het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift wordt dit niet aangegeven. Uit analyse van de eisen blijkt dat piekgeluiden enkel eventueel kunnen leiden tot strengere eisen indien deze hoger zijn dan 73 dB. In het alternatieve voorstel werd er eveneens een eis gesteld voor piekgeluiden.
De berekende situaties met piekgeluid zijn enkel van toepassing voor sites met treinlawaai, waardoor het aantal onderzochte situaties beperkt zijn.

Uit analyse van de criteria en van de verschillende cases en metingen blijkt:

- In de huidige norm NBN S01-400-1 (2008) leidt een pieklawaai boven 70 dB enkel tot verhoogde eisen bij normaal comfort, indien de gevelbelasting L_A kleiner is dan 68 dB(A). In alle andere gevallen geldt er geen verhoging.
- In het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) geven piekgeluiden enkel strengere eisen bij prestatieniveau 'klasse C' indien:
    - 70 dB < $L_{Amax,3x}$ ≤ 80 dB én L_{Anight} ≤ 61 dB én L_{Aday} ≤ 68 dB of L_{night} ≤ 53 dB én L_{day} ≤ 64 dB is. In de andere gevallen is de normale eis bepalend of de eis van de dagperiode.
    - $L_{Amax,3x}$ > 80 dB én $L_{Amax,3x}$ > L_{Anight} +19 dB én > L_{Aday} +12 dB of $L_{Amax,3x}$ > L_{night} +27 dB én > L_{day} +16 dB. In de andere gevallen is de normale eis bepalend of de eis van de dagperiode.

  Door het feit dat $L_{Amax,3x}$ genomen dient te worden die minstens 1 keer per nacht tijdens een week overschreden wordt kan een piekgeluid redelijk hoog liggen. In de cases en metingen was hierdoor het pieklawaai vaak bepalend voor de gevelisolatie. Dit kan leiden tot hoge waarde voor de gevraagde geluidsisolatie, wat ook blijkt uit de bepalingen van de gevelisolaties uit de gegevens van metingen rond de luchthaven van Brussel-Nationaal.
- In het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift geven pieken enkel een verhoging van de eis indien:

- $L_{Amax,5x} \geq 73$ dB (om hoger te zijn dan de minimale eis van $D_{Atr} \geq 26$ dB) én $L_{Amax,5x} - L_{night} > 20$ dB (om hoger te zijn dan de eis gebaseerd op L_{night});
- Indien er ook wegverkeer aanwezig is dan zijn de normale eisen van wegverkeer 2 dB strenger dan voor treinlawaai. In dat geval geldt: $L_{Amax,5x} \geq 75$ dB én $L_{Amax,5x} - L_{night} > 22$ dB.

In de verschillende onderzochte cases was het piekgeluid nooit bepalend.

- In het aanvullend criterium werd als eis bij pieklawaai gesteld dat $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,\ 23u\text{-}7u}$ (gemiddelde waarde) + 3 dB – 42 dB. Deze eis wordt bepalend wanneer $L_{Amax,5x} \geq 69$ dB en $L_{Amax,5x} \geq L_{den}$ +9 dB, zodat dit al redelijk vlug zal voorkomen en soms tot een belangrijke verhoging van de eis zal leiden.

Globaal worden de eisen van nachtruimten voornamelijk strenger bij het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) en bij het aanvullend criterium. Verhogingen door piekgeluiden komen vooral voor wanneer het buitengeluid laag is. Bij het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) en het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift moeten de waarden van de piekgeluiden al redelijk hoog boven het buitenlawaai liggen om een invloed te hebben. Bij het aanvullend criterium is dit veel minder het geval.

Zoals hoger gesteld heeft de grootheid voor piekbelastingen een aantal grote nadelen (zie hoger) waardoor het moeilijk is om een eenduidige waarde aan elke gevel te bepalen. Het gebruik van deze grootheid is dan ook niet zo evident. In de meeste (onderzochte) landen van Europa blijkt hij ook niet gebruikt te zijn voor de bepaling van gevelbelasting. In de (beperkte) gevallen van treinlawaai die onderzocht werden blijkt dat hij ook nauwelijks invloed heeft op het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift maar wel op het aanvullend criterium en op het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019).

Er werd gepoogd de grootte-orde van een gemiddelde piek van een treinpassage te begroten op basis van het equivalente geluidsdrukniveau van 1 trein/u zoals berekend uit een akoestisch model. Het akoestisch model kan dan berekend worden voor de 3de of 5de luidste trein die voorkomt tijdens de nacht. Uit het berekende geluidsniveau $L_{Aeq,1u}$ kan dan L_{Amax} afgeleid worden via de formule:

$$L_{Amax,nx} = L_{Aeq,1u} - 10\lg\left(\frac{d\pi}{v}\right) - 10\lg\left(\frac{L}{v}\right) + 35.6$$

Met hierin d (m) de afstand tot de trein; v (m/s) de snelheid van de trein; L (m) de treinlengte en $L_{Aeq,1u}$ (dB) het uurlijkse A-gewogen equivalente geluidsdrukniveau van 1 treinpassage van de n-de luidruchtigste trein.

Ook werd er afgeleid dat er volgend verband is tussen de geluidsniveaus in 2 verschillende meetpunten (met d_1 en d_2 de respectievelijke kortste afstand tussen elk van de meetpunten en de bron) :

$$(L_{Amax,2} - L_{Aeq,1u,2}) = (L_{Amax,1} - L_{Aeq,1u,1}) + 10\ log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

Indien $L_{Amax,1}$ en $L_{Aeq,1u,1}$ wordt bepaald door een meting in één meetpunt dan kan ook $L_{Amax,2} - L_{Aeq,1u,2}$ op een andere locatie bepaald worden. Indien vervolgens $L_{Aeq,1u,2}$ berekend wordt in deze locatie via bijvoorbeeld een simulatieprogramma, dan kan ook op deze plaats $L_{Amax,2}$ afgeleid worden via bovenstaande formule.

9 BELEIDSAANBEVELINGEN

9.1 ALGEMENE OVERWEGINGEN

Binnen de toepassing van het nieuwe ontwerp afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen, is het wenselijk om te komen tot een meer eenduidige toepassing van isolatiecriteria in situaties met dominant weg-, spoor of luchtverkeersgeluid. Hierbij is de voorkeur om de eisen met betrekking tot de vereiste gevelisolatie (D_{Atr}) uit te drukken in functie van de berekende immissieniveaus zoals die in het kader van het MER voortvloeien uit een overdrachtsberekening met een rekenmodel. De immissieniveaus die binnen het MER-afwegingskader geëvalueerd worden zijn berekende immissieniveaus, beoordeeld als 'invallend geluid', en uitgedrukt in jaargemiddelde EU-indicatoren (L_{day}, $L_{evening}$, L_{night} en L_{den}).
Dit heeft geleid tot volgend ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift dat in grote lijnen gebaseerd is op de oorspronkelijke voorstellen uit de referentiestudie (2003) uitgevoerd onder leiding van de KU Leuven (met latere aanpassingen):

Te beschermen ruimte	**Eis met betrekking tot de gevelisolatie D_{Atr}**
Algemeen (absolute ondergrens, onafhankelijk van gevelbelasting en van type bron)	
Dag- en nachtruimten	$D_{Atr} \geq 26$ dB
Wegverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 33$ dB
Nachtruimten	$D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 28$ dB
Spoorverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 35$ dB
Nachtruimten	Hoogste waarde van: $D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 30$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u} +3 - 50$ dB
Luchtverkeerslawaai	
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day} +3 - 30$ dB
Nachtruimten	Hoogste waarde van: $D_{Atr} \geq L_{night} +3 - 25$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u} +3 - 45$ dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,1x,23\text{-}07u} +3 - 50$ dB

Tabel 30: Criteria van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift

Het doel van voorliggende studie bestaat erin om het bovenstaande ontwerp van (gewestelijk) isolatievoorschrift voor weg-, spoor- en luchtverkeersgeluid nader te evalueren, uit te werken, indien nodig aan te passen en op punt te stellen in functie van een doelmatige toepassing binnen het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen (en bij uitbreiding ook in andere situaties als uitgangspunt voor opname in andere instrumenten).

Hiertoe werden de verschillende grootheden en de waarden, van zowel dit ontwerp als van deze van de huidige norm NBN S01-400-1 (2008), van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) en van het aanvullend voorstel, geëvalueerd en met elkaar vergeleken, en nagegaan op welke manier waarden voor deze grootheden kunnen vastgesteld worden. Uit het onderzoek uitgevoerd in voorliggende deel 2 van deze studie kunnen navolgende conclusies getrokken worden met betrekking tot dit ontwerp.

1. De grootheid D_{Atr}

Deze grootheid die het gewogen, gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil voor een gevelvlak met het typespectrum voor wegverkeerslawaai (volgens NBN EN ISO 717-1: 2013) geeft, is een geschikte grootheid voor het vastleggen van eisen van gevelisolatie die ook internationaal gebruikt wordt en internationaal aanvaard is.
Zoals hoger gedefinieerd (zie §4.3) geldt:

$$D_{Atr} = D_{2m,nT} + C_{tr} = L_{1,2m} - L_2 + 10\lg\frac{T}{T_0} + C_{tr}$$

Met:

- $L_{1,2m}$: het geluiddrukniveau gemeten op 2 m loodrechte afstand van het centrum van het gevelvlak (dB)
- L_2 : het gemiddelde geluiddrukniveau in de verblijfsruimte (dB)
- T : de nagalmtijd in de verblijfsruimte in seconden (s)
- T_0 : de referentienagalmtijd in seconden (s) = 0.5s voor verblijfsruimten van woongebouwen
- C_{tr}: een spectrale aanpassingsterm (dB)

Belangrijk hierbij is dat deze grootheid geldig is voor de volledige gevel die de verblijfsruimte scheidt van de buitenomgeving waar een geluidsbelasting optreedt. In deze zin dient het ontwerp duidelijk te specifiëren dat het criterium opgelegd wordt aan de gehele gevel en niet aan elk gevelvlak apart. Hierbij dient wel rekening gehouden worden met het feit dat er aan elk gevelvlak verschillende geluidsbelastingen kunnen optreden.
Om D_{Atr} in situaties met meerdere gevelvlakken met verschillende geluidsbelasting te bepalen kan als volgt te werk gegaan worden:

Indien $L_{1,2m}$ het geluiddrukniveau is dat op 2m van het hoogste belaste gevelvlak wordt gemeten en indien $L_{j,2m}$ het geluidsdrukniveau is dat op 2m van gevelvlak j wordt gemeten, dan kan voor elk gevelvlak een gevelfactor $C_{L,j}$ (dB) gedefinieerd worden als volgt:

$$C_{L,j} = L_{1,2m} - L_{j,2m}$$

Dus ook:

$$C_{L,1} = 0$$

Of indien uitgegaan wordt van de gevelbelasting, waarbij $L_{den,1}$ de gevelbelasting is van het hoogst belaste gevelvlak en $L_{den,j}$ de gevelbelasting aan gevelvlak j, dan is:

$$C_{L,j} = L_{den,1} - L_{den,j}$$

En ook:

$$C_{L,1} = 0$$

Er kan dan bewezen worden dat het gewogen, gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil voor de volledige gevel met het typespectrum voor wegverkeerslawaai (D_{Atr}) bepaald kan worden uitgaande van het gewogen, gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil van elk gevelvlak met het typespectrum voor wegverkeerslawaai ($D_{Atr,j}$) met de volgende formule:

$$D_{Atr} = -10\log\left(\sum_{j=1}^{n} 10^{-\frac{D_{Atr,j}+C_{L,j}}{10}}\right)$$

Waarbij $D_{Atr,j}$ het gewogen, gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil met het typespectrum voor wegverkeerslawaai is voor een elk gevelvlak j, n het aantal gevelvlakken en $C_{L,j}$ een gevelvlakfactor die de variatie van de geluidbelasting van de werkelijke geluidsbron over de verschillende gevelvlakken kenmerkt. De gevelvlakfactor van een gevelvlak is het verschil tussen de geluidsbelasting op het meest blootgestelde gevelvlak en de geluidsbelasting op het beschouwde gevelvlak. Voor het meest geluidsbelaste gevelvlak is de gevelvlakfactor nul. Voor de andere gevelvlakken is de gevelvlakfactor steeds positief.

2. <u>De grootheden die de equivalente gevelbelasting karakteriseren</u>

De kenmerkende grootheden die het buitenlawaai karakteriseren van de huidige norm NBN S01-400-1 (2008), van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) en van het voorstel van gewestelijk isolatie voorschrift werden onderzocht. Hieruit blijkt dat het belangrijk is dat:

- Het is een grootheid die duidelijk en éénduidig vastgelegd wordt:
    - Bevat deze grootheid al dan niet gevelreflecties: wordt hij vastgesteld op een afstand van de gevel met gevelreflecties, zo ja op welke afstand; of wordt hij bepaald als invallend geluid (zonder reflecties)
    - Waar word deze grootheid bepaald: ter hoogte van elk gevelvlak van elke ruimte, ….
    - Voor welke periode is deze grootheid geldig indien een etmaal gekarakteriseerd wordt met verschillende grootheden: tussen 22u-06u, 23u-07u, …
- Het een grootheid is die representatief is voor de gevelbelasting van een verblijfsruimte. Hij moet zodanig kunnen vastgesteld worden of bepaald dat hij representatief voorkomt gedurende lange periodes en niet gebaseerd op een toevallige of tijdelijke situatie.
- Hij moet kunnen berekend worden via een overdrachtsberekening met een rekenmodel en eventueel gecontroleerd door metingen.

De grootheden L_A, L_{Aday} en L_{Anight} die gebruikt worden in de huidige norm of ontwerp van nieuwe norm beantwoorden niet aan deze kenmerken. Dit is wel het geval voor de grootheden L_{den}, $L_{d(ay)}$, $L_{e(vening)}$ en $L_{n(ight)}$. De grootheid $L_{e(vening)}$ als aparte grootheid die gebruikt wordt om een waarde van gevelisolatie vast te leggen biedt hier weinig meerwaarde. Hij is enkel nodig om L_{den} te berekenen. Ook in andere landen wordt hij niet gebruikt. De andere grootheden zijn wel geschikt. Zij worden ook gebruikt in rekenmodellen en laten toe een waarde te bekomen die representatief voor een lange periode.

3. <u>De grootheden die de piekbelasting aan gevels karakteriseren</u>

In de huidige norm NBN S01-400-1 (2008), het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) en het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift wordt steeds gebruik gemaakt van $L_{Amax,nx}$ voor het bepalen van een piekbelasting tijdens de nachtperiode aan de gevels van nachtruimten. Deze piekbelasting zorgt voor een extra eis voor de gevelisolatie voor de nachtruimten, maar enkel bij het voorkomen van spoorverkeerslawaai en luchtverkeerslawaai. In het kader van dit onderzoek ligt de focus van piekgeluiden op spoorverkeerslawaai. Zoals

uit voorgaand onderzoek blijkt kan dit pieklawaai uit metingen bepaald worden, maar metingen geven enkel informatie voor de meetperiode waarover gemeten werd, zonder de zekerheid dat deze piekgeluiden representatief zijn voor en langere periode.
Het bepalen van piekgeluiden afkomstig van treinen kan ingeschat worden met behulp van een theoretisch verband tussen de $L_{Aeq,1u}$-waarde van een treinpassage en de L_{Amax}-waarde van deze passage. Door de berekening van de $L_{Aeq,1u}$-waarde van één treinpassage van de n-de luidruchtigste trein te bepalen op elke plaats van de gevel kan dan ook de L_{Amax}-waarde van deze treinpassage begroot worden uitgaande van zijn lengte, zijn snelheid en de afstand tot het waarneempunt. Deze methode vraagt wel wat inspanning en de nauwkeurigheid hiervan werd nog niet onderzocht. De methode is ook gebaseerd op het lawaai dat afkomstig is van het gemiddelde geluidsvermogen van de passage van de betreffende trein. In praktijk kunnen slijtage van wielen, oneffenheden van sporen, meerdere locomotieven, … aanleiding geven tot hogere piekniveaus bij metingen.

De vraag die zich stelt is of deze grootheid moet meegenomen worden voor het vastleggen van eisen van gevelisolatie, gezien de moeilijkheidsgraad om deze eenduidig vast te leggen en te bepalen. In veel landen wordt hiermee geen rekening gehouden.
Het piekgeluidencriterium gehanteerd voor vliegtuiggeluid uit het ontwerp isolatievoorschrift is in de meeste situaties WEL maatgevend. Voor vliegtuiggeluid kunnen piekgeluiden in principe wel berekend worden (ook internationaal wordt dit in gedaan), maar dit vraagt een gestuurde aanpak vanuit de overheid die moet instaan dat deze gegevens ook structureel (periodiek) berekend en desnoods opnieuw geëvalueerd worden in functie van de toepassing van een isolatievoorschrift (in de omgeving van een specifieke luchthaven).

4. <u>Dag- en nachtruimten</u>

In de norm NBN S01-400-1 (2008), het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) en het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift worden er aparte of bijkomende eisen gesteld aan de gevelisolatie van nachtruimten waarmee slaapkamers worden bedoeld. Indien hierin een onderscheid gemaakt wordt dan is het belangrijk dat:

- Aangegeven wordt welke ruimten als nachtruimte zijn te beschouwen
- Aangegeven wordt of nachtruimten ook aan de eisen van dagruimten moeten voldoen of niet. Het is logisch dat het binnenniveau in nachtruimten lager is dan in dagruimten. Wanneer eenzelfde geluidsisolatie opgelegd wordt aan de geluidsisolatie van de nachtruimten als aan de dagruimten dan zal dit het geval zijn wanneer de gevelbelasting tijdens de nachtperiode lager ligt dan tijdens de dagperiode. In praktijk is dit praktisch altijd het geval. Situaties waarbij dit niet het geval is zijn veroorzaakt door piekgeluiden afkomstig van vliegtuigen of treinverkeer. Dit is één van de redenen waarom het ook nuttig is om bijkomende eisen op te leggen ter reductie van piekgeluiden naar nachtruimten, zodat ook in die situaties een betere geluidsisolatie wordt bekomen.

Ook dient afgevraagd te worden of er een onderscheid moet gemaakt worden tussen dag- en nachtruimten. Vaak is bij MER-studies immers nog niet bepaald welke ruimten nachtruimten zullen zijn. Ook kunnen in de toekomst de functies van ruimtes nog veranderen. Wat in het geval van casco woningen? Een voorstel zonder dit onderscheid is dan logischer. Het aanvullend criterium gaat hiervan uit.

5. <u>De eisen voor D_{Atr}</u>

De eisen voor D_{Atr} die in het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift worden opgelegd zijn afhankelijk van:

- Het feit of het wegverkeerslawaai, spoorverkeerslawaai of vliegtuigverkeerslawaai betreft.

- Het feit of het dag- of nachtruimten betreft
- Het feit of er piekgeluid al dan niet aanwezig is.

Daarenboven wordt er ook een minimale eis opgelegde. Voor elk van deze aspecten wordt er hieronder een beoordeling gegeven.

5.a. Onderscheid in functie van de aard van het lawaai

Het voorstel geeft verschillende eisen afhankelijk of het wegverkeerslawaai, spoorverkeerslawaai of vliegtuigverkeerslawaai betreft. Dit heeft als nadeel dat:

- In situaties waarbij 2 of 3 van deze bronnen voorkomen is het niet duidelijk welk van de criteria dient gekozen te worden. De gevelbelasting zou dan bijvoorbeeld voor elk van deze bronnen apart kunnen bepaald worden en de hoogste waarde bepaalt dan de gevelisolatie. Dit is bijvoorbeeld het geval in Denemarken. Dit is echter enkel mogelijk bij berekeningen maar niet voor metingen.
- Wanneer de gevelisolatie van elke verschillende bron apart wordt bepaald dan is het de vraag of de isolatie dan voldoende is wanneer alle bronnen gelijktijdig voorkomen. Indien de eisen brononafhankelijk zijn (zoals in het aanvullend criterium), kunnen eenvoudige cumulatieregels toegepast worden, waarbij de hoogste waarde voor D_{Atr} verhoogd wordt in functie van het verschil tussen de D_{Atr} waarden voor de bronnen afzonderlijk. Cfr. de Franse regels bij blootstelling aan meerdere verkeersassen.[17]

De criteria voor spoorweglawaai van het voorstel van ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift zijn 2 dB minder streng dan deze van wegverkeerslawaai. In de onderzochte situaties werd er geen duidelijk verschil vastgesteld tussen beiden. Dit was misschien te wijten aan het feit dat in de meeste situaties beide geluidsbronnen ook niet voldoende van elkaar onderscheiden waren bij de verschillende situaties. Maar ook bij twee van de (vroegere) metingen waarbij de geluidsbelasting hoofdzakelijk te wijten was aan treinlawaai was er dit verschil niet. Het aantal onderzochte situaties is echter te beperkt om uitsluitsel te geven over de noodzaak van een apart criterium. Eventueel zou een apart criterium voor spoorweglawaai kunnen opgelegd worden voor situaties waarbij duidelijk is dat de gevelbelasting helemaal of in hoofdzaak bepaald wordt door dit treinverkeer. Tot slot geldt dat het criterium voor spoorverkeerslawaai 2 dB minder streng is dan dat van wegverkeerslawaai. Door voor alle situaties eenzelfde criterium op te leggen, namelijk dat van wegverkeerslawaai, dan wordt het spoorverkeerslawaai in verhouding meer gereduceerd naar de verblijfsruimten. Omdat treinlawaai bepaald wordt door individuele passages van aparte treinen, die op het ogenblik van passage aan de gevel(s) van de verblijfsruimte ook piekgeluiden veroorzaken, zal deze situatie toch al vaak bepaald worden door dit piekgeluid in het geval van nachtruimten. Indien het piekgeluid niet bepalend is of naar dagruimtes zal een 2 dB hogere geluidsisolatie ook het voordeel hebben dat het geluid tijdens een passage, dat hoger ligt dan het equivalente geluidsdrukniveau, ook bijkomend verlaagd worden.

Om alle voorgaande redenen lijkt het beter om eerder eenzelfde eis op te leggen voor spoor- en wegverkeerslawaai. Dit ligt ook in de lijn van de recente publicatie van de wereld gezondheidsorganisatie (WHO) die 1 dB strengere aanbevelingen geeft voor spoorweglawaai dan voor wegverkeerslawaai.[18] Voor luchtverkeerslawaai kan een strengere eis gekozen worden maar dan is het logischer deze enkel op te leggen aan het lawaai afkomstig van vliegtuigen, niet aan het totale geluidsniveau aan een gevel. De gegevens van vliegtuiglawaai zijn immers ook apart beschikbaar en worden ook in de rekenmodellen niet samen met andere bronnen berekend. Uit de enkele meetgegevens van Brussel Nationaal blijkt dat de eisen volgens het ontwerp

[17] https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00810560/document
[18] http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1

van gewestelijk isolatievoorschrift minder streng zijn dan deze die bijvoorbeeld volgens het ontwerp van nieuwe norm prNBN S01-400-1 (2019) nodig zijn. Of dan ook dezelfde eisen als voor weg- en spoorverkeerslawaai kunnen toegepast worden vraagt een meer diepgaande evaluatie met toepassing van de criteria in meerdere cases van vliegtuiglawaai (waarvoor in dit onderzoek geen ruimte voor was).

5.b. Onderscheid tussen eisen voor dag- en nachtruimten

Het voorstel van gewestelijk isolatievoorschrift gebruikt 2 aparte grootheden $L_{d(ay)}$ en $L_{n(ight)}$ voor het opleggen van eisen aan de gevelisolatie.
In het geval van wegverkeerslawaai als gevelbelasting geldt dan voor de dagruimten $D_{Atr} \geq L_{day} +3 – 33$ dB. Het invallende geluid, verhoogd met 3 dB wordt dan gereduceerd tot 33 dB binnen. Voor de nachtruimten is dit 28 dB. Zoals uit de analyses blijkt, liggen deze eisen voor dagruimten in de lijn van de NBN normen waarbij ze redelijk goed aansluiten bij de eisen van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019)en iets minder zijn dan deze van de huidige norm NBN S01-400-1 (2008).
Voor nachtruimten zijn ze deze eisen niet zo streng en zijn ze gemiddeld enkele dB lager dan de huidige norm en nog meer dan het ontwerp van nieuwe norm. Deze is echter zeer streng voor nachtruimten.

Het gebruik van 2 aparte grootheden $L_{d(ay)}$ en $L_{n(ight)}$ voor het opleggen van eisen van gevelisolatie is nauwkeuriger en zal een correctere benadering opleveren van het geluidsniveau dat zal optreden in de ontvangstruimte.
Zoals hoger gezegd is dit onderscheid enkel nuttig indien er een onderscheid gemaakt wordt tussen dag- en nachtruimtes. Wanneer de functie van een lokaal verandert van een dag- naar een nachtruimte zou de gevelisolatie ontoereikend kunnen worden en omgekeerd. De vraag die zich hier stelt is of dit nog eenvoudiger kan door slechts één grootheid te kiezen voor alle ruimtes. De grootheid L_{den} is dan het meest geschikt.
In deze grootheid wordt het nachtlawaai immers reeds 10 dB ‘opgewaardeerd’ waardoor er automatisch een hogere gevelbelasting wordt genomen tijdens de nacht dan in werkelijkheid voorkomt.

Wanneer we uitgaan van de criteria van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift voor verkeerslawaai dan zijn de eisen:

- Voor dagruimten: $D_{Atr} \geq L_{day} + 3 – 33$ dB
- Voor nachtruimten: $D_{Atr} \geq L_{night} + 3 – 28$ dB

In het ontwerp van het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019)werd gesteld dat $L_{day} \approx L_{den} – 1.8$ dB. Dit werd ook teruggevonden in de verschillende metingen die gaven dat $L_{day} \approx L_{den} –$ (0 tot 4 dB).
Wanneer de eerste vergelijking ingevuld wordt in de eis van dagruimten dan geeft dit:

$D_{Atr} \geq L_{day} + 3 – 33$ dB = L_{den} -1.8 + 3 – 33 dB = L_{den} + 3 – 34.8 dB.

Voor de uitgevoerde metingen zou de eis zijn: $D_{Atr} \geq L_{den}$ –(0 tot 4) + 3 – 33 dB = L_{den} + 3 – (33 tot 37) dB.

In het normontwerp prNBN S01-400-1 (2019) is er geen verband tussen L_{night} en L_{den}. In de analyses werd teruggevonden dat in de meeste gevallen $L_{den} \approx L_{night}$ + (7 à 14)dB. Voor de verschillende metingen werd teruggevonden dat dit meestal $L_{den} \approx L_{night}$ + (7 à 11) dB is of gemiddeld $L_{den} \approx L_{night}$ + 9 dB.
Wanneer deze vergelijking ingevuld wordt in de eis van nachtruimten dan geeft dit:

$D_{Atr} \geq L_{night} + 3 – 28$ dB = L_{den} + 9 + 3 – 28 dB = L_{den} + 3 – 37 dB gemiddeld.

Voor de uitgevoerde metingen zou de eis zijn: $D_{Atr} \geq L_{den}$ + (7 tot 11) + 3 – 28 dB = L_{den} + 3 – (35 tot 39) dB.

In beide gevallen is dit niet zo streng, wat ook bleek uit de berekende geluidsisolatie-eisen die ook steeds, zowel voor de dag- als voor de nachtruimten steeds de minst strenge eisen opleverden.

Eenzelfde redenering kan ook op een andere manier gemaakt worden:
Stellen we voor dagruimten dat $D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 33$ dB, dan betekent dit dat een geluidsniveau buiten van L_{day} + 3 dB gereduceerd wordt tot een niveau binnen van 33 dB. Op dezelfde manier wordt in de nachtruimte het buitenlawaai L_{night} + 3 gereduceerd tot 28 dB.
In de veronderstelling dat we een verblijfsruimte hebben waarop beide van toepassing zijn dan is de totale geluidsbelasting binnen over een etmaal (met een verhoging van 10 dB voor de nacht) L_{den} (binnen) = 35.5 dB. Dit komt overeen met een eis: $D_{Atr} \geq L_{den} + 3 - 35.5$ dB, de grootte-orde die we ook in vorige redenering hebben teruggevonden.

In beide gevallen hierboven is de eis minder streng dan deze gesteld in de aanvullende eis:

$$D_{Atr} \geq L_{den} + 3 - 33 \text{ dB}$$

Ter info:
Wanneer de eis van het gewestelijk isolatievoorschrift voor luchtverkeerslawaai voor de dagruimten beschouwd wordt namelijk $D_{Atr} \geq L_{day}$ +3 – 30 dB en hier gesteld wordt dat $L_{den} \approx L_{day}$ + (0.4 tot 7 dB of gemiddeld +3.1 dB (zie hoger metingen vliegtuiglawaai) dan wordt de eis:

$D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 30$ dB = L_{den} - (0.4 tot 7) + 3 – 30 dB = L_{den} + 3 – (30.4 tot 37) dB of gemiddeld:
$D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 30$ dB = L_{den} – 3.1 + 3 – 30 dB = L_{den} + 3 – 33.1 dB

Wanneer de eis voor luchtverkeerslawaai voor de nachtruimten beschouwd wordt namelijk $D_{Atr} \geq L_{night}$ +3 – 25 dB en hier gesteld wordt dat $L_{den} \approx L_{night}$ + (6 tot 10.5) dB of gemiddeld +8.5 dB (zie hoger metingen vliegtuiglawaai) dan wordt de eis:

$D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 25$ dB = L_{den} - (6 tot 10.5) + 3 – 25 dB = L_{den} + 3 – (31 tot 35.5) dB of gemiddeld:
$D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 25$ dB = L_{den} – 8.5 + 3 – 25 dB = L_{den} + 3 – 33.5 dB

Gemiddeld wordt in beide gevallen nagenoeg hetzelfde resultaat bekomen als de aanvullende eis. Dit dient uiteraard met meerdere cases van vliegtuiglawaai getoetst te worden om tot een juiste conclusie te komen.

5.c. Piekgeluiden
Voor het opleggen van eisen gerelateerd aan piekgeluiden kunnen een aantal bedenkingen gemaakt worden:

- De eisen gerelateerd aan piekgeluiden die in het voorstel opgelegd worden zijn gebaseerd op de 5de hoogste representatieve piek (voor vliegtuiglawaai ook de hoogste) die ’s nachts optreedt. Hier kan de vraag gesteld worden of de 5de piek geschikter is dan de 3de piek of een andere. Vermits de nachtperiode gaat van 23u tot 7u zullen er tijdens de ochtend, in geval er treinlawaai aanwezig is, vóór 7u zeker een aantal treinpassages geweest zijn. Wanneer goederentreinen tijdens de nacht voorkomen, die meestal meer lawaai maken, dan is een aantal van 5 al een redelijk aantal.
- Los van dit aantal staat de vraag echter of er een bijkomende eis dient opgelegd te worden. Ook in het geval er geen treinpassages zijn blijken er tijdens de nachtperiode toch ook regelmatig hoge pieken kunnen optreden zoals blijkt uit de piekniveaus die gedetecteerd werden in de onderzochte cases waar geen treinlawaai aanwezig is (zie bijlage).

In beide gevallen is dit niet zo streng, wat ook bleek uit de berekende geluidsisolatie-eisen die ook steeds, zowel voor de dag- als voor de nachtruimten steeds de minst strenge eisen opleverden.

Eenzelfde redenering kan ook op een andere manier gemaakt worden:
Stellen we voor dagruimten dat $D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 33$ dB, dan betekent dit dat een geluidsniveau buiten van $L_{day} + 3$ dB gereduceerd wordt tot een niveau binnen van 33 dB. Op dezelfde manier wordt in de nachtruimte het buitenlawaai $L_{night} + 3$ gereduceerd tot 28 dB.
In de veronderstelling dat we een verblijfsruimte hebben waarop beide van toepassing zijn dan is de totale geluidsbelasting binnen over een etmaal (met een verhoging van 10 dB voor de nacht) L_{den} (binnen) = 35.5 dB. Dit komt overeen met een eis: $D_{Atr} \geq L_{den} + 3 - 35.5$ dB, de grootte-orde die we ook in vorige redenering hebben teruggevonden.

In beide gevallen hierboven is de eis minder streng dan deze gesteld in de aanvullende eis:

$$D_{Atr} \geq L_{den} + 3 - 33 \text{ dB}$$

Ter info:
Wanneer de eis van het gewestelijk isolatievoorschrift voor luchtverkeerslawaai voor de dagruimten beschouwd wordt namelijk $D_{Atr} \geq L_{day} + 3 - 30$ dB en hier gesteld wordt dat $L_{den} \approx L_{day}$ + (0.4 tot 7 dB of gemiddeld +3.1 dB (zie hoger metingen vliegtuiglawaai) dan wordt de eis:

$D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 30$ dB = L_{den} - (0.4 tot 7) + 3 – 30 dB = L_{den} + 3 – (30.4 tot 37) dB of gemiddeld:
$D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 30$ dB = $L_{den} - 3.1 + 3 - 30$ dB = $L_{den} + 3 - 33.1$ dB

Wanneer de eis voor luchtverkeerslawaai voor de nachtruimten beschouwd wordt namelijk $D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 25$ dB en hier gesteld wordt dat $L_{den} \approx L_{night}$ + (6 tot 10.5) dB of gemiddeld +8.5 dB (zie hoger metingen vliegtuiglawaai) dan wordt de eis:

$D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 25$ dB = L_{den} - (6 tot 10.5) + 3 – 25 dB = L_{den} + 3 – (31 tot 35.5) dB of gemiddeld:
$D_{Atr} \geq L_{night} + 3 - 25$ dB = $L_{den} - 8.5 + 3 - 25$ dB = $L_{den} + 3 - 33.5$ dB

Gemiddeld wordt in beide gevallen nagenoeg hetzelfde resultaat bekomen als de aanvullende eis. Dit dient uiteraard met meerdere cases van vliegtuiglawaai getoetst te worden om tot een juiste conclusie te komen.

5.c. Piekgeluiden
Voor het opleggen van eisen gerelateerd aan piekgeluiden kunnen een aantal bedenkingen gemaakt worden:

- De eisen gerelateerd aan piekgeluiden die in het voorstel opgelegd worden zijn gebaseerd op de 5de hoogste representatieve piek (voor vliegtuiglawaai ook de hoogste) die ’s nachts optreedt. Hier kan de vraag gesteld worden of de 5de piek geschikter is dan de 3de piek of een andere. Vermits de nachtperiode gaat van 23u tot 7u zullen er tijdens de ochtend, in geval er treinlawaai aanwezig is, vóór 7u zeker een aantal treinpassages geweest zijn. Wanneer goederentreinen tijdens de nacht voorkomen, die meestal meer lawaai maken, dan is een aantal van 5 al een redelijk aantal.
- Los van dit aantal staat de vraag echter of er een bijkomende eis dient opgelegd te worden. Ook in het geval er geen treinpassages zijn blijken er tijdens de nachtperiode toch ook regelmatig hoge pieken kunnen optreden zoals blijkt uit de piekniveaus die gedetecteerd werden in de onderzochte cases waar geen treinlawaai aanwezig is (zie bijlage).

- Uit de onderzochte cases en metingen bleek dat piekgeluiden niet zo vlug de bepalende factor zijn voor de eis van gevelisolatie in het geval van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift. Dit is wel het geval bij de eis voor pieklawaai die gesteld werd bij het aanvullend voorstel.
- Volgens het criterium dat gebruikt wordt voor spoorweglawaai wordt via dit criterium het pieklawaai gereduceerd tot 50 dB binnen. Dit betekent dat er nog 4 pieken geweest zijn die binnen een geluidsniveau veroorzaken boven 50 dB. Deze eis is dan ook helemaal niet zo streng, zeker niet in vergelijking met de drempel voor slaapverstoring uit de WHO aanbevelingen (WHO NNGL 2009) die uitgaat van 42 dB als maximale overschrijdingswaarde.
- In de meeste andere onderzochte landen wordt bij de eisen geen rekening gehouden met pieklawaai.
- Pieklawaai wordt enkel gebruikt voor nachtruimten. Wanneer de functie naderhand van een ruimte verandert van dagruimte naar nachtruimte dan is de bijkomende eis niet toegepast.
- Uit de meetgegevens van de cases van vliegtuiglawaai blijkt dat de $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ -waarde meestal bepalend is voor de eis van gevelisolatie die aan de nachtruimten wordt opgelegd. Of deze eis kan aangepast worden vraagt een meer diepgaande evaluatie.

9.2 VOORSTEL VOOR AANPASSING VAN HET ONTWERP VAN GEWESTELIJK ISOLATIEVOORSCHRIFT

Uit voorgaande commentaar is duidelijk dat een aantal aanpassingen aan het ontwerp van gewestelijk isolatievoorstel zeker zinvol zijn om tot een eenduidig en geschikt voorstel te komen. Hierbij lijkt het ons heel nuttig om eventueel toch over te stappen naar een sterk vereenvoudigd isolatievoorschrift dat gebaseerd is op L_{den} en dat geen onderscheid maakt tussen dag- en nachtruimten en ook geen onderscheid in de aard van de geluidsbron (met uitzondering eventueel van vliegtuiglawaai). Dit laatste ook omdat in veel situaties dit onderscheid ook moeilijk te maken valt. Een bijkomende eis voor pieklawaai voor de nachtperiode is wel nuttig. Hierbij is dan wel een onderscheid te maken tussen dag- en nachtruimten. In principe zou ook hier de eis voor alle verblijfsruimten kunnen toegepast worden waardoor toekomstige aanpassingen aan verblijfsfuncties dan geen aanpassing van de gevelisolatie vergen. Economisch is dit echter minder interessant omdat pieklawaai-eisen meestal leiden tot strengere criteria.

Het voorstel is dan om het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift aan te passen tot het voorstel van de volgende tabel. Voor luchtverkeerslawaai blijft echter de eis van het gewestelijk isolatievoorschrift behouden. Uit voorgaande beperkte analyses (zie § 6.7 en § 9.1, p153) blijkt dat voor luchtverkeerslawaai eenzelfde vereenvoudiging als in onderstaande tabel voor weg- en spoorverkeersgeluid zeker kan overwogen worden, maar dat deze aanpassing een meer diepgaande evaluatie vraagt met toepassing van de criteria in meer concrete cases van vliegtuiglawaai (waarvoor in dit onderzoek geen ruimte was).

Te beschermen ruimte	Eis met betrekking tot de gevelisolatie D_{Atr}
Weg- en spoorverkeerslawaai	
Verblijfsruimte (dag- en nachtruimten)	$D_{Atr} \geq 30$ dB en $D_{Atr} \geq L_{den}$ +3 – 33 dB
Spoorverkeerslawaai	
Nachtruimten	Hoogste waarde van voorgaande waarden en: $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ +3 – 42 dB
Luchtverkeerslawaai	
Absolute ondergrens verblijfsruimte (dag- en nachtruimten)	$D_{Atr} \geq 26$ dB
Dagruimten	$D_{Atr} \geq L_{day}$ +3 – 30 dB
Nachtruimten	Hoogste waarde van: $D_{Atr} \geq L_{night}$ +3 – 25 dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ +3 – 45 dB $D_{Atr} \geq L_{Amax,1x,23\text{-}07u}$ +3 – 50 dB

Tabel 31: Voorstel van aangepaste (vereenvoudigde) criteria van het ontwerp van gewestelijk isolatievoorschrift

Grootheden

Voor het bepalen van de grootheden van deze tabel geldt er:

- De eis voor D_{Atr} is geldig voor de volledige gevel die de verblijfsruimte scheidt van de buitenomgeving waar een geluidsbelasting optreedt. Het criterium wordt opgelegd aan de gehele gevel en niet aan elk gevelvlak apart. Hierbij dient wel rekening gehouden worden met het feit dat er aan elk gevelvlak verschillende geluidsbelastingen kunnen optreden. Daarom geldt:

$$D_{Atr} = -10\log\left(\sum_{j=1}^{n} 10^{-\frac{D_{Atr,j}+C_{L,j}}{10}}\right)$$

  Waarbij $D_{Atr,j}$ het gewogen, gestandaardiseerde geluiddrukniveauverschil met het typespectrum voor wegverkeerslawaai is voor een elk gevelvlak j, n het aantal gevelvlakken en $C_{L,j}$ een gevelvlakfactor die de variatie van de geluidbelasting van de werkelijke geluidsbron over de verschillende gevelvlakken kenmerkt. De gevelvlakfactor van een gevelvlak is het verschil tussen de geluidsbelasting op het meest blootgestelde gevelvlak en de geluidsbelasting op het beschouwde gevelvlak. Voor het meest geluidsbelaste gevelvlak is de gevelvlakfactor nul. Voor de andere gevelvlakken is de gevelvlakfactor steeds positief.
- L_{den} is de gevelbelasting aan het hoogst belaste gevelvlak van een verblijfsruimte en is het A-gewogen gemiddelde geluidsdrukniveau over lange termijn, vastgesteld over de dag-, avond- en nachtperioden van een jaar, waarbij voor de avond en nacht straffactoren van respectievelijk 5 dB en 10 dB worden opgeteld.
- $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ is het maximale invallend buitengeluid bij de passage van een trein of vliegtuig ($L_{Aeq,1s,max,passage}$), vastgesteld aan het meest geluidsbelaste gevelvlak van een nachtruimte, dat gemiddeld minstens 5 maal per nacht (tussen 23 u en 07 u) overschreden wordt. Voor treinverkeerslawaai is hiertoe voor elke nachtperiode i de $L_{Amax,5x,23\text{-}07u,i}$ waarde te bepalen en hiervan de rekenkundig gemiddelde waarde te nemen.

Bepalen van L_{den} en $L_{Amax,5x,\ 23\text{-}07u}$

In het kader van het MER-afwegingskader voor nieuwe woonontwikkelingen is L_{den} te bepalen als gevelbelasting aan elk gevelvlak van de nieuwe woonontwikkeling met behulp van een akoestische rekenmodel. De invoergegevens van dit model moeten voldoende nauwkeurig overeenkomen met de werkelijkheid. Dit geldt zowel voor de geometrie, als voor de geluidsbronnen, als voor de akoestische karakteristieken van de materialen (absorptie bodem, wegen, gevels, …) en de meteo-omstandigheden. Dit wordt ook steeds best ter plaatse geverifieerd.
De simulaties worden ook best getoetst aan de bestaande situatie met metingen. Deze metingen zijn uit te voeren op representatieve locaties die dan kunnen vergeleken worden met dezelfde locatie in de simulatie. Metingen van korte duur (bv een uur) elders op het terrein, en afkomstig van dezelfde bronnen, kunnen bijkomende info geven in andere meetpunten door vergelijking met de meetresultaten van het meetpunt van lange duur over dezelfde periode. Beide types metingen laten toe het model bij te sturen indien nodig. Dit kan echter enkel wanneer de omgevingsparameters van de metingen gelijkaardig zijn aan deze van de simulatie (zie hoger).
Bij het simuleren van de site met de nieuwe woonontwikkeling moet het terrein dat gesimuleerd wordt voldoende groot zijn. Er dient dan ook vastgelegd te worden welk minimum terreinoppervlak in rekening is te brengen bij het uitvoeren van simulaties.

Theoretisch is $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ voor treinverkeerslawaai te bepalen met behulp van hogers voorgestelde formules via het rekenmodel waarbij het uurlijkse equivalente geluidsdrukniveau ($L_{Aeq,1u}$) bepaald word van de passage van de 5^{de} luidste trein die ’s nachts op de site zal voorkomen. De nauwkeurigheid van deze werkwijze dient echter eerst door verder onderzoek bepaald te worden.

Metingen

Uit metingen uitgevoerd op het terrein in representatieve punten, indien uitgevoerd over een voldoende lange periode, kunnen de $L_{Amax,5x,23\text{-}07u,i}$ waarden bepaald worden van elke nachtperiode i apart. De representatieve $L_{Amax,5x,23\text{-}07u}$ waarde over de volledige meetduur kan dan bepaald worden als het rekenkundig gemiddelde van alle $L_{Amax,5x,23\text{-}07u,i}$-waarden over alle nachtperiodes. Hiertoe dient gesteld te worden dat i minimaal 7 nachtperiodes betreft, zodat dit minstens een volledige week omvat.

Aan de hand van een simulatie en de afstanden tot de bron bij passage kan dan de overeenkomstige waarde ingeschat worden aan de meest belaste gevelvlakken van de nachtruimten.

De hoogte waarop de metingen uitgevoerd worden speelt geen rol wanneer de metingen naderhand gebruikt worden ter verificatie van het akoestisch rekenprogramma. De simulatie vergelijkt immers de resultaten van de simulatie op dezelfde locatie(s) en dezelfde omstandigheden als de meetlocatie(s). De metingen worden bij voorkeur wel best verricht in het vrije veld, zonder reflecties van omliggende bebouwing.

10 BIJLAGE: RESULTATEN VAN UITGEVOERDE CASES EN METINGEN

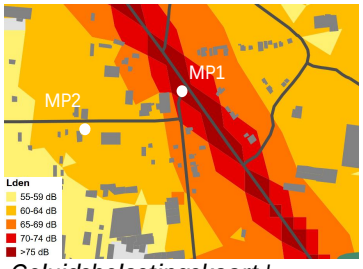
In deze bijlage worden aan de hand van aparte fiche van elk meetpunt uitgebreide informatie gegeven betreffende de uitgevoerde onderzoeken van zowel de 6 verschillende cases die deel uitmaken van dit onderzoek als 8 bijkomende sites waar in het verleden metingen werden uitgevoerd.

INFORMATIEFICHE

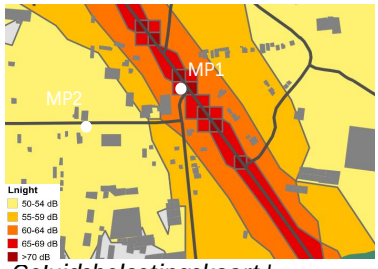
Locatie:	Boterlaarbaan - Antwerpen
Type:	Open zone langs invalssteenweg
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	2x2 rijstroken - asfalt

Case 1

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP1

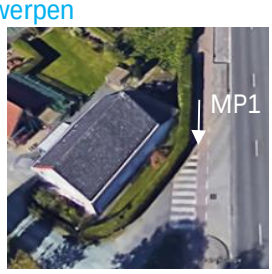
Lden,in =	75 dB
Lnight,in =	64 dB

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

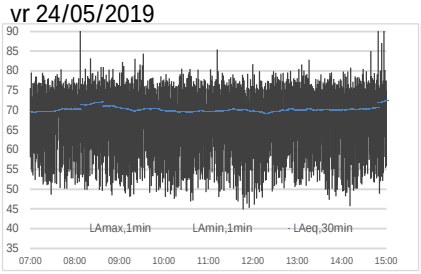
Case 1

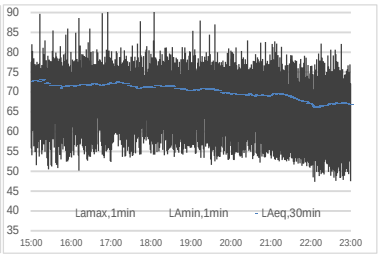
Meetpost 1: Boterlaarbaan - Antwerpen

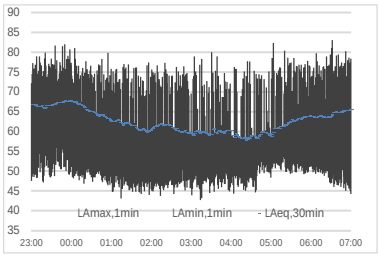
Hoogte: 4m

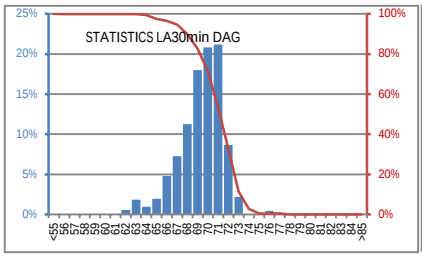


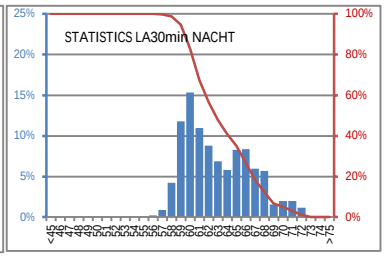
vr 24/05/2019





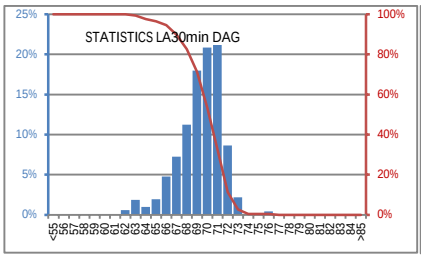


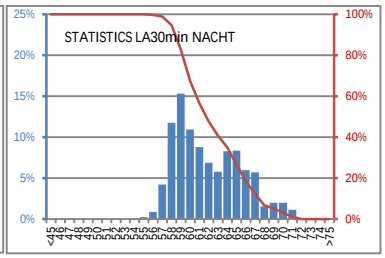




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	72 dB
LAref,nacht,in =	67 dB
LAref,in =	72 dB

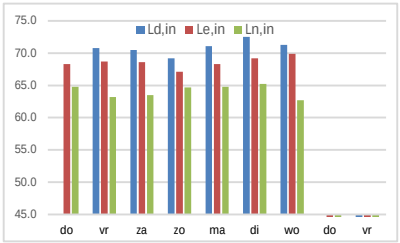


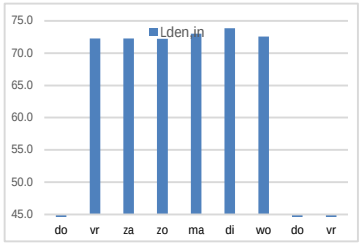


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	72 dB
LAref,nacht,in =	67 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
do 23 mei 2019		68.3	64.8	
vr 24 mei 2019	70.8	68.7	63.2	72.3
za 25 mei 2019	70.5	68.6	63.5	72.3
zo 26 mei 2019	69.2	67.1	64.7	72.2
ma 27 mei 2019	71.1	68.3	64.8	73.0
di 28 mei 2019	72.5	69.2	65.2	73.9
wo 29 mei 2019	71.3	69.9	62.7	72.6
do 30 mei 2019				
vr 31 mei 2019				
gemiddeld	70.9	68.6	64.1	72.7





Lday,in =	71 dB
Levening,in =	69 dB
Lnight,in =	64 dB
Lden,in =	73 dB

Case 1

PIEKGELUIDEN

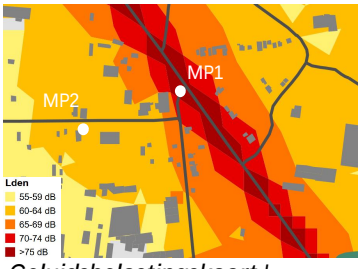
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
23/05/19	do	83.2	97.6	82.6	81.5	80.8
24/05/19	vr	82.1	83.1	82.0	81.5	80.0
25/05/19	za	83.0	93.3	83.0	82.5	80.6
26/05/19	zo	81.0	85.0	83.0	81.3	81.0
27/05/19	ma	83.6	88.3	84.9	81.7	80.6
28/05/19	di	80.7	88.8	83.3	82.4	81.2
29/05/19	wo	82.8	86.8	83.9	82.7	80.6
30/05/19	do					
31/05/19	vr					
Min 1/wk LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		82.3	89.0	83.2	81.9	80.7
Maximum waarde		83.6	97.6	84.9	82.7	81.2

INFORMATIEFICHE

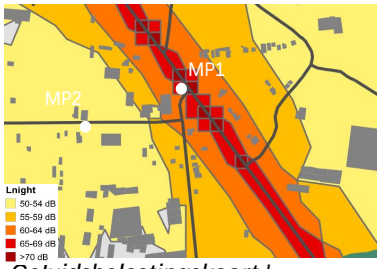
Locatie:	Boterlaarbaan - Antwerpen
Type:	Open zone langs invalssteenweg
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	2x2 rijstroken - asfalt

Case 1

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP2

Lden,in =	62 dB
Lnight,in =	53 dB

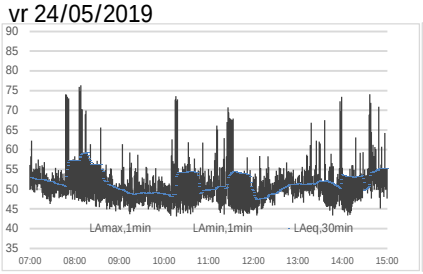
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

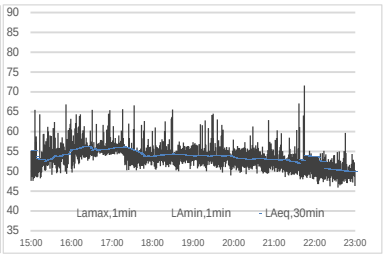
Case 1

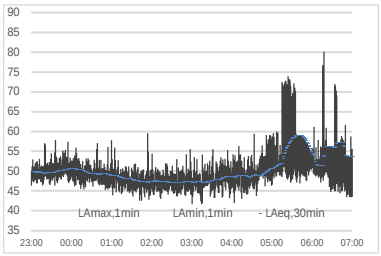
Meetpost 2: Boterlaarbaan - Antwerpen

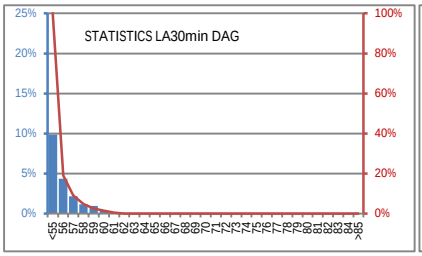
Hoogte: 4m

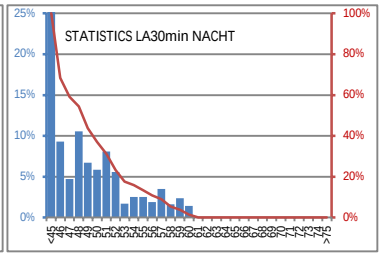
vr 24/05/2019





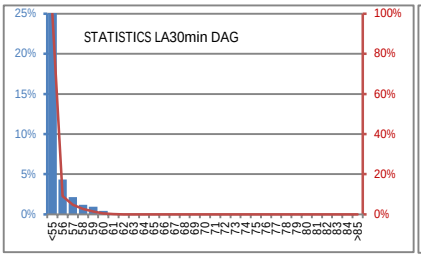


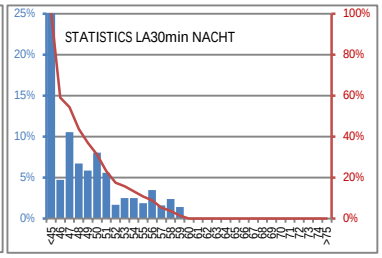




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	56 dB
LAref,nacht,in =	52 dB
LAref,in =	57 dB

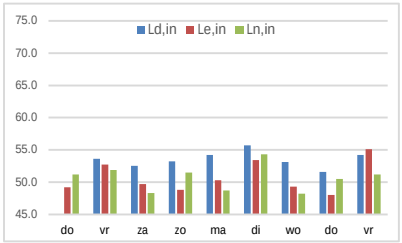


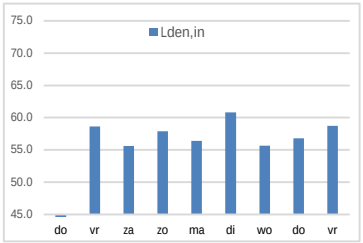


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	56 dB
LAref,nacht,in =	55 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
do 23 mei 2019		49.2	51.2	
vr 24 mei 2019	53.6	52.7	51.9	58.6
za 25 mei 2019	52.5	49.7	48.3	55.6
zo 26 mei 2019	53.2	48.8	51.5	57.9
ma 27 mei 2019	54.2	50.3	48.7	56.4
di 28 mei 2019	55.7	53.4	54.3	60.8
wo 29 mei 2019	53.1	49.3	48.2	55.6
do 30 mei 2019	51.6	48.0	50.5	56.8
vr 31 mei 2019	54.2	55.1	51.2	58.7
gemiddeld	53.5	50.7	50.6	57.6





Lday,in =	54 dB
Levening,in =	51 dB
Lnight,in =	51 dB
Lden,in =	58 dB

Case 1

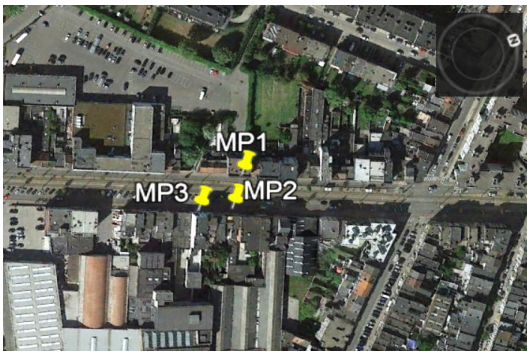
PIEKGELUIDEN

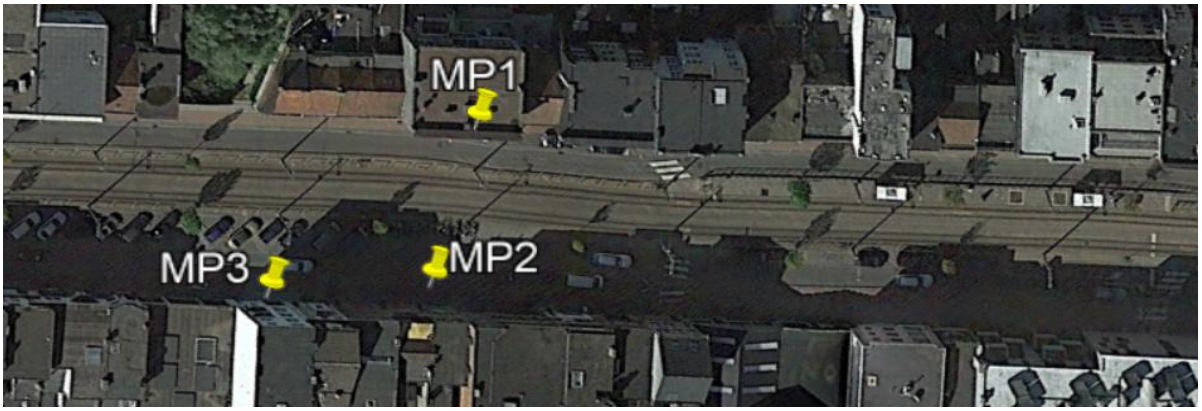
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
23/05/19	do	75.2	76.4	75.2	71.5	
24/05/19	vr	72.8	80.1	73.9	72.8	
25/05/19	za		73.8	72.0		
26/05/19	zo	73.7	77.2	74.9	73.7	72.5
27/05/19	ma	72.4	75.1	73.7	72.4	
28/05/19	di	73.8	76.6	74.7	73.8	
29/05/19	wo		75.4	70.5		
30/05/19	do					
31/05/19	vr					
Min 1/week LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		73.6	76.4	73.6	72.8	72.5
Maximum waarde		75.2	80.14	75.24	73.79	72.5

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Sint Bernardsesteenweg - Antwerpen
Type:	Gesloten zone met tram en weg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x1 Tram + 2x1 rijstroken - asfalt

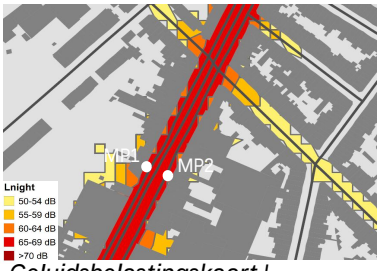
Case 2





GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART

Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP1

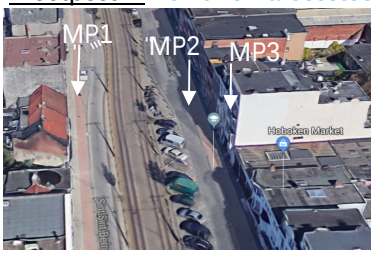
Lden,2m =	75 dB
Lnight,2m =	65 dB

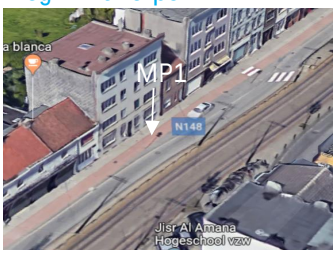
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

Case 2

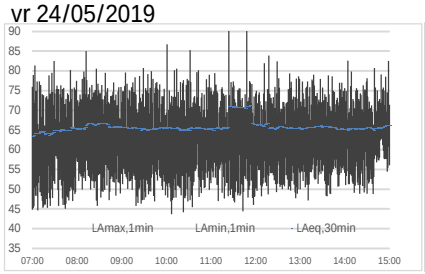
Meetpost 1: Sint Bernardsesteenweg - Antwerpen

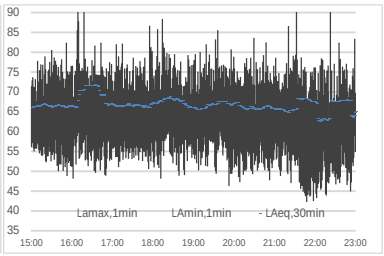
Hoogte: 4m

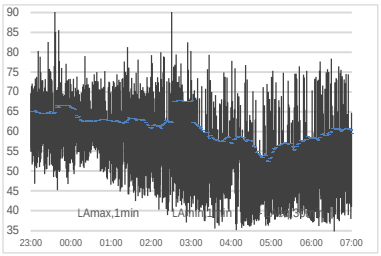


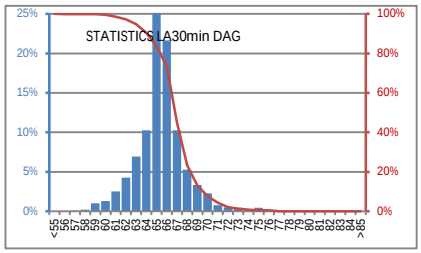


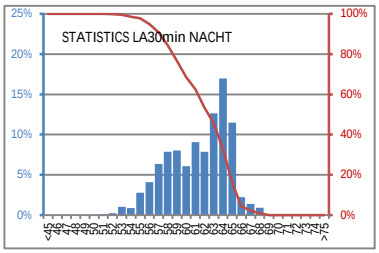
vr 24/05/2019





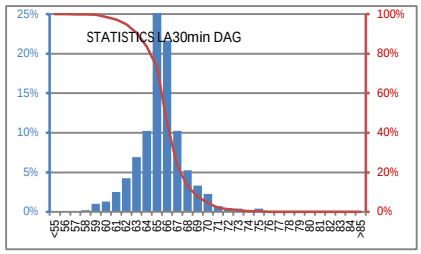


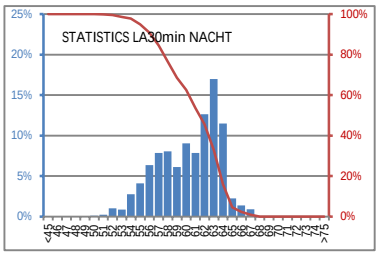




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	68 dB
LAref,nacht,2m =	64 dB
LAref,2m =	69 dB

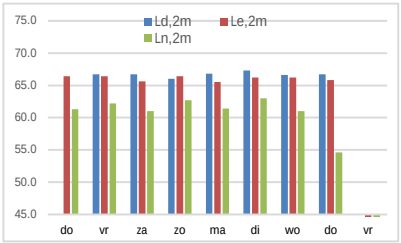


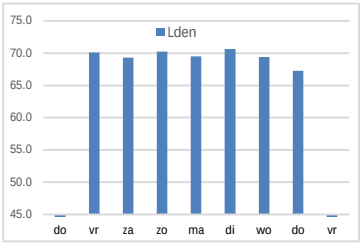


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	68 dB
LAref,nacht,2m =	65 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
do 23 mei 2019		66.4	61.3	
vr 24 mei 2019	66.7	66.4	62.2	70.1
za 25 mei 2019	66.7	65.6	61.0	69.3
zo 26 mei 2019	66.0	66.4	62.7	70.2
ma 27 mei 2019	66.8	65.5	61.4	69.5
di 28 mei 2019	67.3	66.2	63.0	70.6
wo 29 mei 2019	66.6	66.2	61.0	69.4
do 30 mei 2019	66.7	65.8	54.6	67.2
vr 31 mei 2019				
gemiddeld	66.7	66.1	60.9	69.5





Lday,2m =	67 dB
Levening,2m =	66 dB
Lnight,2m =	61 dB
Lden,2m =	69 dB

Case 2

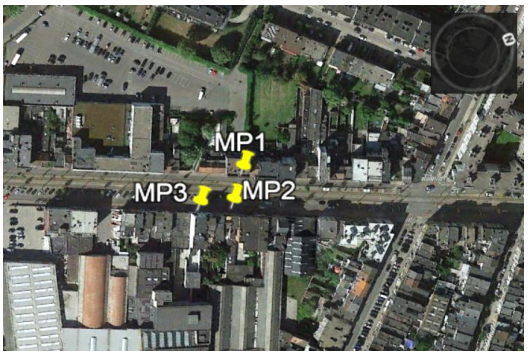
PIEKGELUIDEN

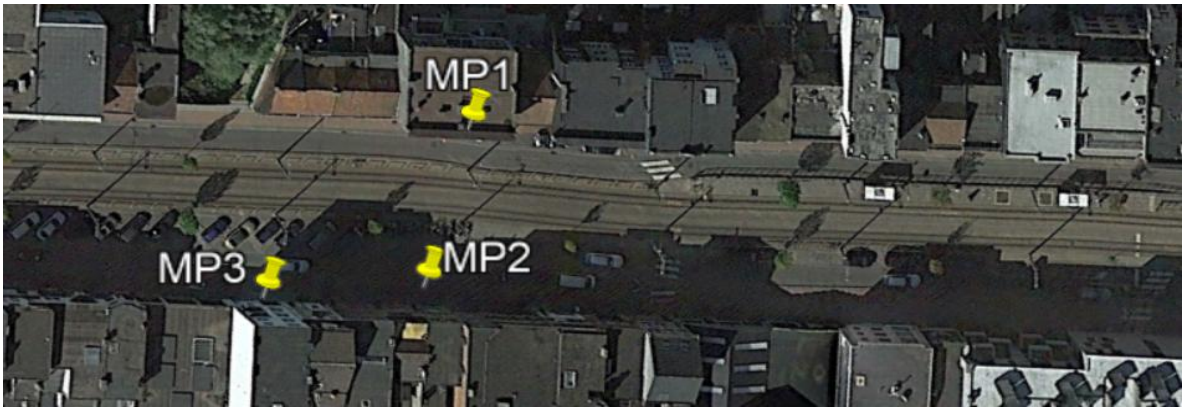
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
23/05/19	do	82.0	89.4	82.2	81.3	80.5
24/05/19	vr	90.4	96.7	85.6	82.5	79.4
25/05/19	za	80.4	82.2	79.9	79.6	78.4
26/05/19	zo	84.0	88.0	84.0	83.6	79.8
27/05/19	ma	82.4	86.3	82.4	80.9	79.0
28/05/19	di	90.5	94.1	90.5	82.8	80.2
29/05/19	wo	82.3	83.4	81.9	80.6	78.8
30/05/19	do					
31/05/19	vr					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		84.6	88.6	83.8	81.6	79.4
Maximum waarde		90.5	96.7	90.5	83.6	80.5

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Sint Bernardsesteenweg - Antwerpen
Type:	Gesloten zone met tram en weg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x1 Tram + 2x1 rijstroken - asfalt

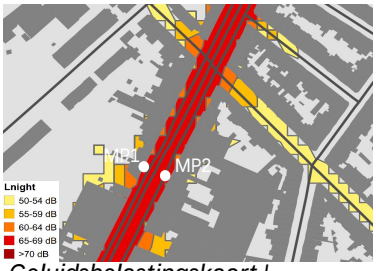
Case 2





GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART

Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP2

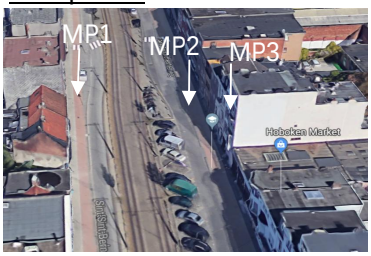
Lden,2m =	75 dB
Lnight,2m =	65 dB

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

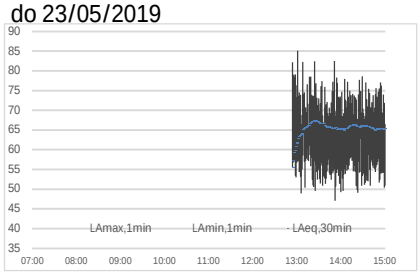
Case 2

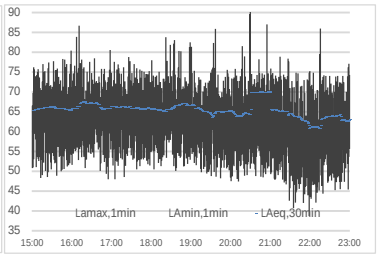
Meetpost 2: Sint Bernardsesteenweg - Antwerpen

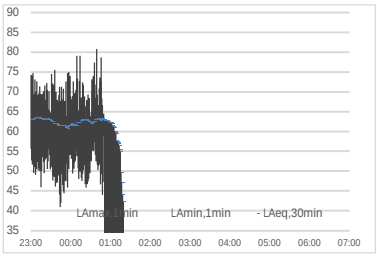
Hoogte: 4m

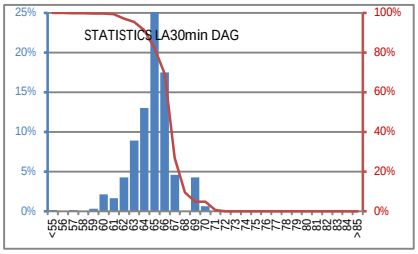


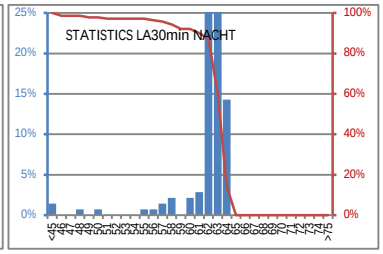
do 23/05/2019





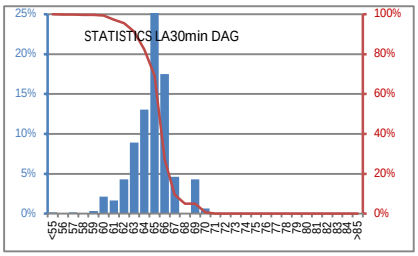


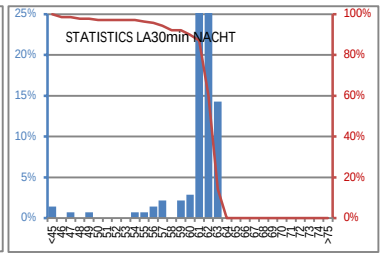




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	67 dB
LAref,nacht,2m =	64 dB
LAref,2m =	69 dB

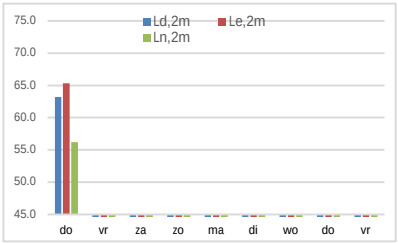


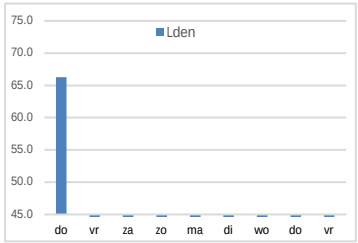


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	67 dB
LAref,nacht,2m =	63 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
do 23 mei 2019	63.2	65.3	56.2	66.3
vr 24 mei 2019				
za 25 mei 2019				
zo 26 mei 2019				
ma 27 mei 2019				
di 28 mei 2019				
wo 29 mei 2019				
do 30 mei 2019				
vr 31 mei 2019				
gemiddeld	63.2	65.3	56.2	66.3





Lday,2m =	63 dB
Levening,2m =	65 dB
Lnight,2m =	56 dB
Lden,2m =	66 dB

Case 2

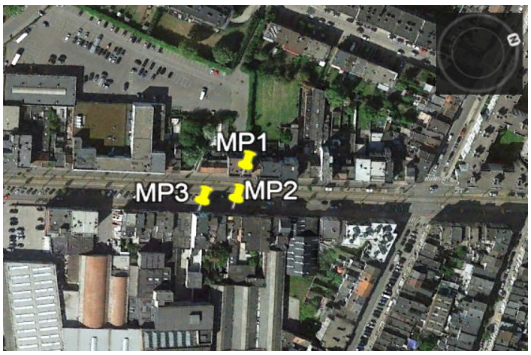
PIEKGELUIDEN

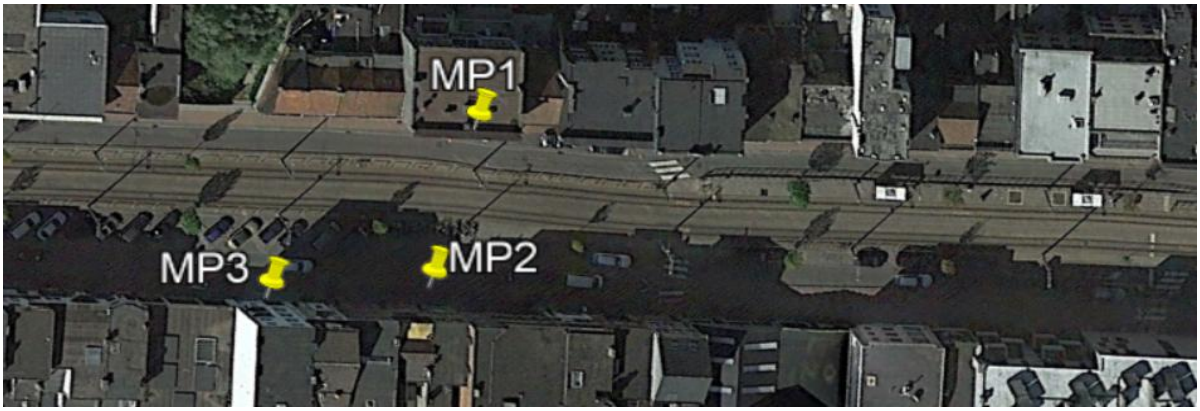
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
23/05/19	do	79.1	80.9	79.1	77.4	74.5
24/05/19	vr					
25/05/19	za					
26/05/19	zo					
27/05/19	ma					
28/05/19	di					
29/05/19	wo					
30/05/19	do					
31/05/19	vr					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		79.1	80.9	79.1	77.4	74.5
Maximum waarde		79.1	80.85	79.12	77.38	74.49

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Sint Bernardsesteenweg - Antwerpen
Type:	Gesloten zone met tram en weg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x1 Tram + 2x1 rijstroken - asfalt

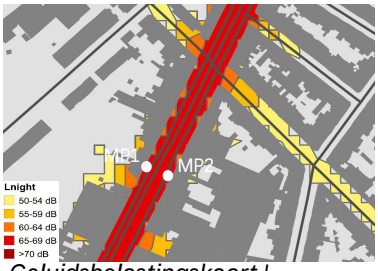
Case 2





GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART

Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP3

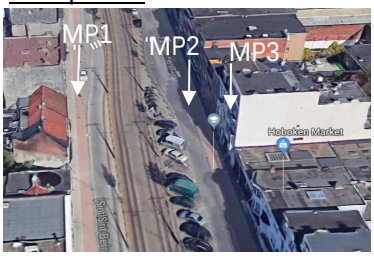
Lden,2m =	
Lnight,2m =	

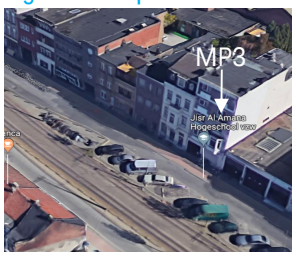
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

Case 2

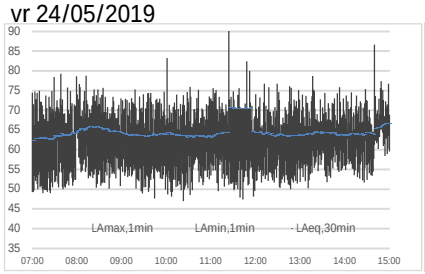
Meetpost 3: Sint Bernardsesteenweg - Antwerpen

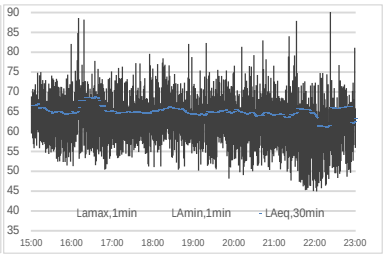
Hoogte: 11m

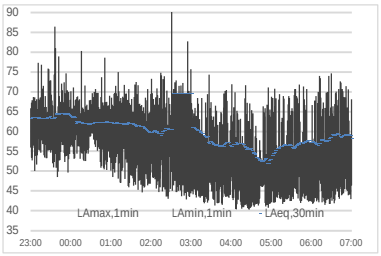


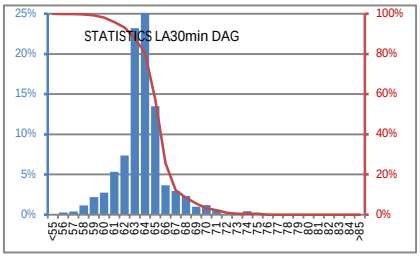


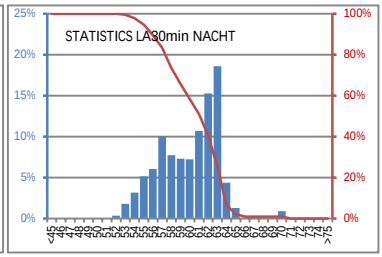
vr 24/05/2019





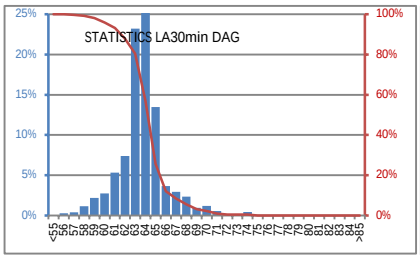


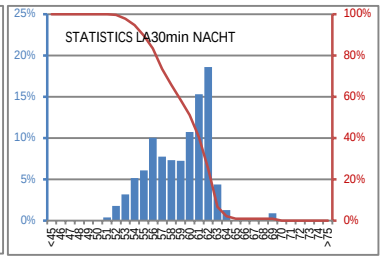




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	66 dB
LAref,nacht,2m =	63 dB
LAref,2m =	68 dB

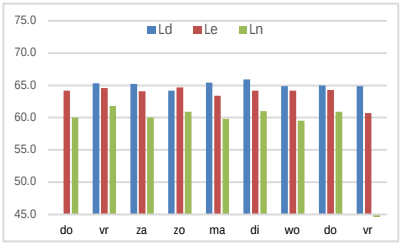


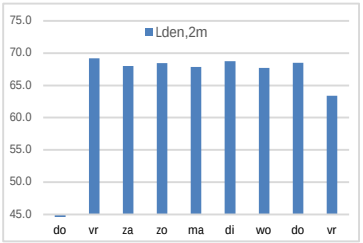


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	66 dB
LAref,nacht,2m =	63 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
do 23 mei 2019		64.2	60.0	
vr 24 mei 2019	65.3	64.6	61.8	69.2
za 25 mei 2019	65.2	64.1	60.0	68.0
zo 26 mei 2019	64.2	64.7	60.9	68.4
ma 27 mei 2019	65.4	63.4	59.8	67.8
di 28 mei 2019	65.9	64.2	61.0	68.8
wo 29 mei 2019	64.9	64.2	59.5	67.7
do 30 mei 2019	65.0	64.3	60.9	68.5
vr 31 mei 2019	64.9	60.7	38.6	63.4
gemiddeld	65.1	63.8	58.1	67.7





Lday,2m =	65 dB
Levening,2m =	64 dB
Lnight,2m =	58 dB
Lden,2m =	68 dB

Case 2

PIEKGELUIDEN

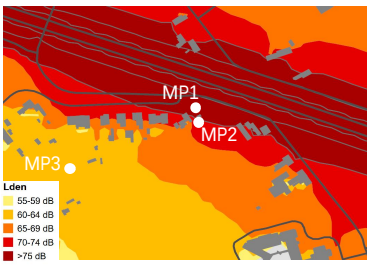
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
23/05/19	do	78.1	81.8	78.6	78.0	76.7
24/05/19	vr	86.4	100.0	82.7	78.9	75.7
25/05/19	za	79.8	81.8	79.8	77.4	74.6
26/05/19	zo	80.9	82.0	80.9	79.0	75.9
27/05/19	ma	78.7	80.8	78.7	77.8	75.7
28/05/19	di	87.3	91.8	87.3	80.0	75.5
29/05/19	wo	76.7	79.8	76.1	75.5	74.7
30/05/19	do					
31/05/19	vr					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		81.1	85.4	80.6	78.1	75.5
Maximum waarde		87.3	100.02	87.32	80.03	76.69

INFORMATIEFICHE

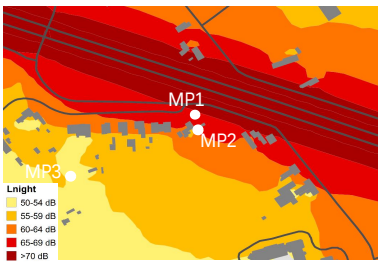
Locatie:	Noordhoutstraat E40 - Gent
Type:	Open zone langs de E40
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	Autostrade

Case 3

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP1

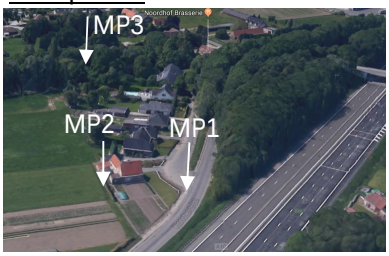
Lden,in =	75 dB
Lnight,in =	69 dB

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

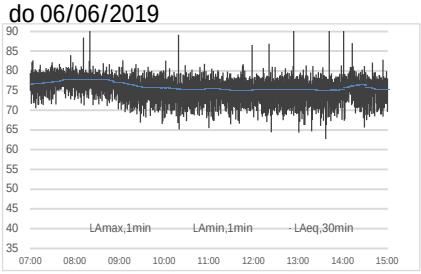
Case 3

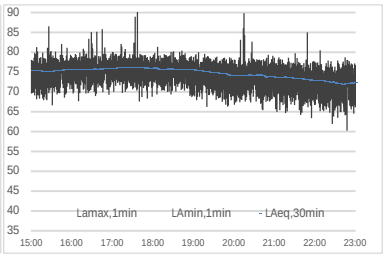
Meetpost 1: Noordhoutstraat E40 - Gent

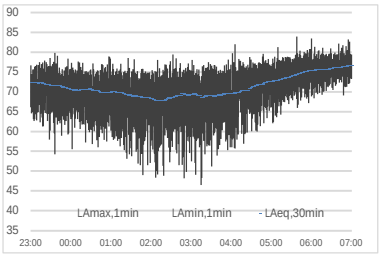
Hoogte: 4m

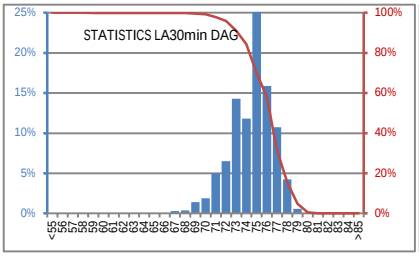


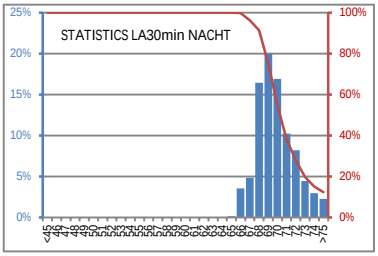
do 06/06/2019





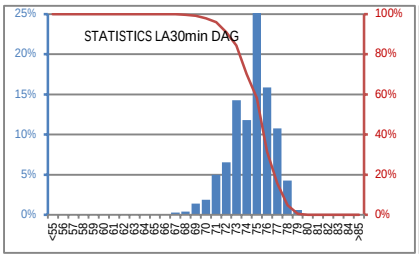


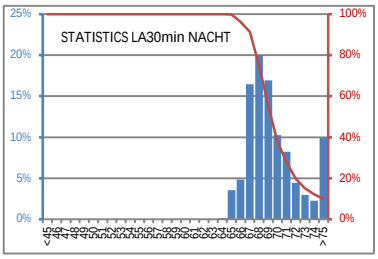




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	78 dB
LAref,nacht,in =	73 dB
LAref,in =	78 dB

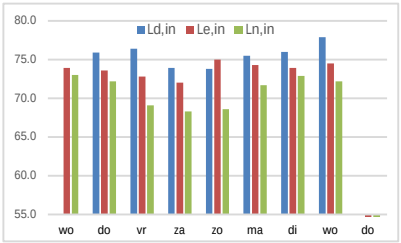


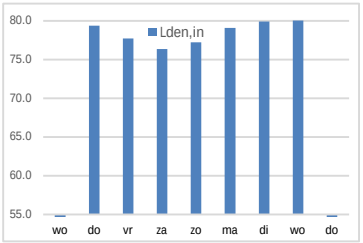


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	78 dB
LAref,nacht,in =	75 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
wo 05 jun 2019		73.9	73.0	
do 06 jun 2019	75.9	73.6	72.2	79.4
vr 07 jun 2019	76.4	72.8	69.1	77.7
za 08 jun 2019	73.9	72.0	68.3	76.4
zo 09 jun 2019	73.8	75.0	68.6	77.2
ma 10 jun 2019	75.5	74.3	71.7	79.1
di 11 jun 2019	76.0	73.9	72.9	79.9
wo 12 jun 2019	77.9	74.5	72.2	80.0
do 13 jun 2019				
gemiddeld	75.6	73.8	71.0	78.5





Lday,in =	76 dB
Levening,in =	74 dB
Lnight,in =	71 dB
Lden,in =	79 dB

Case 3

PIEKGELUIDEN

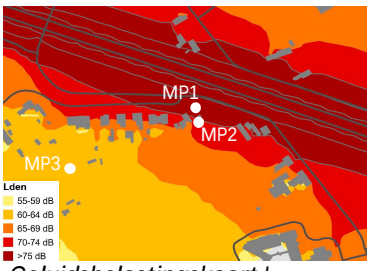
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
5/06/19	wo	82.1	83.3	82.3	82.1	81.7
6/06/19	do	81.3	84.0	83.2	82.1	81.3
7/06/19	vr	83.4	84.5	80.2	80.0	77.9
8/06/19	za	82.5	87.2	78.3	78.0	77.7
9/06/19	zo	81.4	81.4	80.1	79.0	78.2
10/06/19	ma	81.5	88.1	82.4	81.5	80.9
11/06/19	di	82.7	86.4	83.9	83.8	82.3
12/06/19	wo					
13/06/19	do					
Min 1/week LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		82.1	85.0	81.5	80.9	80.0
Maximum waarde		83.4	88.06	83.93	83.79	82.29

INFORMATIEFICHE

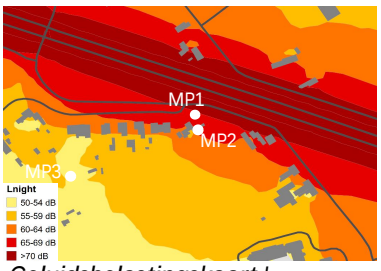
Locatie:	Noordhoutstraat E40 - Gent
Type:	Open zone langs de E40
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	Autostrade

Case 3

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP2

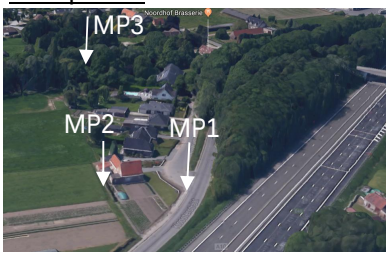
Lden,in =	74 dB
Lnight,in =	65 dB

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

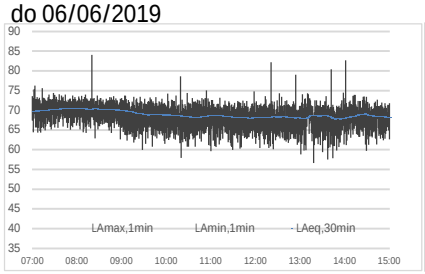
Case 3

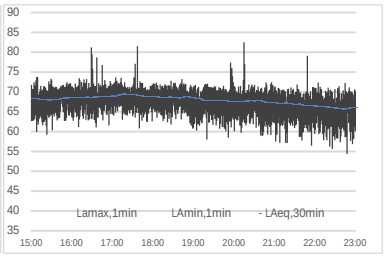
Meetpost 2: Noordhoutstraat E40 - Gent

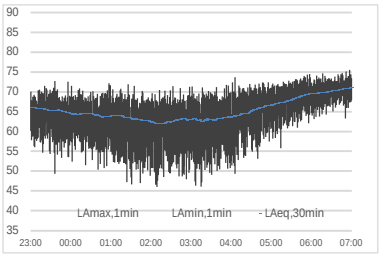
Hoogte: 4m

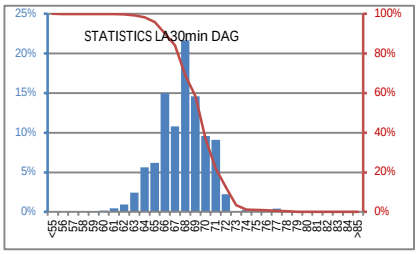


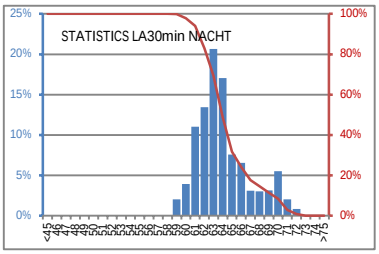
do 06/06/2019





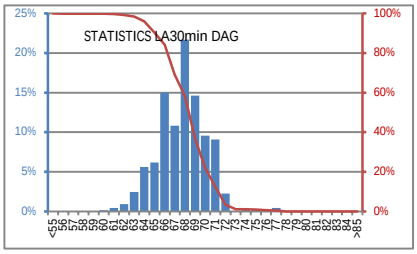


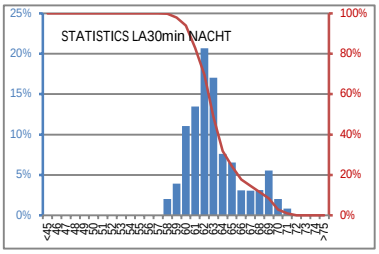




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	71 dB
LAref,nacht,in =	67 dB
LAref,in =	72 dB

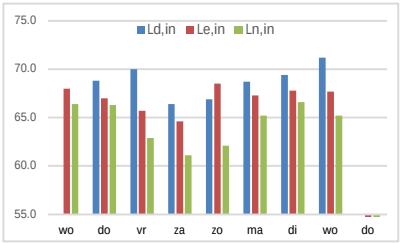


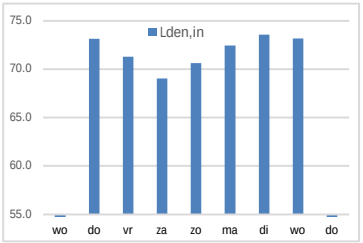


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	71 dB
LAref,nacht,in =	69 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
wo 05 jun 2019		68.0	66.4	
do 06 jun 2019	68.8	67.0	66.3	73.1
vr 07 jun 2019	70.0	65.7	62.9	71.3
za 08 jun 2019	66.4	64.6	61.1	69.0
zo 09 jun 2019	66.9	68.5	62.1	70.6
ma 10 jun 2019	68.7	67.3	65.2	72.4
di 11 jun 2019	69.4	67.8	66.6	73.6
wo 12 jun 2019	71.2	67.7	65.2	73.2
do 13 jun 2019				
gemiddeld	68.8	67.1	64.5	71.9





Lday,in =	69 dB
Levening,in =	67 dB
Lnight,in =	64 dB
Lden,in =	72 dB

Case 3

PIEKGELUIDEN

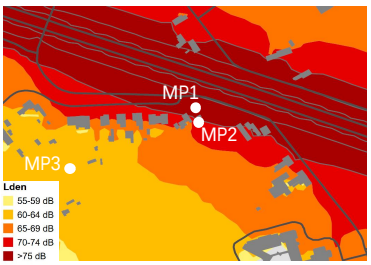
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
5/06/19	wo	75.3	75.7	75.2	74.9	74.6
6/06/19	do	74.0	75.6	74.7	74.5	74.1
7/06/19	vr	77.5	80.1	77.5	76.9	75.9
8/06/19	za	74.4	76.2	71.7	70.9	
9/06/19	zo	74.0	74.0	72.5	72.3	71.8
10/06/19	ma	74.0	77.0	74.8	74.5	73.9
11/06/19	di	75.1	77.0	75.3	75.1	75.0
12/06/19	wo					
13/06/19	do					
Min 1/week LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		74.9	76.5	74.5	74.2	74.2
Maximum waarde		77.5	80.1	77.5	76.9	75.9

INFORMATIEFICHE

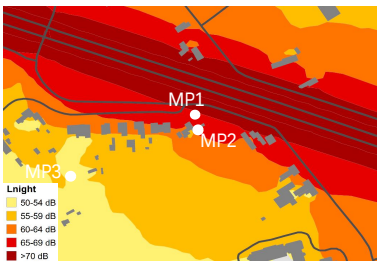
Locatie:	Noordhoutstraat E40 - Gent
Type:	Open zone langs de E40
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	Autostrade

Case 3

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP3

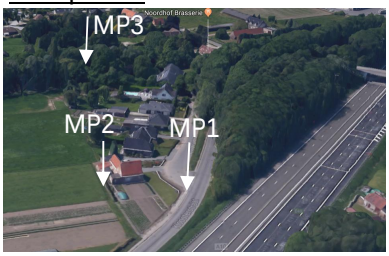
Lden,in =	62 dB
Lnight,in =	53 dB

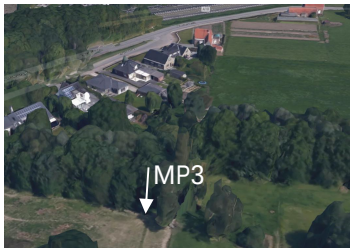
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

Case 3

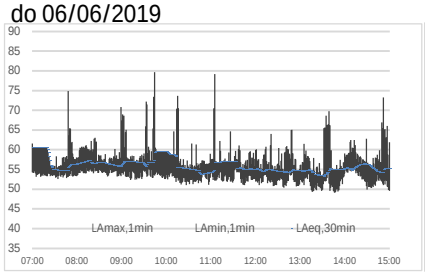
Meetpost 3: Noordhoutstraat E40 - Gent

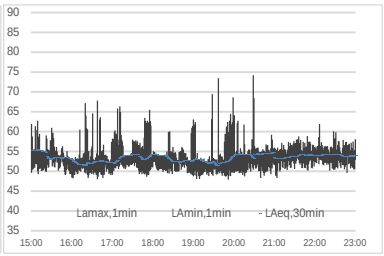
Hoogte: 4m

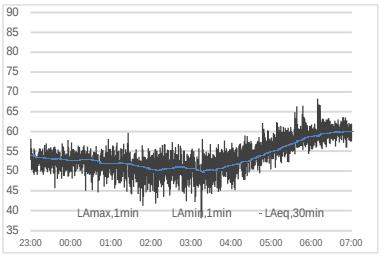


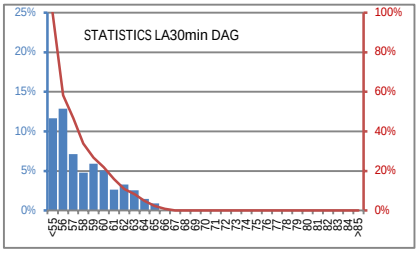


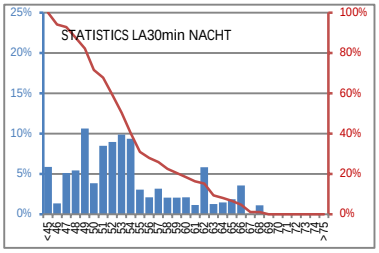
do 06/06/2019





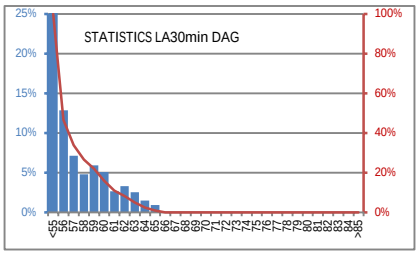


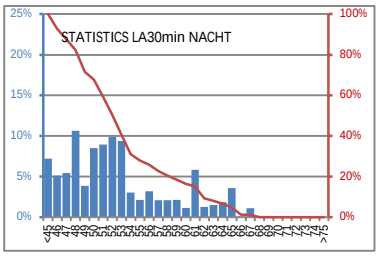




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	62 dB
LAref,nacht,in =	62 dB
LAref,in =	67 dB

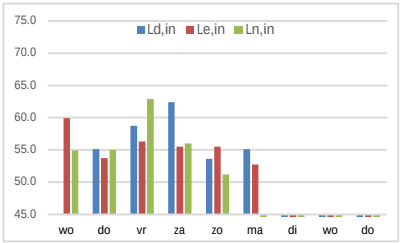


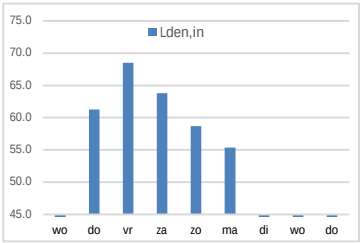


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	62 dB
LAref,nacht,in =	62 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
wo 05 jun 2019		59.9	54.9	
do 06 jun 2019	55.1	53.7	55.0	61.3
vr 07 jun 2019	58.7	56.3	62.9	68.5
za 08 jun 2019	62.4	55.5	56.0	63.8
zo 09 jun 2019	53.6	55.5	51.2	58.7
ma 10 jun 2019	55.1	52.7	43.9	55.3
di 11 jun 2019				
wo 12 jun 2019				
do 13 jun 2019				
gemiddeld	57.0	55.6	54.0	61.5





Lday,in =	57 dB
Levening,in =	56 dB
Lnight,in =	54 dB
Lden,in =	62 dB

Case 3

PIEKGELUIDEN

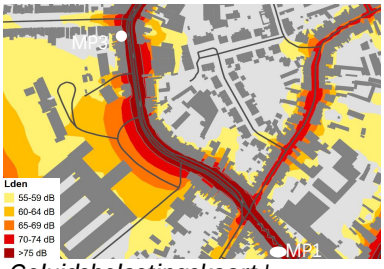
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
5/06/19	wo	74.0	76.9	70.7		
6/06/19	do					
7/06/19	vr	77.3	80.9	77.3	76.7	75.3
8/06/19	za		92.9			
9/06/19	zo		71.0			
10/06/19	ma					
11/06/19	di					
12/06/19	wo					
13/06/19	do					
Min 1/week LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		75.7	80.4	74.0	76.7	75.3
Maximum waarde		77.3	92.9	77.3	76.7	75.3

INFORMATIEFICHE

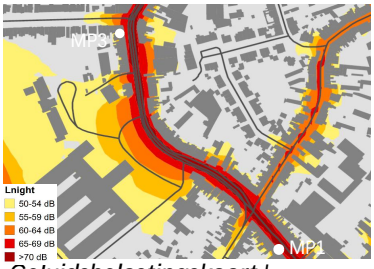
Locatie:	Voskenslaan - Gent
Type:	Gesloten zone
Bron:	Wegverkeer (MP1 en 2) + Tramverkeer (MP3)
Beschrijving:	1x2 weg + 1x2 Tram

Case 4

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP1

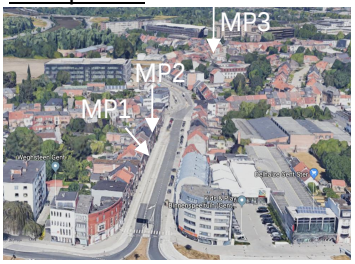
Lden,2m =	75 dB
Lnight,2m =	69 dB

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

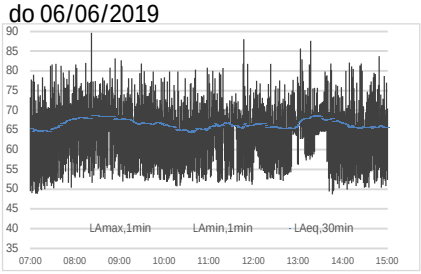
Case 4

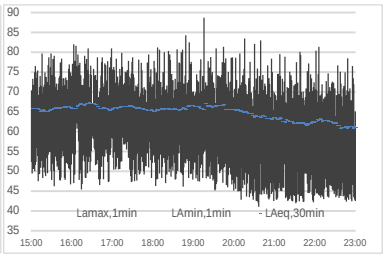
Meetpost 1: Voskenslaan - Gent

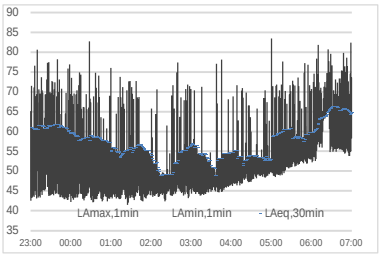
Hoogte: 4m

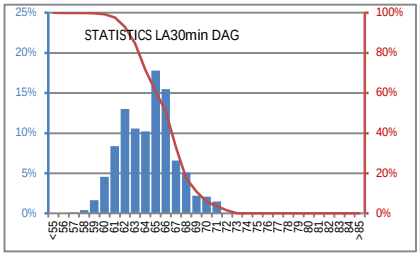


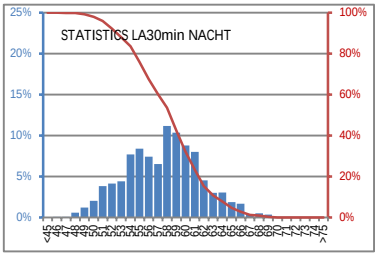
do 06/06/2019





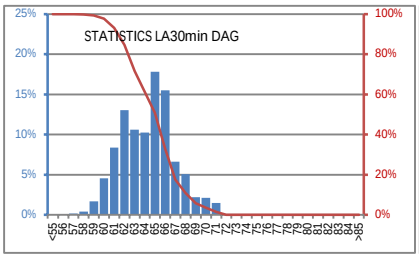


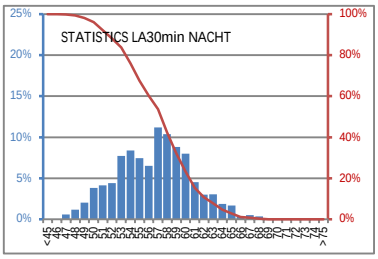




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	68 dB
LAref,nacht,2m =	62 dB
LAref,2m =	68 dB

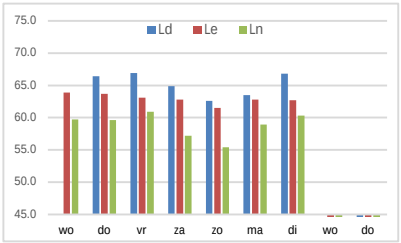


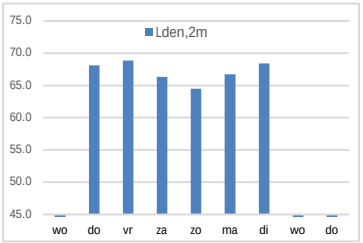


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	68 dB
LAref,nacht,2m =	62 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
wo 05 jun 2019		63.9	59.7	
do 06 jun 2019	66.4	63.7	59.6	68.1
vr 07 jun 2019	66.9	63.1	60.9	68.8
za 08 jun 2019	64.9	62.8	57.2	66.3
zo 09 jun 2019	62.6	61.5	55.4	64.5
ma 10 jun 2019	63.5	62.8	58.9	66.7
di 11 jun 2019	66.8	62.7	60.3	68.4
wo 12 jun 2019				
do 13 jun 2019				
gemiddeld	65.2	62.9	58.9	67.1





Lday,2m =	65 dB
Levening,2m =	63 dB
Lnight,2m =	59 dB
Lden,2m =	67 dB

Case 4

PIEKGELUIDEN

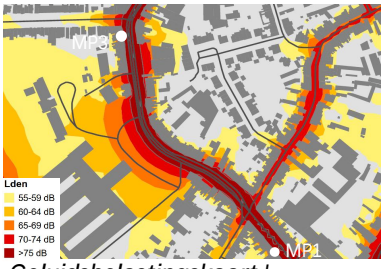
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
5/06/19	wo	83.7	84.7	82.8	81.5	79.7
6/06/19	do	81.4	83.5	82.4	80.7	78.4
7/06/19	vr	83.0	88.0	84.3	83.0	79.4
8/06/19	za	83.3	85.8	81.1	79.5	76.4
9/06/19	zo	78.2	81.6	80.1	77.8	75.6
10/06/19	ma	80.9	85.0	80.9	80.7	78.1
11/06/19	di	80.6	84.3	83.4	82.3	80.3
12/06/19	wo					
13/06/19	do					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		81.6	84.7	82.1	80.8	78.3
Maximum waarde		83.7	88	84.3	83	80.3

INFORMATIEFICHE

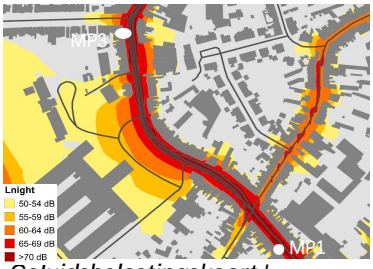
Locatie:	Voskenslaan - Gent
Type:	Gesloten zone
Bron:	Wegverkeer (MP1 en 2) + Tramverkeer (MP3)
Beschrijving:	1x2 weg + 1x2 Tram

Case 4

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP2

Lden,2m =	
Lnight,2m =	

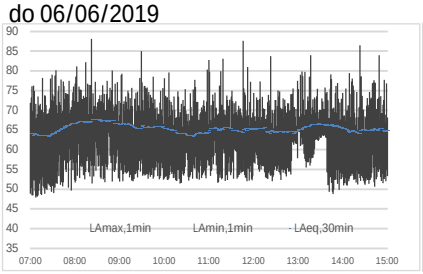
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

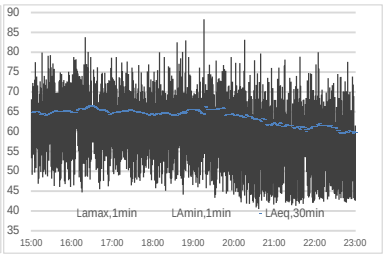
Case 4

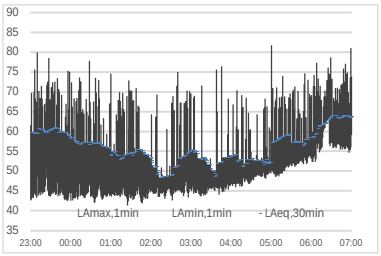
Meetpost 2: Voskenslaan - Gent

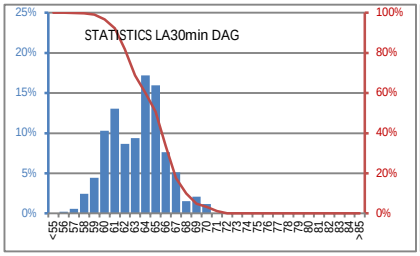
Hoogte: 7m

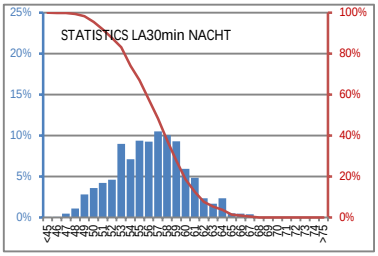
do 06/06/2019





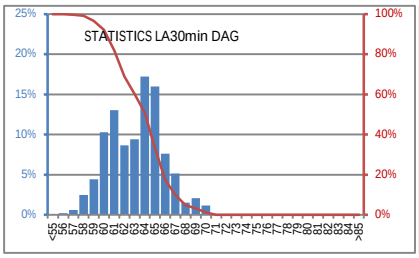


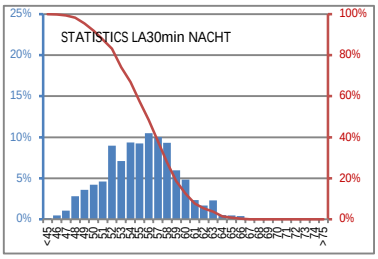




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	67 dB
LAref,nacht,2m =	60 dB
LAref,2m =	67 dB

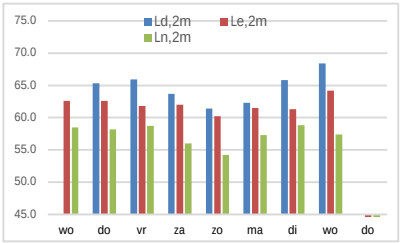


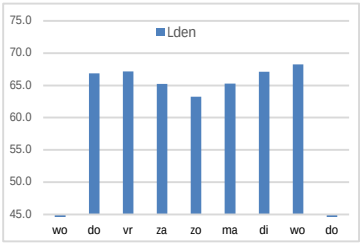


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	67 dB
LAref,nacht,2m =	61 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
wo 05 jun 2019		62.6	58.5	
do 06 jun 2019	65.3	62.6	58.2	66.9
vr 07 jun 2019	65.9	61.8	58.7	67.2
za 08 jun 2019	63.7	62.0	56.0	65.2
zo 09 jun 2019	61.4	60.2	54.2	63.3
ma 10 jun 2019	62.3	61.5	57.3	65.3
di 11 jun 2019	65.8	61.3	58.8	67.1
wo 12 jun 2019	68.4	64.2	57.4	68.2
do 13 jun 2019				
gemiddeld	64.7	62.0	57.4	66.2





Lday,2m =	65 dB
Levening,2m =	62 dB
Lnight,2m =	57 dB
Lden,2m =	66 dB

Case 4

PIEKGELUIDEN

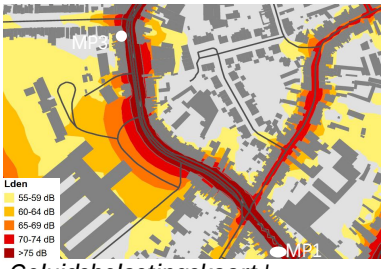
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
5/06/19	wo	82.2	84.4	82.7	82.2	77.7
6/06/19	do	79.9	81.8	79.9	78.5	76.1
7/06/19	vr	77.7	87.9	81.8	78.9	76.0
8/06/19	za	80.9	85.8	78.4	76.6	74.6
9/06/19	zo	75.9	78.8	76.3	75.9	74.3
10/06/19	ma	78.0	83.7	78.0	77.8	76.0
11/06/19	di	78.5	84.8	80.7	79.4	78.1
12/06/19	wo					
13/06/19	do					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		79.0	83.9	79.7	78.5	76.1
Maximum waarde		82.2	87.9	82.7	82.2	78.1

INFORMATIEFICHE

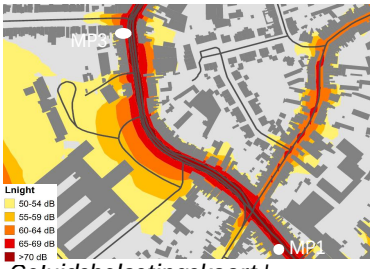
Locatie:	Voskenslaan - Gent
Type:	Gesloten zone
Bron:	Wegverkeer (MP1 en 2) + Tramverkeer (MP3)
Beschrijving:	1x2 weg + 1x2 Tram

Case 4

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP3

Lden,2m =	75 dB
Lnight,2m =	69 dB

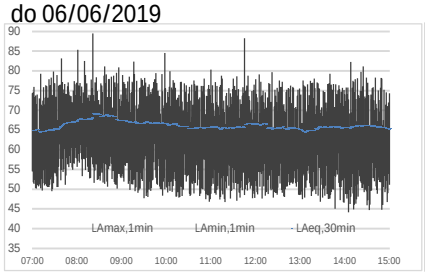
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

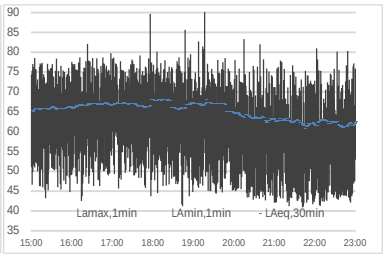
Case 4

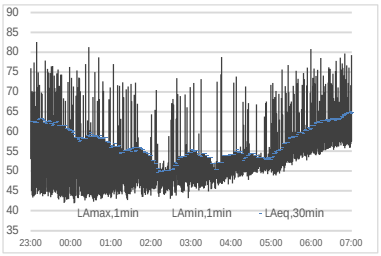
Meetpost 3: Voskenslaan - Gent

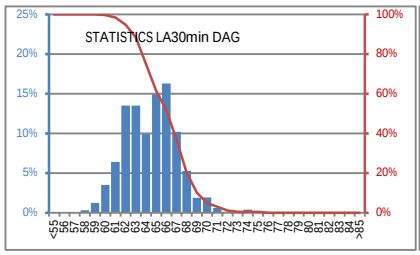
Hoogte: 4m

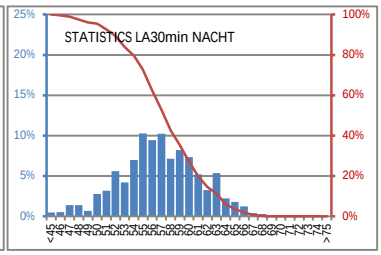
do 06/06/2019





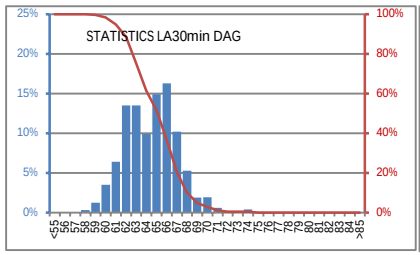


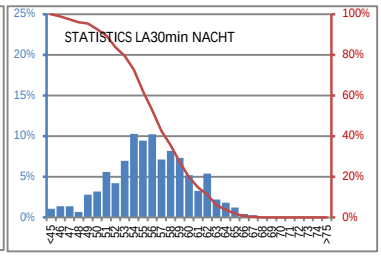




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	68 dB
LAref,nacht,2m =	62 dB
LAref,2m =	68 dB

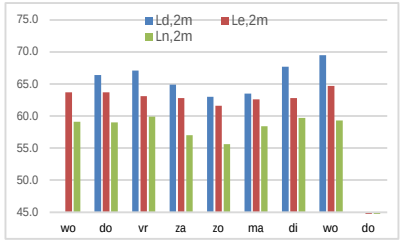


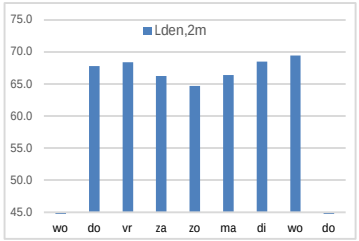


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	68 dB
LAref,nacht,2m =	62 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
wo 05 jun 2019		63.7	59.1	
do 06 jun 2019	66.4	63.7	59.0	67.8
vr 07 jun 2019	67.1	63.1	59.9	68.4
za 08 jun 2019	64.9	62.8	57.0	66.3
zo 09 jun 2019	63.0	61.6	55.6	64.7
ma 10 jun 2019	63.5	62.6	58.4	66.4
di 11 jun 2019	67.7	62.8	59.7	68.5
wo 12 jun 2019	69.5	64.7	59.3	69.5
do 13 jun 2019				
gemiddeld	66.0	63.1	58.5	67.4





Lday,2m =	66 dB
Levening,2m =	63 dB
Lnight,2m =	59 dB
Lden,2m =	67 dB

Case 4

PIEKGELUIDEN

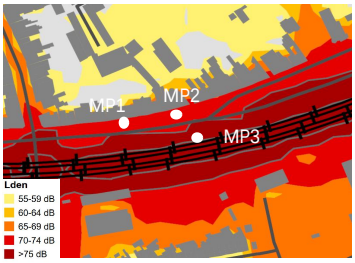
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
5/06/19	wo	80.6	82.9	80.3	79.7	78.5
6/06/19	do	81.0	82.6	80.8	78.7	77.8
7/06/19	vr	78.4	94.5	81.0	78.4	77.4
8/06/19	za	78.9	80.5	77.7	76.9	75.9
9/06/19	zo	77.7	82.4	78.4	78.0	75.6
10/06/19	ma	78.7	82.9	80.2	78.4	77.0
11/06/19	di	81.5	82.2	81.2	80.1	79.2
12/06/19	wo					
13/06/19	do					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		79.5	84.0	80.0	78.6	77.3
Maximum waarde		81.5	94.53	81.19	80.07	79.21

INFORMATIEFICHE

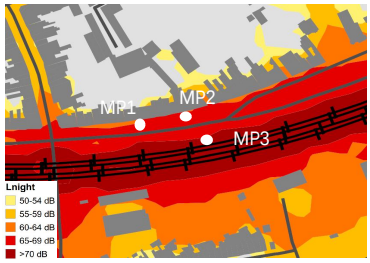
Locatie:	Burgravenlaan - Gent
Type:	Rijhuizen naast weg en trein op bedding
Bron:	Wegverkeer + Trein
Beschrijving:	1x2 weg + Trein op bedding

Case 5

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP1

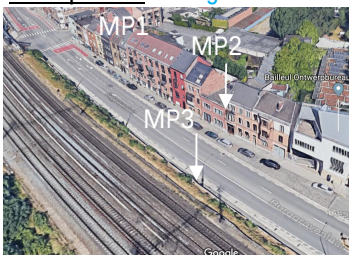
Lden,2m =	72 dB
Lnight,2m =	65 dB

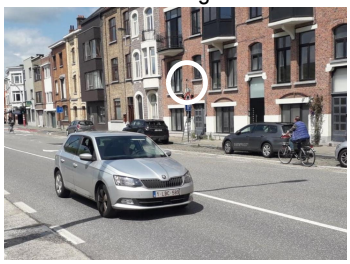
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

Case 5

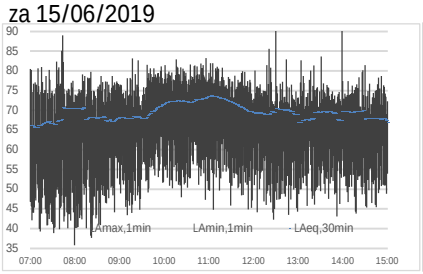
Meetpost 1: Burgravenlaan - Gent

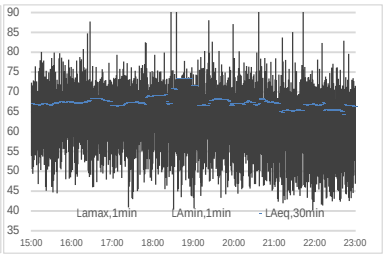
Hoogte: 4m

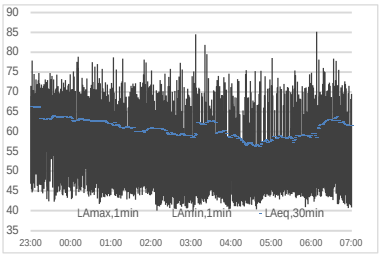


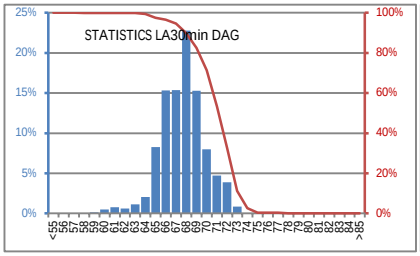


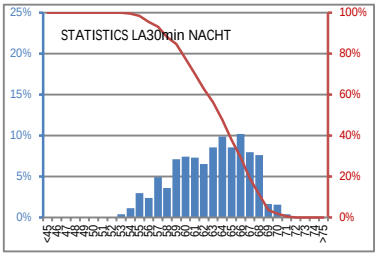
za 15/06/2019





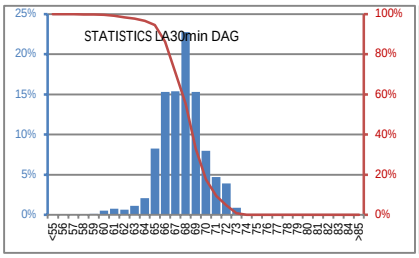


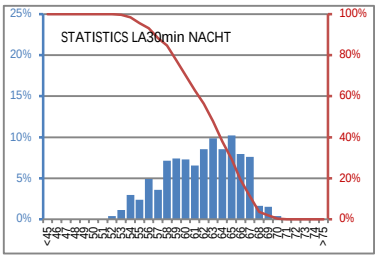




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	67 dB
LAref,2m =	72 dB

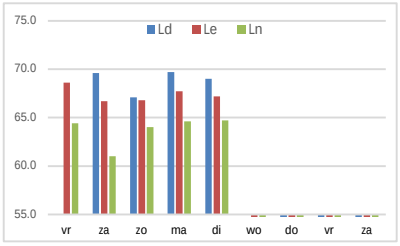


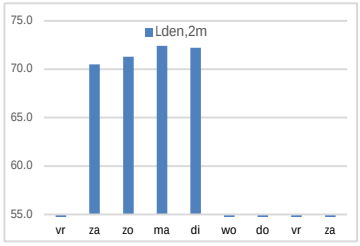


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	67 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
vr 14 jun 2019		68.6	64.4	
za 15 jun 2019	69.6	66.7	61.0	70.5
zo 16 jun 2019	67.1	66.8	64.0	71.3
ma 17 jun 2019	69.7	67.7	64.6	72.4
di 18 jun 2019	69.0	67.2	64.7	72.2
wo 19 jun 2019				
do 20 jun 2019				
vr 21 jun 2019				
za 22 jun 2019				
gemiddeld	68.9	67.4	63.7	71.6





Lday,2m =	69 dB
Levening,2m =	67 dB
Lnight,2m =	64 dB
Lden,2m =	72 dB

Case 5

PIEKGELUIDEN

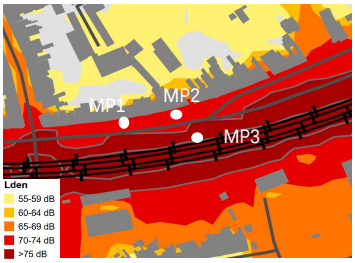
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
14/06/19	vr	83.4	85.0	82.1	82.0	80.3
15/06/19	za	82.3	85.2	81.8	78.9	78.1
16/06/19	zo	84.4	91.5	83.3	82.5	80.9
17/06/19	ma	96.9	97.0	88.3	84.5	83.3
18/06/19	di	85.8	91.1	86.1	83.2	81.4
19/06/19	wo					
20/06/19	do					
21/06/19	vr					
22/06/19	za					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		86.6	90.0	84.3	82.2	80.8
Maximum waarde		96.9	97.0	88.3	84.5	83.3

INFORMATIEFICHE

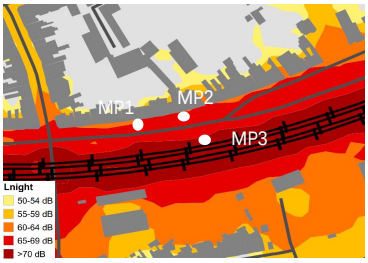
Locatie:	Burgravenlaan - Gent
Type:	Rijhuizen naast weg en trein op bedding
Bron:	Wegverkeer + Trein
Beschrijving:	1x2 weg + Trein op bedding

Case 5

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP2

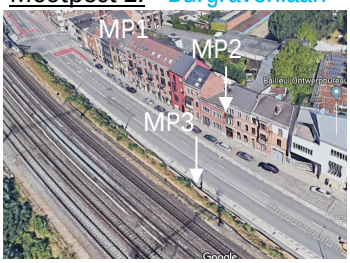
Lden,2m =	
Lnight,2m =	

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

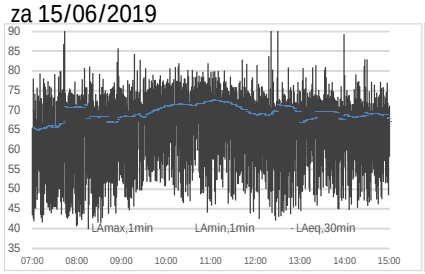
Case 5

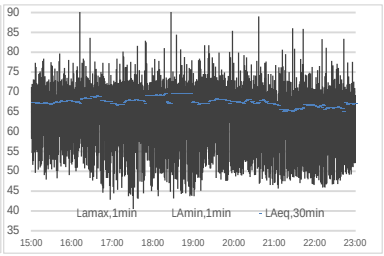
Meetpost 2: Burgravenlaan - Gent

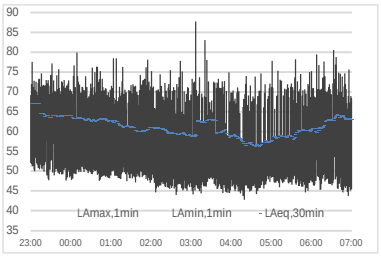
Hoogte: 7m

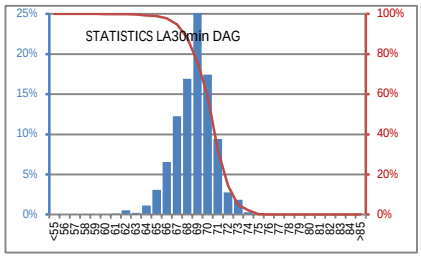


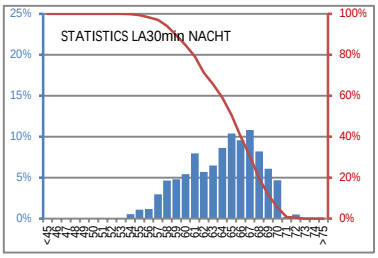
za 15/06/2019





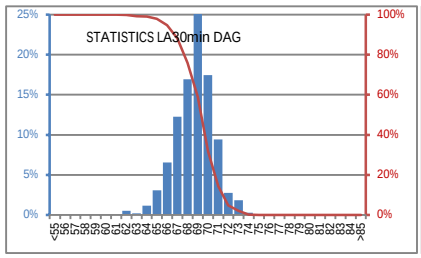


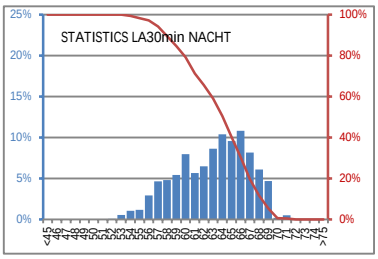




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	68 dB
LAref,2m =	73 dB

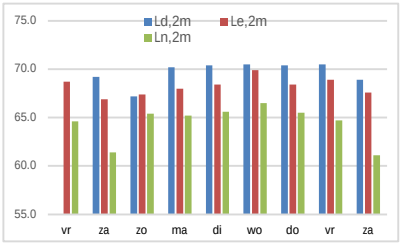


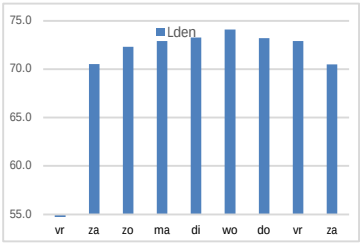


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	68 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
vr 14 jun 2019		68.7	64.6	
za 15 jun 2019	69.2	66.9	61.4	70.5
zo 16 jun 2019	67.2	67.4	65.4	72.3
ma 17 jun 2019	70.2	68.0	65.2	72.9
di 18 jun 2019	70.4	68.4	65.6	73.3
wo 19 jun 2019	70.5	69.9	66.5	74.1
do 20 jun 2019	70.4	68.4	65.5	73.2
vr 21 jun 2019	70.5	68.9	64.7	72.9
za 22 jun 2019	68.9	67.6	61.1	70.5
gemiddeld	69.7	68.2	64.4	72.5





Lday,2m =	70 dB
Levening,2m =	68 dB
Lnight,2m =	64 dB
Lden,2m =	72 dB

Case 5

PIEKGELUIDEN

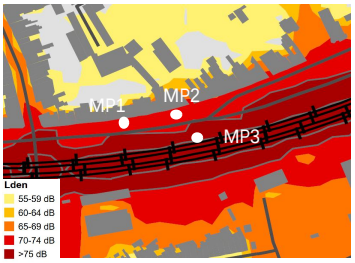
Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
14/06/19	vr	85.3	85.9	82.7	81.3	79.7
15/06/19	za	83.3	87.8	80.5	79.4	78.1
16/06/19	zo	87.9	89.8	87.9	82.8	81.9
17/06/19	ma	90.3	90.3	85.8	84.6	83.8
18/06/19	di	83.6	86.3	83.9	83.6	81.8
19/06/19	wo	87.0	87.5	86.7	84.7	83.3
20/06/19	do	86.7	91.6	87.0	86.0	82.8
21/06/19	vr					
22/06/19	za					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		86.3	88.4	84.9	83.2	81.6
Maximum waarde		90.3	91.6	87.9	86.0	83.8

INFORMATIEFICHE

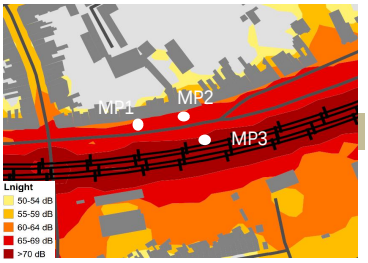
Locatie:	Burgravenlaan - Gent
Type:	Rijhuizen naast weg en trein op bedding
Bron:	Wegverkeer + Trein
Beschrijving:	1x2 weg + Trein op bedding

Case 5

GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP3

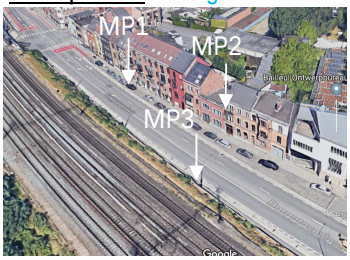
Lden,2m =	75 dB
Lnight,2m =	70 dB

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

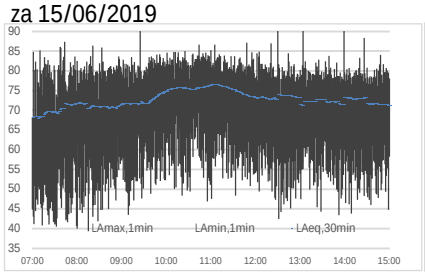
Case 5

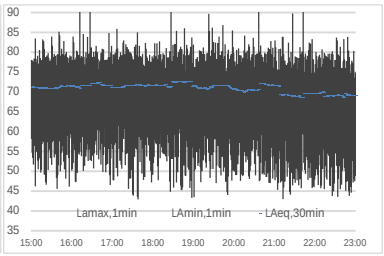
Meetpost 3: Burgravenlaan - Gent

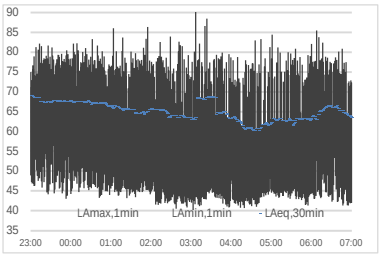
Hoogte: 3m

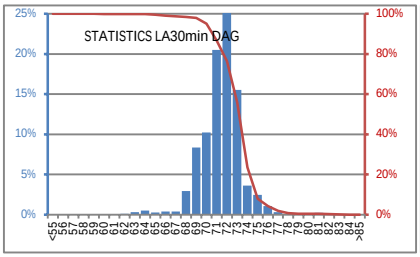


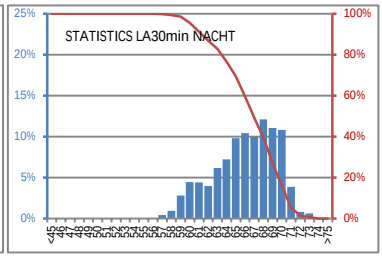
za 15/06/2019





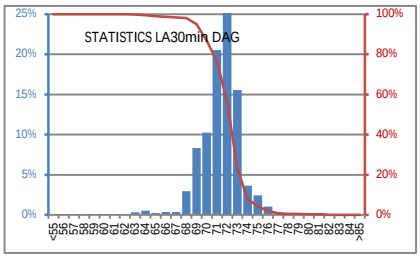


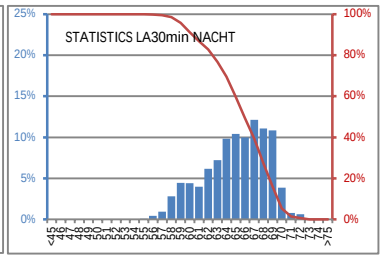




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	74 dB
LAref,nacht,2m =	70 dB
LAref,2m =	75 dB

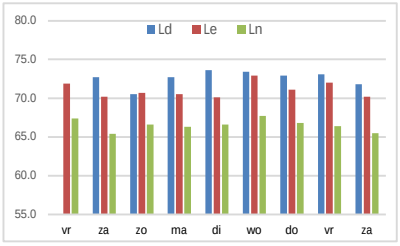


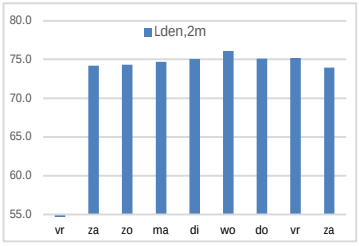


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	74 dB
LAref,nacht,2m =	70 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
vr 14 jun 2019		71.9	67.4	
za 15 jun 2019	72.7	70.2	65.4	74.2
zo 16 jun 2019	70.5	70.7	66.6	74.3
ma 17 jun 2019	72.7	70.5	66.3	74.7
di 18 jun 2019	73.6	70.1	66.6	75.1
wo 19 jun 2019	73.4	72.9	67.7	76.1
do 20 jun 2019	72.9	71.1	66.8	75.1
vr 21 jun 2019	73.1	72.0	66.4	75.2
za 22 jun 2019	71.8	70.2	65.5	74.0
gemiddeld	72.6	71.1	66.5	74.8





Lday,2m =	73 dB
Levening,2m =	71 dB
Lnight,2m =	67 dB
Lden,2m =	75 dB

Case 5

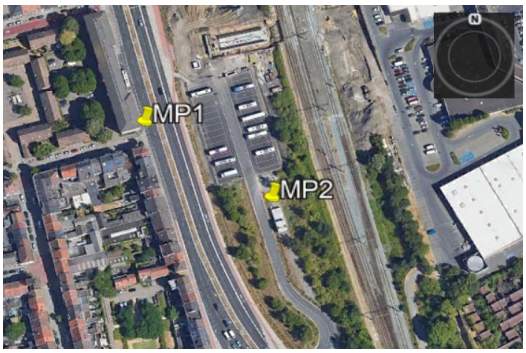
PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
14/06/19	vr	88.6	86.7	85.0	84.6	83.8
15/06/19	za	86.6	96.7	86.6	86.0	83.7
16/06/19	zo	96.4	97.1	86.5	85.4	84.2
17/06/19	ma	94.5	94.5	92.7	87.7	84.6
18/06/19	di	87.4	91.4	87.4	87.0	84.5
19/06/19	wo	89.0	91.8	89.0	87.3	86.0
20/06/19	do	91.5	96.8	89.0	84.8	84.0
21/06/19	vr					
22/06/19	za					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		90.6	93.6	88.0	86.1	84.4
Maximum waarde		96.4	97.1	92.7	87.7	86.0

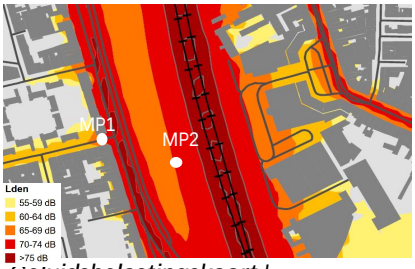
INFORMATIEFICHE

Locatie:	Slachthuisstraat - Gent
Type:	Halfopen langs steenweg en trein
Bron:	Wegverkeer + Trein
Beschrijving:	2x2 weg + Trein

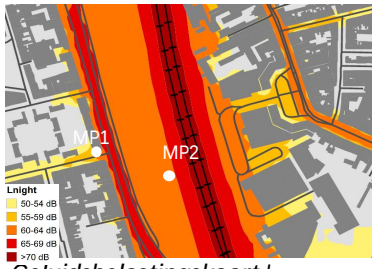
Case 6



GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L den



Geluidsbelastingskaart L night

MP1

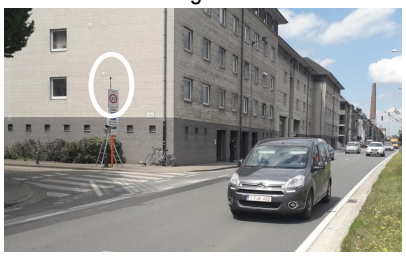
Lden,2m =	69 dB
Lnight,2m =	60 dB

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

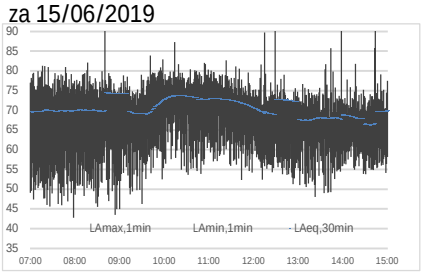
Case 6

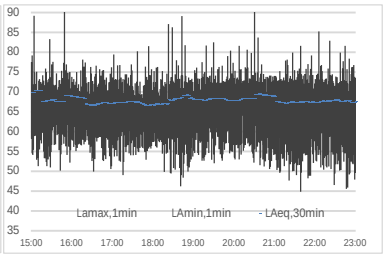
Meetpost 1: Slachthuisstraat - Gent

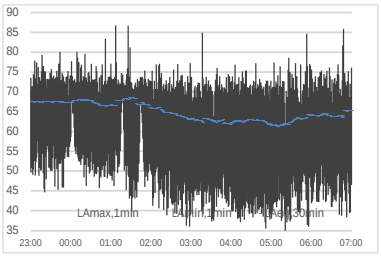
Hoogte: 4m

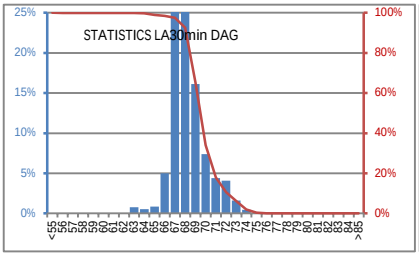


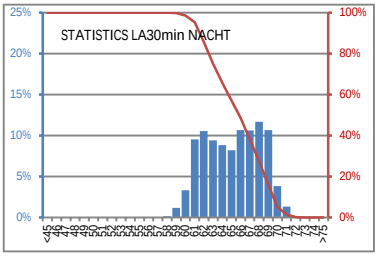
za 15/06/2019





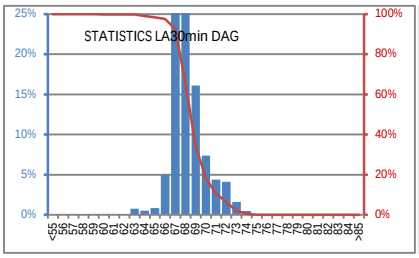


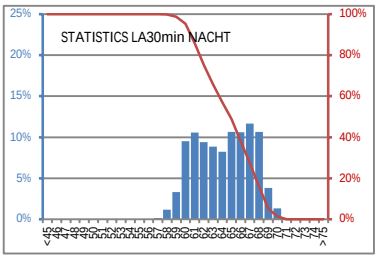




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	68 dB
LAref,2m =	73 dB

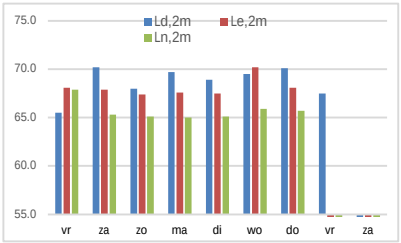


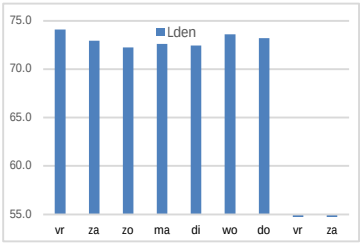


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	69 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
vr 14 jun 2019	65.5	68.1	67.9	74.1
za 15 jun 2019	70.2	67.9	65.3	73.0
zo 16 jun 2019	68.0	67.4	65.1	72.3
ma 17 jun 2019	69.7	67.6	65.0	72.6
di 18 jun 2019	68.9	67.5	65.1	72.5
wo 19 jun 2019	69.5	70.2	65.9	73.6
do 20 jun 2019	70.1	68.1	65.7	73.2
vr 21 jun 2019	67.5			
za 22 jun 2019				
gemiddeld	68.7	68.1	65.7	73.0





Lday,2m =	69 dB
Levening,2m =	68 dB
Lnight,2m =	66 dB
Lden,2m =	73 dB

Case 6

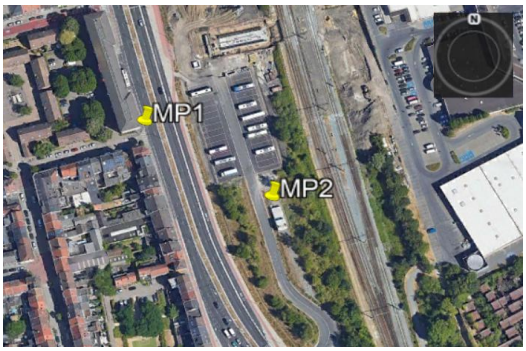
PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
14/06/19	vr	88.7	88.7	84.2	83.8	82.0
15/06/19	za	85.2	86.8	85.9	84.7	79.6
16/06/19	zo	81.8	91.3	83.8	82.0	80.5
17/06/19	ma	81.3	88.3	83.7	82.2	80.7
18/06/19	di	83.9	83.9	82.1	81.2	80.0
19/06/19	wo	85.0	86.0	84.0	83.3	81.2
20/06/19	do	81.9	86.3	82.5	81.9	80.9
21/06/19	vr					
22/06/19	za					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		84.0	87.3	83.7	82.7	80.7
Maximum waarde		88.7	91.3	85.9	84.7	82

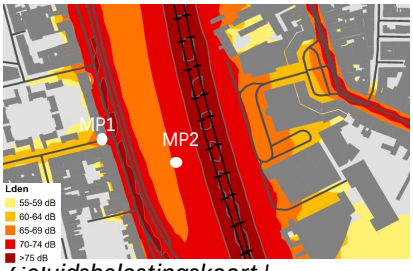
INFORMATIEFICHE

Locatie:	Slachthuisstraat - Gent
Type:	Halfopen langs steenweg en trein
Bron:	Wegverkeer + Trein
Beschrijving:	2x2 weg + Trein

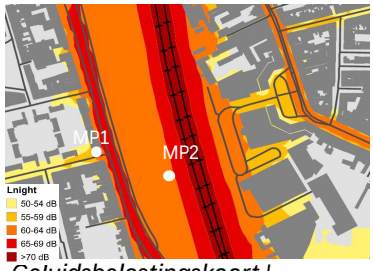
Case 6



GELUIDSBELASTING O.B.V. GELUIDSKAART



Geluidsbelastingskaart L $_{den}$



Geluidsbelastingskaart L $_{night}$

MP2

Lden,in =	71 dB
Lnight,in =	64 dB

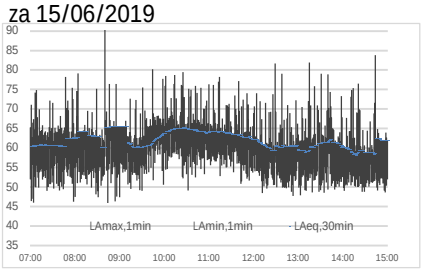
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

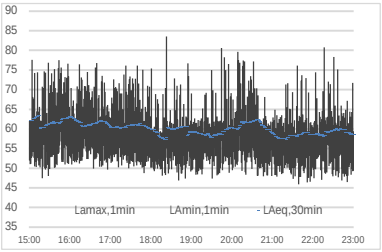
Case 6

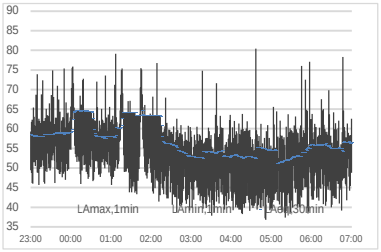
Meetpost 2: Slachthuisstraat - Gent

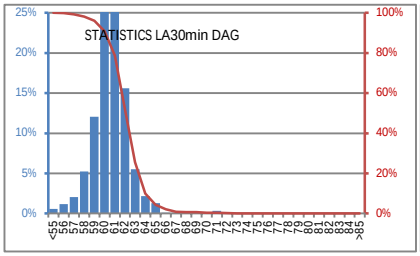
Hoogte: 4m

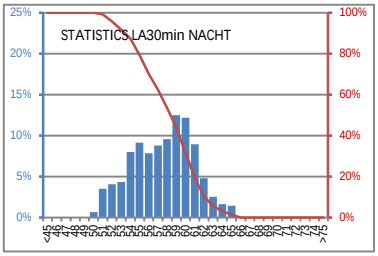
za 15/06/2019





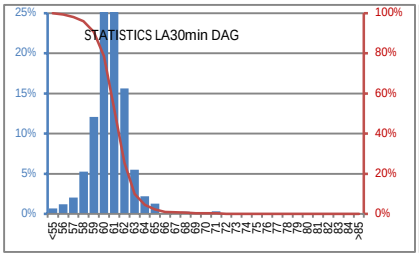


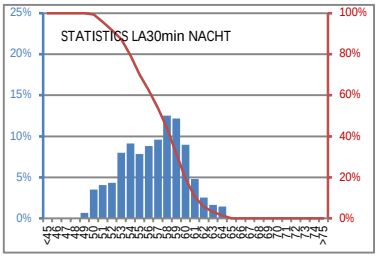




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	63 dB
LAref,nacht,in =	61 dB
LAref,in =	66 dB

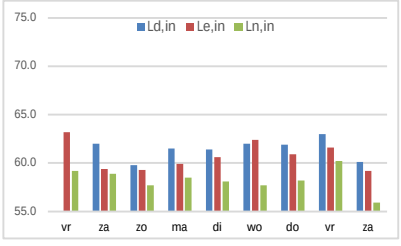


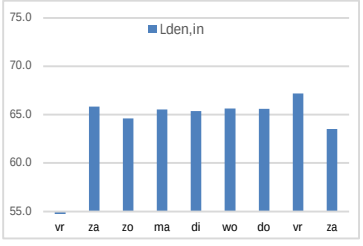


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	63 dB
LAref,nacht,in =	61 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
vr 14 jun 2019		63.2	59.2	
za 15 jun 2019	62.0	59.4	58.9	65.8
zo 16 jun 2019	59.8	59.3	57.7	64.6
ma 17 jun 2019	61.5	59.9	58.5	65.5
di 18 jun 2019	61.4	60.6	58.1	65.4
wo 19 jun 2019	62.0	62.4	57.7	65.6
do 20 jun 2019	61.9	60.9	58.2	65.6
vr 21 jun 2019	63.0	61.6	60.2	67.2
za 22 jun 2019	60.1	59.2	55.9	63.5
gemiddeld	61.5	60.7	58.3	65.4





Lday,in =	61 dB
Levening,in =	61 dB
Lnight,in =	58 dB
Lden,in =	65 dB

Case 6

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
14/06/19	vr	81.5	84.7	75.9	75.8	73.6
15/06/19	za	79.1	80.5	78.3	76.7	75.4
16/06/19	zo	75.9	80.6	77.4	76.2	74.2
17/06/19	ma	78.4	79.1	77.9	77.0	75.5
18/06/19	di	78.2	78.3	77.7	76.9	74.1
19/06/19	wo	77.2	77.7	77.2	76.2	73.3
20/06/19	do	76.1	87.1	77.3	76.1	73.6
21/06/19	vr					
22/06/19	za					
Min 1/wk LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		78.0	81.1	77.4	76.4	74.2
Maximum waarde		81.5	87.09	78.32	76.95	75.52

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Boomsesteenweg - Aartselaar
Type:	Half open zone langs drukke weg
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	2x4 rijstroken - asfalt

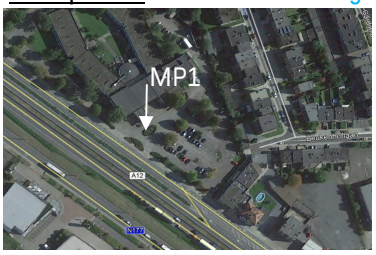
Case ME1

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

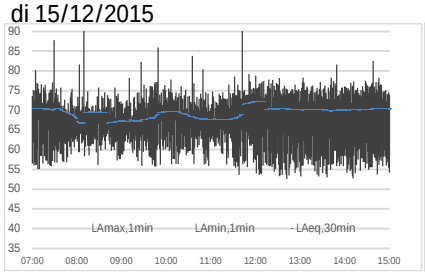
Case ME1

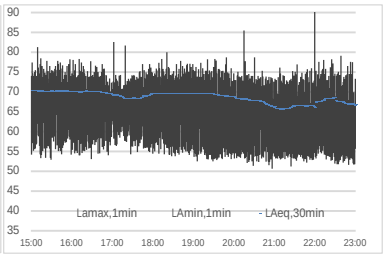
Meetpost 1: Boomsesteenweg - Aartselaar

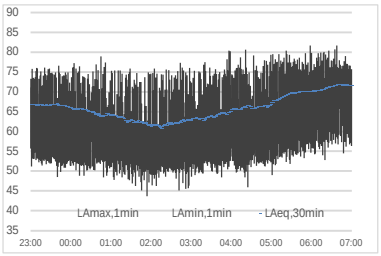
Hoogte: 4m

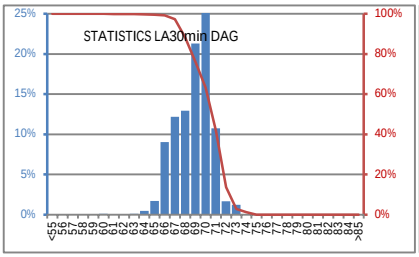


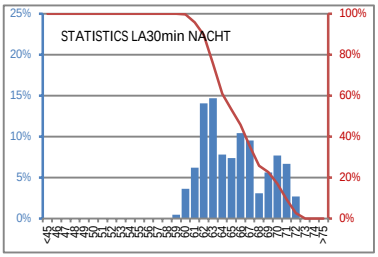
di 15/12/2015





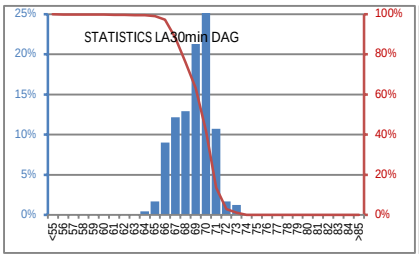


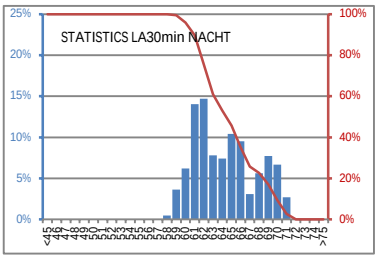




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	71 dB
LAref,nacht,in =	68 dB
LAref,in =	73 dB

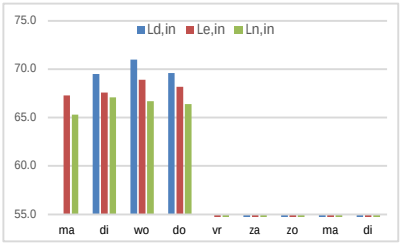


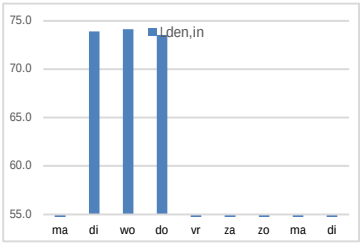


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	71 dB
LAref,nacht,in =	70 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
ma 14 dec 2015		67.3	65.3	
di 15 dec 2015	69.5	67.6	67.1	73.9
wo 16 dec 2015	71.0	68.9	66.7	74.1
do 17 dec 2015	69.6	68.2	66.4	73.5
vr 18 dec 2015				
za 19 dec 2015				
zo 20 dec 2015				
ma 21 dec 2015				
di 22 dec 2015				
gemiddeld	70.0	68.0	66.4	73.9





Lday,in =	70 dB
Levening,in =	68 dB
Lnight,in =	66 dB
Lden,in =	74 dB

Case ME1

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
14/12/15	ma	80.9	88.8	81.0	80.0	79.1
15/12/15	di	80.6	81.7	80.7	80.4	79.9
16/12/15	wo	80.1	97.7	83.3	80.1	79.0
17/12/15	do	80.3	82.6	80.5	80.3	79.4
18/12/15	vr					
19/12/15	za					
20/12/15	zo					
21/12/15	ma					
22/12/15	di					
Min 1/wk LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		80.5	87.7	81.4	80.2	79.4
Maximum waarde		80.9	97.7	83.3	80.4	79.9

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Dorpstraat - Emblem
Type:	Zone tussen steenweg en dorp weg
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	2 maal 2x1 rijstroken

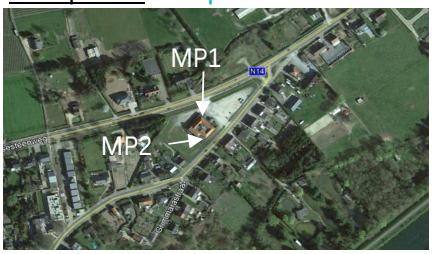
Case ME2A

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

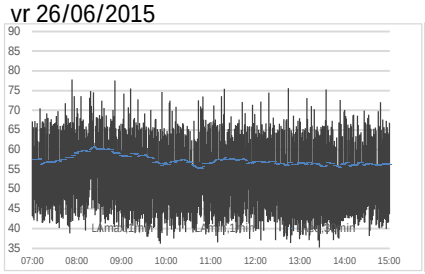
Case ME2A

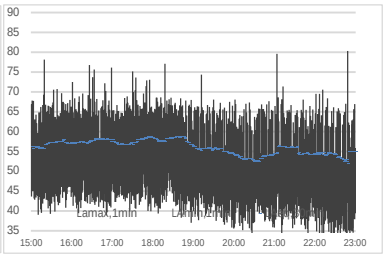
Meetpost 1: Dorpstraat - Emblem

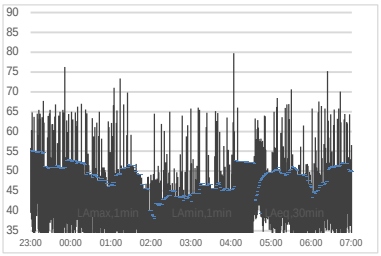
Hoogte: 6m

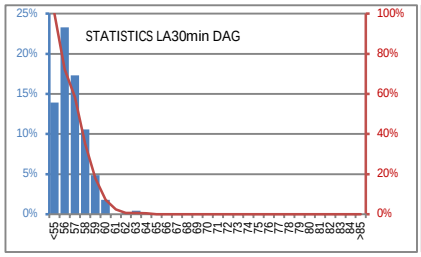


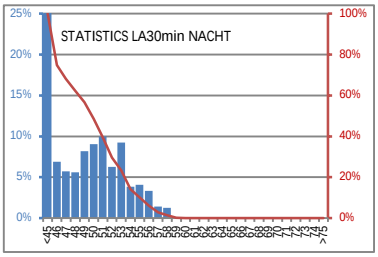
vr 26/06/2015





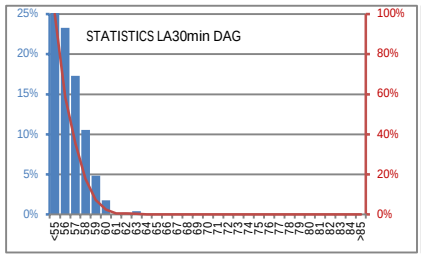


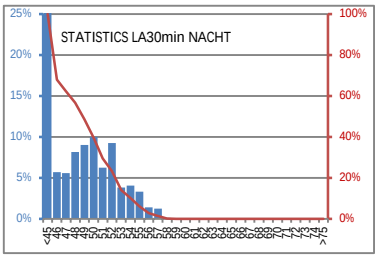




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	59 dB
LAref,nacht,2m =	53 dB
LAref,2m =	59 dB

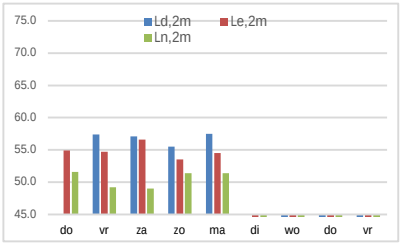


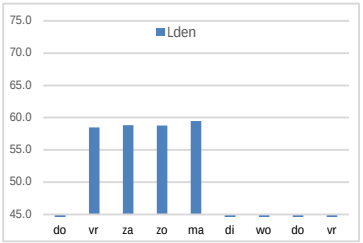


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	59 dB
LAref,nacht,2m =	54 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
do 25 jun 2015		54.9	51.6	
vr 26 jun 2015	57.4	54.7	49.2	58.5
za 27 jun 2015	57.1	56.6	49.0	58.8
zo 28 jun 2015	55.5	53.5	51.4	58.8
ma 29 jun 2015	57.5	54.5	51.4	59.5
di 30 jun 2015				
wo 01 jul 2015				
do 02 jul 2015				
vr 03 jul 2015				
gemiddeld	56.9	54.8	50.5	58.9





Lday,2m =	57 dB
Levening,2m =	55 dB
Lnight,2m =	51 dB
Lden,2m =	59 dB

Case ME2A

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
25/06/15	do	72.1	78.8	76.7	74.3	
26/06/15	vr	76.3	79.8	75.2	71.0	
27/06/15	za		76.3			
28/06/15	zo	72.3	82.9	77.6	74.3	71.0
29/06/15	ma	75.3	75.9	75.4	75.3	72.3
30/06/15	di					
1/07/15	wo					
2/07/15	do					
3/07/15	vr					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		74.0	78.7	76.2	73.7	71.7
Maximum waarde		76.3	82.9	77.6	75.3	72.3

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Oostmalsesteenweg - Emblem
Type:	Zone tussen steenweg en dorp weg
Bron:	Wegverkeer
Beschrijving:	2 maal 2x1 rijstroken

Case ME2B

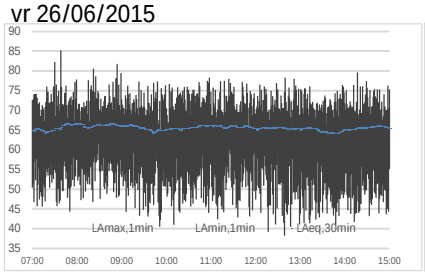
GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

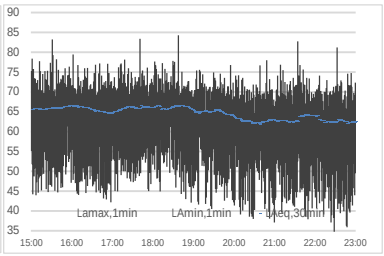
Case ME2B

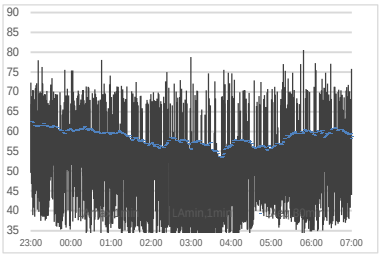
Meetpost 1: Oostmalsesteenweg - Emblem

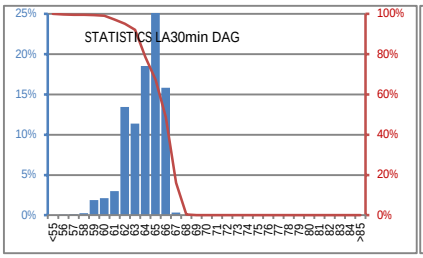
Hoogte: 6m

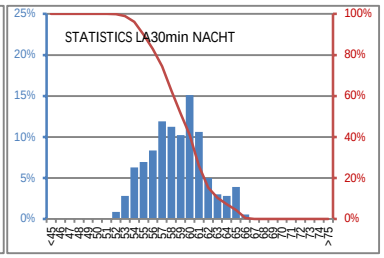
vr 26/06/2015





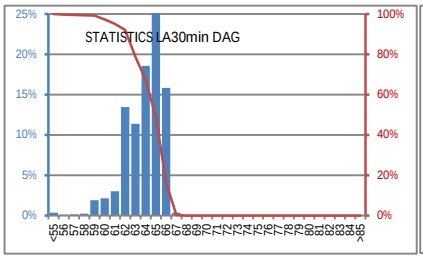


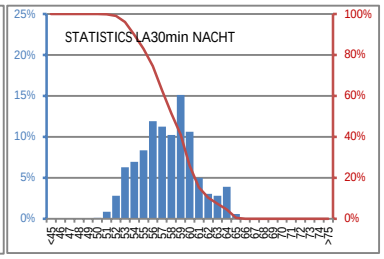




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	66 dB
LAref,nacht,2m =	62 dB
LAref,2m =	67 dB

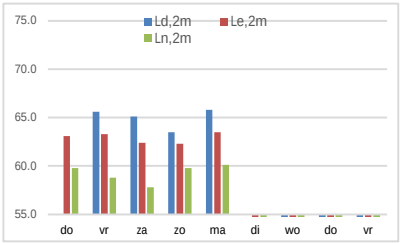


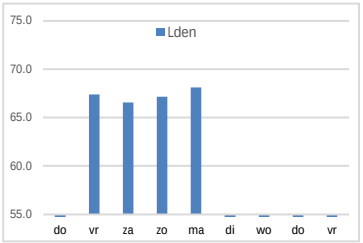


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	66 dB
LAref,nacht,2m =	62 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
do 25 jun 2015		63.1	59.8	
vr 26 jun 2015	65.6	63.3	58.8	67.4
za 27 jun 2015	65.1	62.4	57.8	66.6
zo 28 jun 2015	63.5	62.3	59.8	67.2
ma 29 jun 2015	65.8	63.5	60.1	68.1
di 30 jun 2015				
wo 01 jul 2015				
do 02 jul 2015				
vr 03 jul 2015				
gemiddeld	65.0	62.9	59.3	67.3





Lday,2m =	65 dB
Levening,2m =	63 dB
Lnight,2m =	59 dB
Lden,2m =	67 dB

Case ME2B

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
25/06/15	do	80.0	81.2	80.0	78.0	77.2
26/06/15	vr	78.8	80.6	78.1	77.2	75.6
27/06/15	za	75.3	76.7	76.2	75.1	73.9
28/06/15	zo	78.5	81.5	79.3	78.5	77.3
29/06/15	ma	79.6	82.9	80.4	79.6	78.3
30/06/15	di					
1/07/15	wo					
2/07/15	do					
3/07/15	vr					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		78.4	80.6	78.8	77.7	76.5
Maximum waarde		80.0	82.9	80.4	79.6	78.3

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Nationalestraat - Antwerpen
Type:	Gesloten bebouwing naast tram en autoweg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x1 rijbaan + 2x1 trambaan

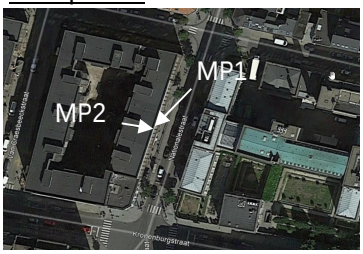
Case ME3A

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

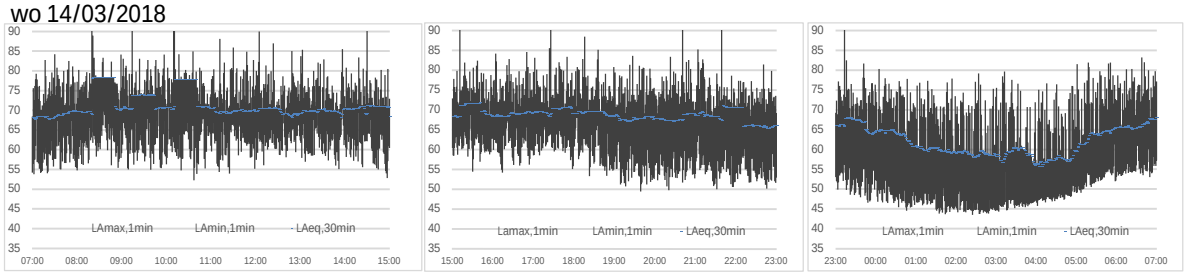
Case ME3A

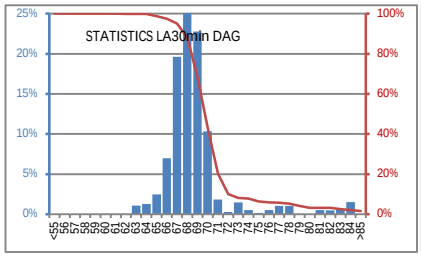
Meetpost 1: Nationalestraat - Antwerpen

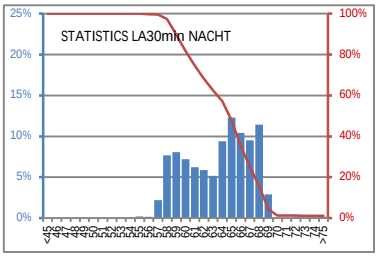
Hoogte: 6m



wo 14/03/2018

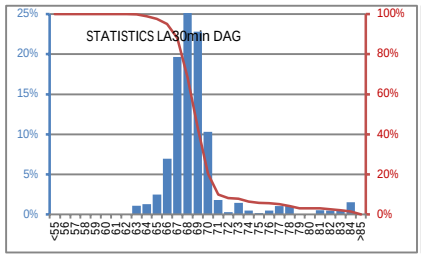


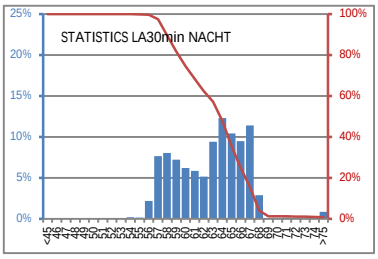




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	68 dB
LAref,2m =	73 dB

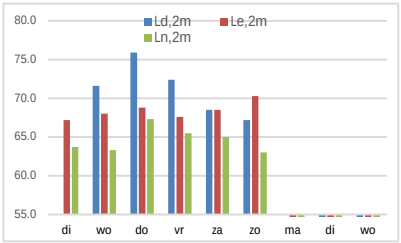


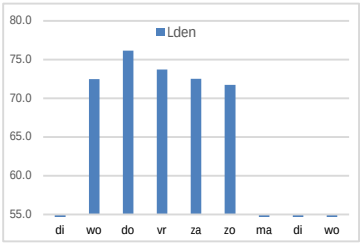


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	71 dB
LAref,nacht,2m =	67 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
di 13 mrt 2018		67.2	63.7	
wo 14 mrt 2018	71.6	68.0	63.3	72.5
do 15 mrt 2018	75.9	68.8	67.3	76.2
vr 16 mrt 2018	72.4	67.6	65.5	73.7
za 17 mrt 2018	68.5	68.5	65.0	72.5
zo 18 mrt 2018	67.2	70.3	63.0	71.7
ma 19 mrt 2018				
di 20 mrt 2018				
wo 21 mrt 2018				
gemiddeld	71.1	68.4	64.6	73.3





Lday,2m =	71 dB
Levening,2m =	68 dB
Lnight,2m =	65 dB
Lden,2m =	73 dB

Case ME3A

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
13/03/18	di	85.0	91.3	85.0	83.6	82.2
14/03/18	wo	81.9	92.3	82.5	81.9	80.3
15/03/18	do	88.4	92.0	88.0	87.1	83.1
16/03/18	vr	89.2	93.4	89.2	83.6	80.9
17/03/18	za	83.0	89.0	83.0	81.8	79.8
18/03/18	zo	83.0	84.1	83.0	82.3	81.4
19/03/18	ma					
20/03/18	di					
21/03/18	wo					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		85.1	90.3	85.1	83.4	81.3
Maximum waarde		89.2	93.4	89.2	87.1	83.1

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Nationalestraat - Antwerpen
Type:	Gesloten bebouwing naast tram en autoweg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x1 rijbaan + 2x1 trambaan

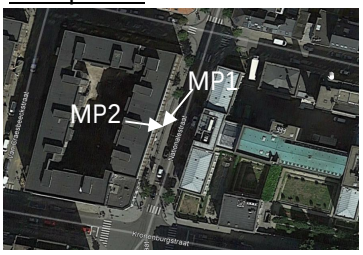
Case ME3B

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

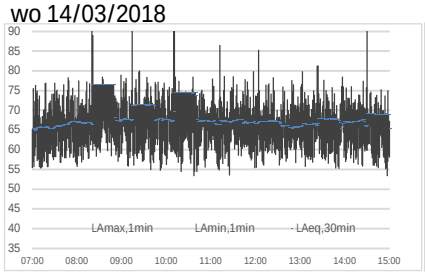
Case ME3B

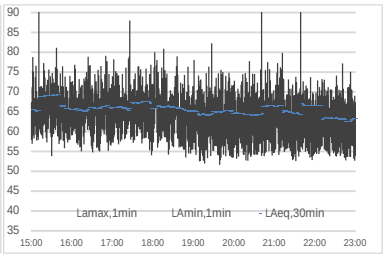
Meetpost 2: Nationalestraat - Antwerpen

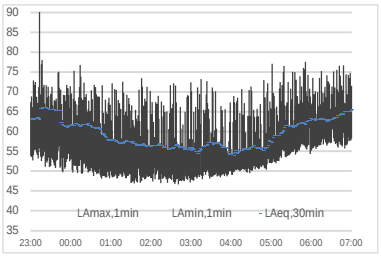
Hoogte: 20m

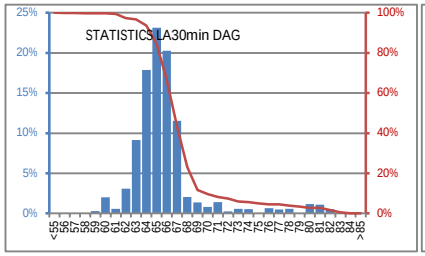


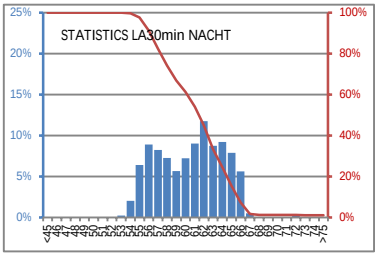
wo 14/03/2018





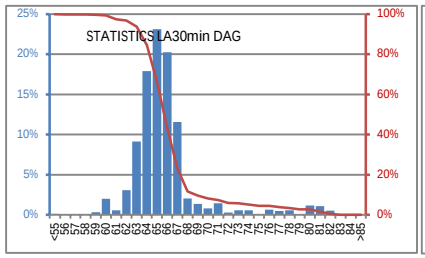


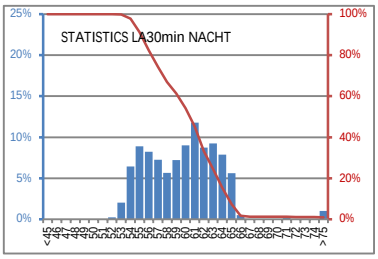




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	69 dB
LAref,nacht,2m =	65 dB
LAref,2m =	70 dB

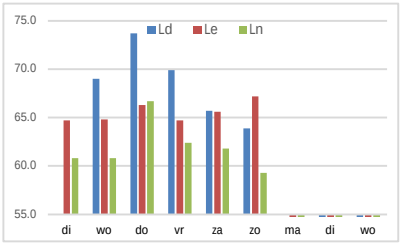


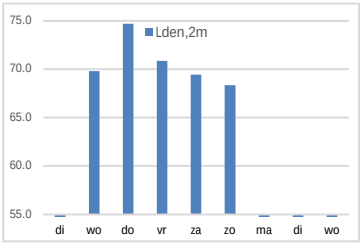


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	69 dB
LAref,nacht,2m =	65 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
di 13 mrt 2018		64.7	60.8	
wo 14 mrt 2018	69.0	64.8	60.8	69.8
do 15 mrt 2018	73.7	66.3	66.7	74.7
vr 16 mrt 2018	69.9	64.7	62.4	70.9
za 17 mrt 2018	65.7	65.6	61.8	69.5
zo 18 mrt 2018	63.9	67.2	59.3	68.3
ma 19 mrt 2018				
di 20 mrt 2018				
wo 21 mrt 2018				
gemiddeld	68.4	65.6	62.0	70.6





Lday,2m =	68 dB
Levening,2m =	66 dB
Lnight,2m =	62 dB
Lden,2m =	71 dB

Case ME3B

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
13/03/18	di	79.4	89.4	79.0	78.2	76.4
14/03/18	wo	77.6	92.0	77.6	76.7	75.6
15/03/18	do	88.5	91.5	88.5	83.9	77.5
16/03/18	vr	83.8	90.3	83.8	80.5	75.7
17/03/18	za	80.4	88.7	80.4	76.7	75.4
18/03/18	zo	78.8	80.3	76.6	76.5	75.8
19/03/18	ma					
20/03/18	di					
21/03/18	wo					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		81.4	88.7	80.9	78.7	76.0
Maximum waarde		88.5	92.0	88.5	83.9	77.5

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Britselei - Antwerpen
Type:	Gesloten bebouwing naast tram en autoweg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x2 rijbaan + 2x1 trambaan

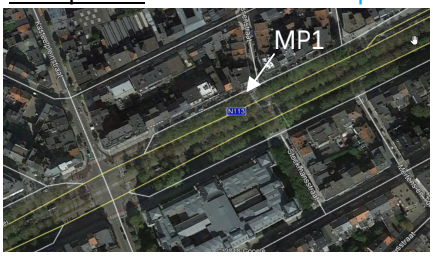
Case ME4

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

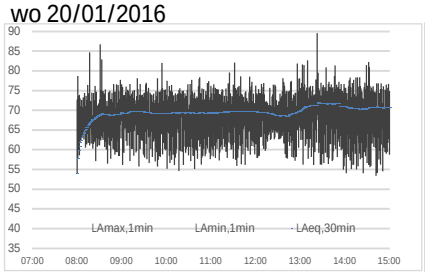
Case ME4

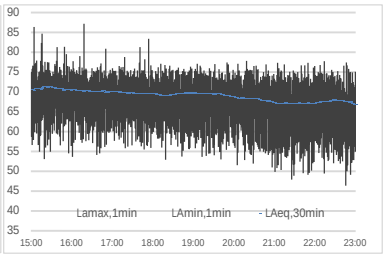
Meetpost 1: Britselei - Antwerpen

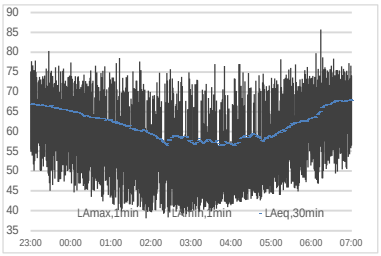
Hoogte: 5m

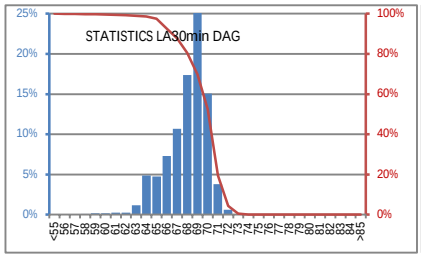


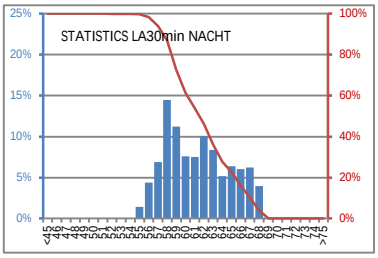
wo 20/01/2016





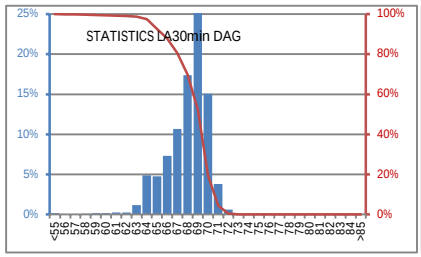


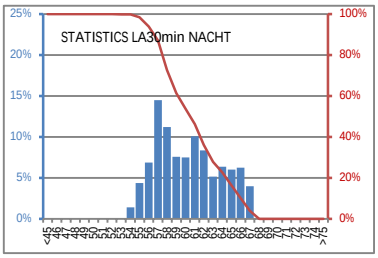




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	70 dB
LAref,nacht,2m =	67 dB
LAref,2m =	72 dB

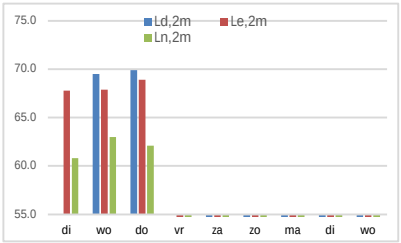


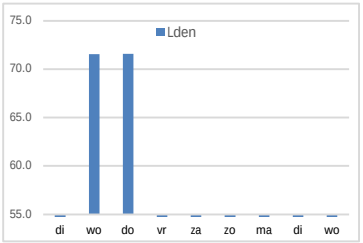


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	70 dB
LAref,nacht,2m =	66 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
di 19 jan 2016		67.8	60.8	
wo 20 jan 2016	69.5	67.9	63.0	71.6
do 21 jan 2016	69.9	68.9	62.1	71.6
vr 22 jan 2016				
za 23 jan 2016				
zo 24 jan 2016				
ma 25 jan 2016				
di 26 jan 2016				
wo 27 jan 2016				
gemiddeld	69.7	68.2	62.0	71.6





Lday,2m =	70 dB
Levening,2m =	68 dB
Lnight,2m =	62 dB
Lden,2m =	72 dB

Case ME4

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
19/01/16	di	78.6	80.6	78.0	77.4	77.0
20/01/16	wo	78.2	85.7	79.7	78.5	77.6
21/01/16	do	79.0	83.7	80.0	78.1	76.3
22/01/16	vr					
23/01/16	za					
24/01/16	zo					
25/01/16	ma					
26/01/16	di					
27/01/16	wo					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		78.6	83.3	79.2	78.0	77.0
Maximum waarde		79.0	85.7	80	78.5	77.6

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Mechelsesteenweg - Antwerpen
Type:	Gesloten bebouwing naast tram en autoweg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x1 rijbaan + 2x1 trambaan

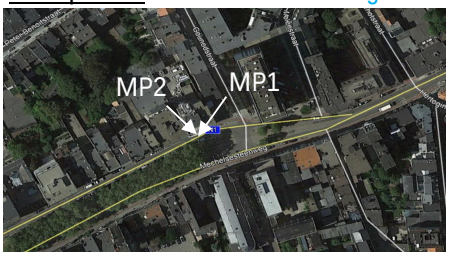
Case ME5A

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

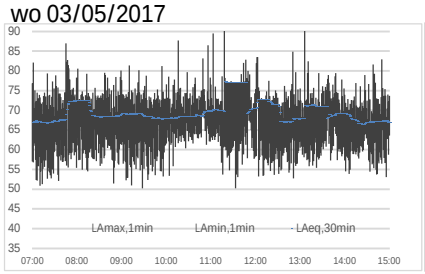
Case ME5A

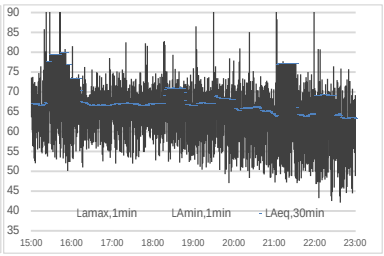
Meetpost 1: Mechelsesteenweg - Antwerpen

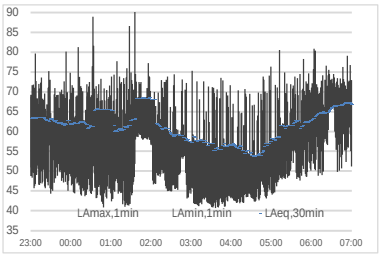
Hoogte: 7m

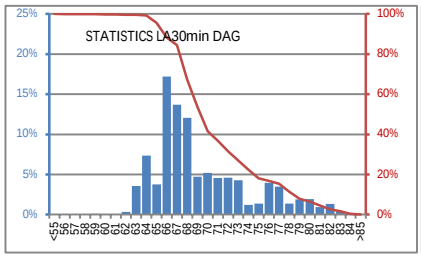


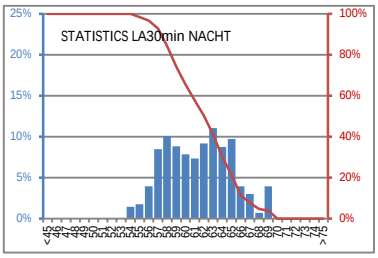
wo 03/05/2017





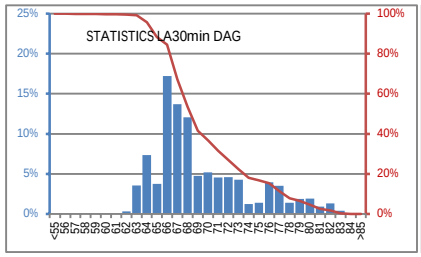


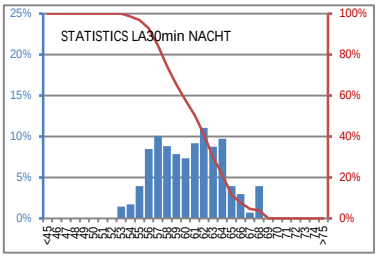




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	77 dB
LAref,nacht,2m =	65 dB
LAref,2m =	77 dB

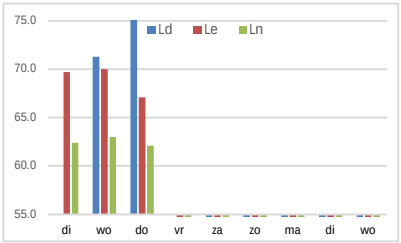


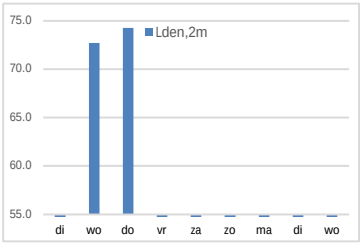


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	77 dB
LAref,nacht,2m =	65 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
di 02 mei 2017		69.7	62.4	
wo 03 mei 2017	71.3	70.0	63.0	72.7
do 04 mei 2017	75.7	67.1	62.1	74.3
vr 05 mei 2017				
za 06 mei 2017				
zo 07 mei 2017				
ma 08 mei 2017				
di 09 mei 2017				
wo 10 mei 2017				
gemiddeld	73.5	68.9	62.5	73.5





Lday,2m =	74 dB
Levening,2m =	69 dB
Lnight,2m =	63 dB
Lden,2m =	73 dB

Case ME5A

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
2/05/17	di	79.3	80.9	79.3	78.9	77.4
3/05/17	wo	86.6	92.6	86.6	80.9	79.1
4/05/17	do	84.8	87.8	81.4	78.8	77.3
5/05/17	vr					
6/05/17	za					
7/05/17	zo					
8/05/17	ma					
9/05/17	di					
10/05/17	wo					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		83.6	87.1	82.4	79.5	78.0
Maximum waarde		86.6	92.6	86.6	80.9	79.1

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Mechelsesteenweg - Antwerpen
Type:	Gesloten bebouwing naast tram en autoweg
Bron:	Wegverkeer + Tramverkeer
Beschrijving:	2x1 rijbaan + 2x1 trambaan

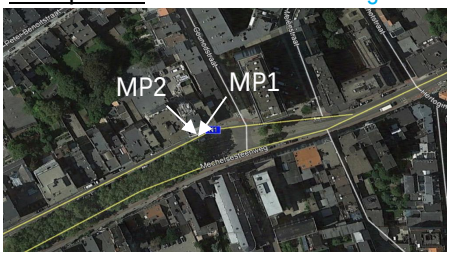
Case ME5B

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

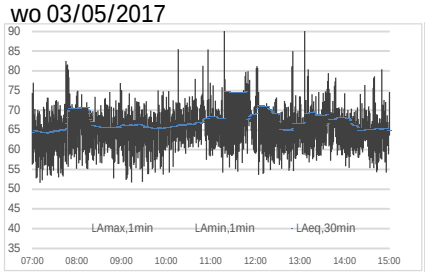
Case ME5B

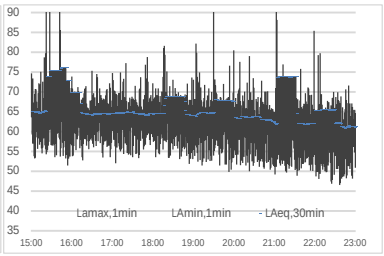
Meetpost 2: Mechelsesteenweg - Antwerpen

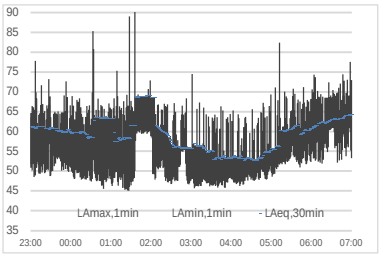
Hoogte: 22m

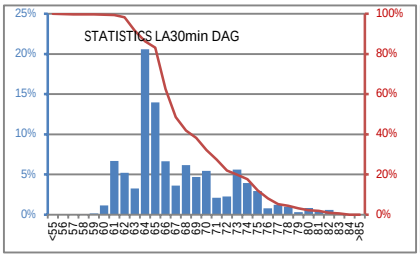


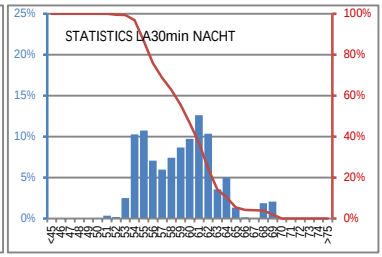
wo 03/05/2017





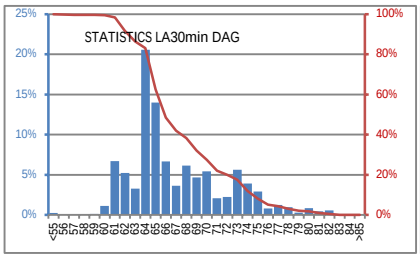


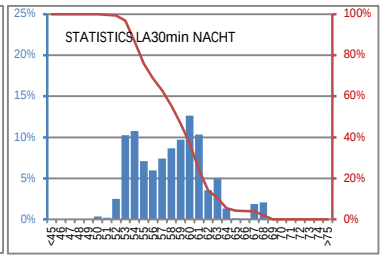




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	74 dB
LAref,nacht,2m =	62 dB
LAref,2m =	74 dB

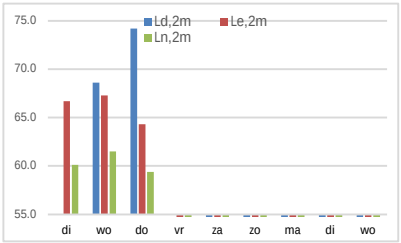


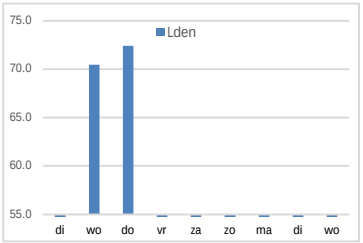


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	74 dB
LAref,nacht,2m =	63 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
di 02 mei 2017		66.7	60.1	
wo 03 mei 2017	68.6	67.3	61.5	70.5
do 04 mei 2017	74.2	64.3	59.4	72.4
vr 05 mei 2017				
za 06 mei 2017				
zo 07 mei 2017				
ma 08 mei 2017				
di 09 mei 2017				
wo 10 mei 2017				
gemiddeld	71.4	66.1	60.3	71.5





Lday,2m =	71 dB
Levening,2m =	66 dB
Lnight,2m =	60 dB
Lden,2m =	71 dB

Case ME5B

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
2/05/17	di	75.4	78.2	75.9	75.4	72.8
3/05/17	wo	85.3	94.1	85.3	77.8	74.4
4/05/17	do	79.6	81.4	75.1	74.6	72.5
5/05/17	vr					
6/05/17	za					
7/05/17	zo					
8/05/17	ma					
9/05/17	di					
10/05/17	wo					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		80.1	84.6	78.8	75.9	73.2
Maximum waarde		85.3	94.1	85.3	77.8	74.4

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Fodderiestraat - Antwerpen
Type:	70m afstand tov treinspoor
Bron:	Treinverkeer
Beschrijving:	2x1 treinspoor

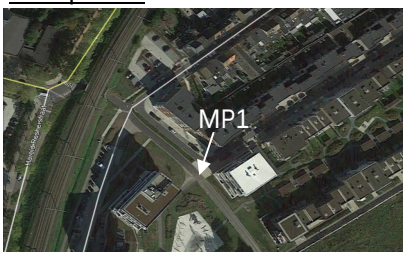
Case ME6

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

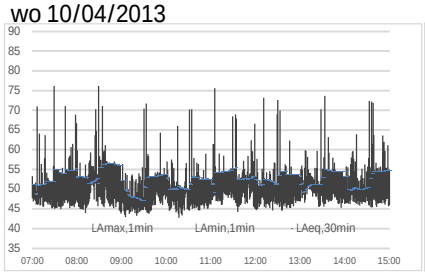
Case ME6

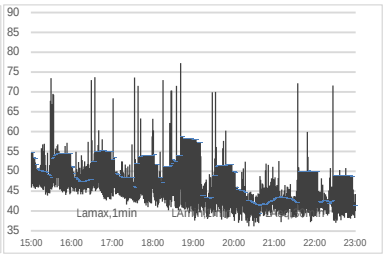
Meetpost 1: Fodderiestraat - Antwerpen

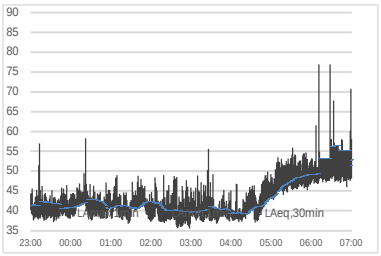
Hoogte: 4m

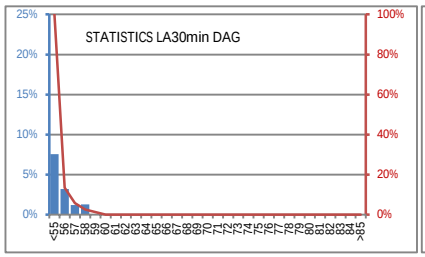


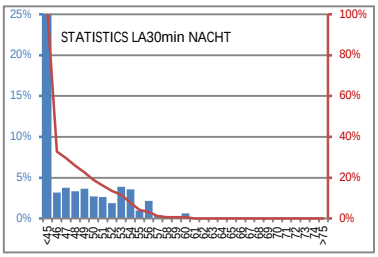
wo 10/04/2013





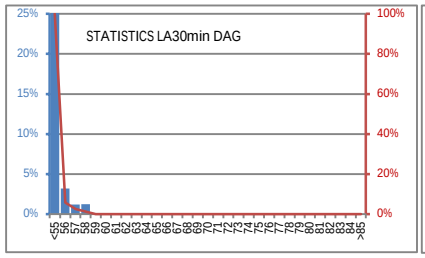


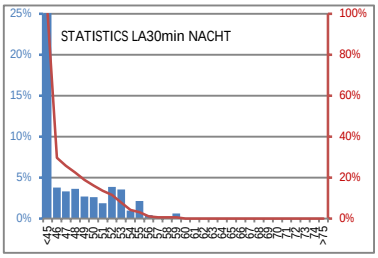




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	55 dB
LAref,nacht,in =	51 dB
LAref,in =	56 dB

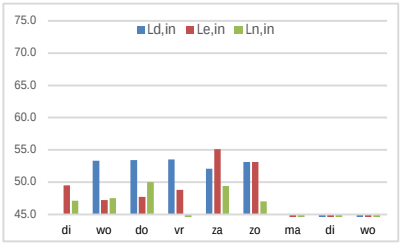


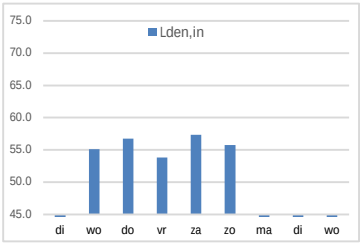


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	55 dB
LAref,nacht,in =	53 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
di 09 apr 2013		49.5	47.1	
wo 10 apr 2013	53.3	47.2	47.5	55.1
do 11 apr 2013	53.4	47.7	50.0	56.8
vr 12 apr 2013	53.5	48.8	44.2	53.8
za 13 apr 2013	52.1	55.1	49.4	57.3
zo 14 apr 2013	53.1	53.1	47.0	55.8
ma 15 apr 2013				
di 16 apr 2013				
wo 17 apr 2013				
gemiddeld	53.1	50.2	47.5	55.7





Lday,in =	53 dB
Levening,in =	50 dB
Lnight,in =	48 dB
Lden,in =	56 dB

Case ME6

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
9/04/13	di		76.4	71.6		
10/04/13	wo		76.9	70.8		
11/04/13	do		77.8	74.9		
12/04/13	vr					
13/04/13	za	76.4	76.4	74.7		
14/04/13	zo		70.5	70.5		
15/04/13	ma					
16/04/13	di					
17/04/13	wo					
Min 1/wk LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		76.4	75.6	72.5	#DIV/0!	#DIV/0!
Maximum waarde		76.4	77.8	74.9	0	0

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Molenlei - Boechout
Type:	30m afstand tov treinspoor
Bron:	Treinverkeer
Beschrijving:	2x1 treinspoor

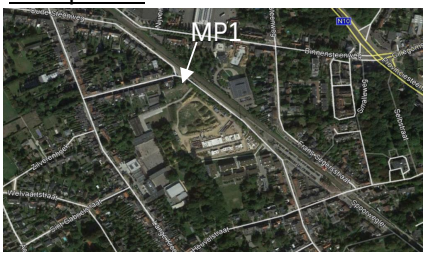
Case ME7

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

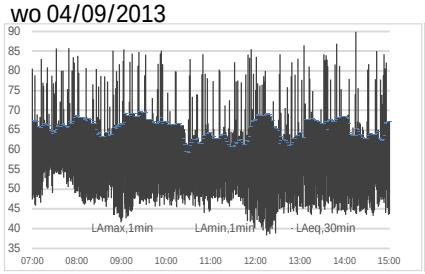
Case ME7

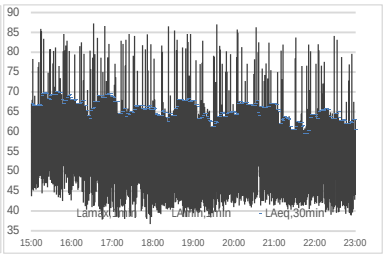
Meetpost 1: Molenlei - Boechout

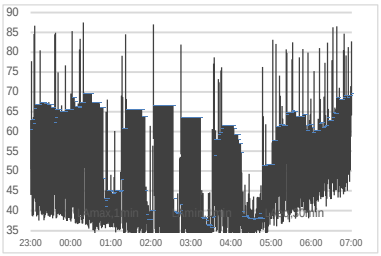
Hoogte: 4m

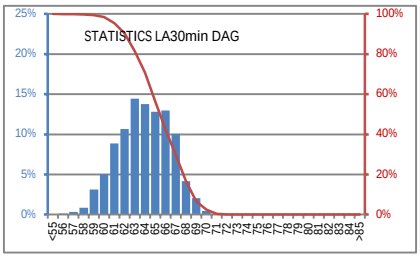


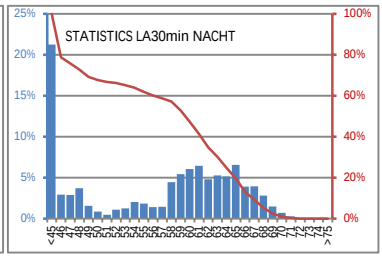
wo 04/09/2013





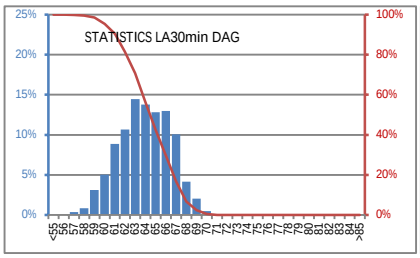


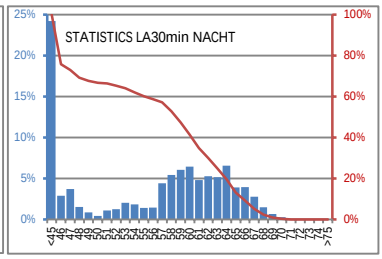




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,in =	68 dB
LAref,nacht,in =	66 dB
LAref,in =	71 dB

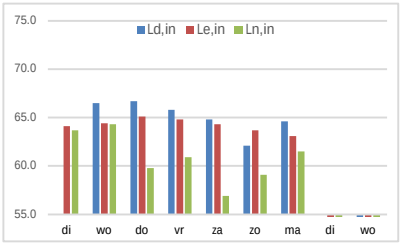


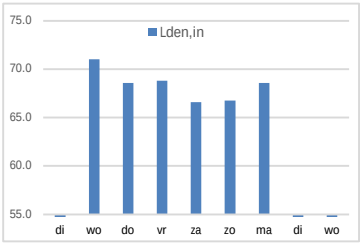


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,in =	68 dB
LAref,nacht,in =	66 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,in	Le,in	Ln,in	Lden,in
di 03 sep 2013		64.1	63.7	
wo 04 sep 2013	66.5	64.4	64.3	71.0
do 05 sep 2013	66.7	65.1	59.8	68.6
vr 06 sep 2013	65.8	64.8	60.9	68.8
za 07 sep 2013	64.8	64.3	56.9	66.6
zo 08 sep 2013	62.1	63.7	59.1	66.8
ma 09 sep 2013	64.6	63.1	61.5	68.6
di 10 sep 2013				
wo 11 sep 2013				
gemiddeld	65.1	64.2	60.9	68.4





Lday,in =	65 dB
Levening,in =	64 dB
Lnight,in =	61 dB
Lden,in =	68 dB

Case ME7

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,in	Lamax,1x,in	Lamax,3x,in	Lamax,5x,in	Lamax,10x,in
3/09/13	di	86.1	89.4	86.1	86.0	83.2
4/09/13	wo	86.7	87.5	86.7	86.3	83.4
5/09/13	do	82.6	85.0	82.2	82.1	80.4
6/09/13	vr	82.4	85.8	83.7	81.2	79.4
7/09/13	za	83.3	86.2	82.1	81.1	76.8
8/09/13	zo	84.6	85.7	81.4	80.6	78.5
9/09/13	ma	84.9	87.9	84.9	82.0	79.8
10/09/13	di					
11/09/13	wo					
Min 1/wk LAmax,3x,in > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		84.4	86.8	83.9	82.8	80.2
Maximum waarde		86.7	89.4	86.7	86.3	83.4

INFORMATIEFICHE

Locatie:	Lovenjoel
Type:	280m afstand tov treinspoor
Bron:	Treinverkeer
Beschrijving:	2x1 treinspoor

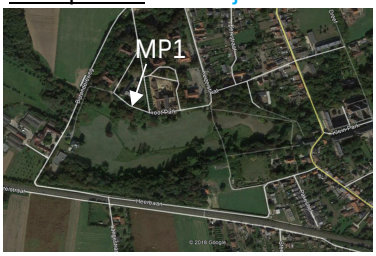
Case ME8

GELUIDSBELASTING O.B.V. METINGEN

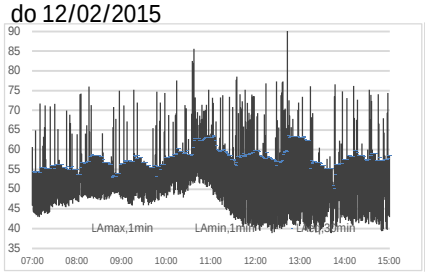
Case ME8

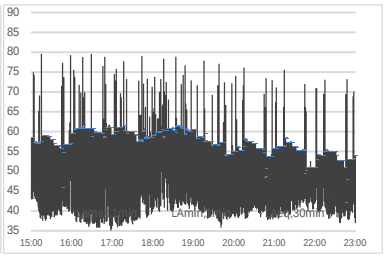
Meetpost 1: Lovenjoel

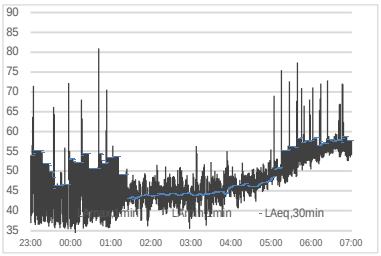
Hoogte: 6m

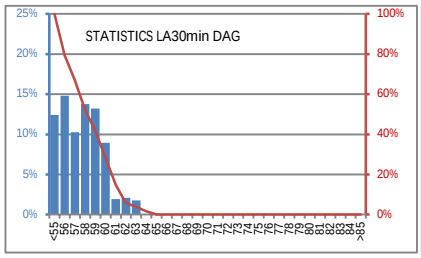


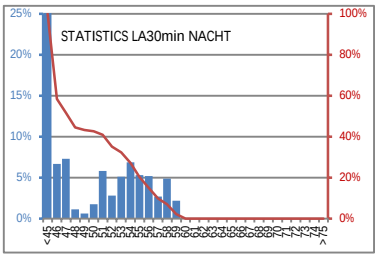
do 12/02/2015





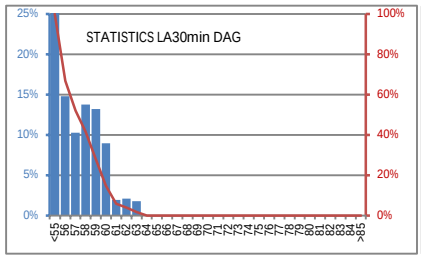


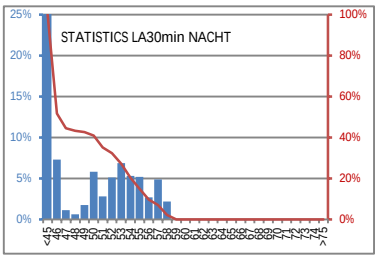




cfr NBN S01-400-1 (2008)

LAref,dag,2m =	61 dB
LAref,nacht,2m =	55 dB
LAref,2m =	61 dB

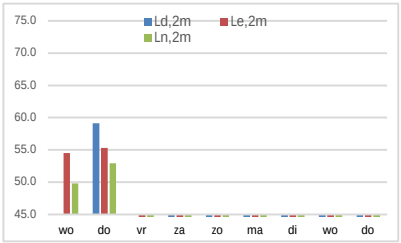


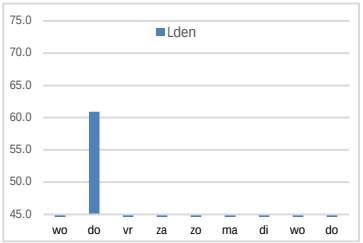


cfr NBN S01-400-1 (2019)

LAref,dag,2m =	61 dB
LAref,nacht,2m =	56 dB

Datum	Europese parameters [dBA]			
	Ld,2m	Le,2m	Ln,2m	Lden,2m
wo 11 feb 2015		54.5	49.8	
do 12 feb 2015	59.1	55.3	52.9	60.9
vr 13 feb 2015				
za 14 feb 2015				
zo 15 feb 2015				
ma 16 feb 2015				
di 17 feb 2015				
wo 18 feb 2015				
do 19 feb 2015				
gemiddeld	59.1	54.9	51.4	60.9





Lday,2m =	59 dB
Levening,2m =	55 dB
Lnight,2m =	51 dB
Lden,2m =	61 dB

Case ME8

PIEKGELUIDEN

Datum	Dag	22u-06u	23u-07u			
		Lamax,3x,2m	Lamax,1x,2m	Lamax,3x,2m	Lamax,5x,2m	Lamax,10x,2m
11/02/15	wo	72.7	73.6	72.7	71.1	70.1
12/02/15	do	75.5	81.0	75.5	72.6	71.1
13/02/15	vr					
14/02/15	za					
15/02/15	zo					
16/02/15	ma					
17/02/15	di					
18/02/15	wo					
19/02/15	do					
Min 1/wk LAmax,3x,2m > 70?		ja		ja		
Gemiddelde waarde		74.1	77.3	74.1	71.9	70.6
Maximum waarde		75.5	81.0	75.5	72.6	71.1

Koning Albert II laan 20/8
1000 Brussel
omgevingvlaanderen.be