

Onderzoek verschillen CNOSSOS en SRM2

Verschillen CNOSSOS en SRM2 Duiding van de oorzaak van de verschillen

Status	definitief
Versie	003
Rapport	M.2022.1089.02.R001
Datum	22 december 2023



Colofon

Opdrachtgever	RIVM Postbus 1 3720 BA BILTHOVEN
Contactpersoon opdrachtgever	de heer A. Kok 030 274 86 77 arnaud.kok@rivm.nl
Project Betreft Uw kenmerk	Onderzoek verschillen CNOSSOS-SRM2 Fase 2 - duiding oorzaak verschillen -
Rapport Datum Versie Status	M.2022.1089.02.R001 22 december 2023 003 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
Contactpersoon	A.M.A. (Adrienne) Maassen - van 't Hullenaar 088 346 78 16 hl@dgmr.nl
Auteur	ing. T. (Tim) Vergoed 088 346 78 58 tvr@dgmr.nl
Projectadviseur	ir. M.H.J. (Mark) Bakermans 088 346 78 50 bk@dgmr.nl
2e lezer/secr.	BK SBu

Samenvatting

Voor de vierde karteringsronde (2021) is voor het eerst gebruik gemaakt van de Europese rekenmethode voor omgevingsgeluid (CNOSSOS). Met de invoering van de rekenmethode is niet alleen de rekenmethodiek aangepast, maar ook de bronemissies en verwerkingsmethoden. Overheden die de geluidskartering uitgevoerd hebben zien grote verschillen met de voorgaande karteringsronde. In opdracht van het RIVM hebben dBvision en DGMR-onderzoek gedaan naar de verschillen. In deze rapportage (fase 2) is de technische kant belicht. In de onderzoeken is telkens gebruik gemaakt van de door DGMR opgestelde geluidsmodellen van de 4^e ronde, die in zowel CNOSSOS als de SRM2 methode doorgerekend is.

Uit onderzoek naar de geluidsemissie is geconstateerd dat met name voor wegverkeer grote verschillen in de emissiecijfers zitten. Met name bij wegvakken met een gesloten asfaltverharding of een klinkerverharding zijn grote verschillen tussen CNOSSOS en SRM2 gevonden. Bij klinkerwegen met 30 km/u worden de grootste verschillen gevonden. Dit is opvallend, omdat de emissiekentallen gebaseerd zijn op de emissiekentallen uit SRM2.

Een ander significant effect is het effect van bodemreflecties op het geluidsniveau. Op harde bodem wordt op korte afstand 1 dB toename gevonden. Op grotere afstand nemen de geluidsniveaus met maximaal 4 dB toe. Ook op zachte bodem zijn significante verschillen gevonden op grotere afstand. Op basis van diverse metingen is in het verleden vastgesteld dat SRM2 een redelijk goede overeenstemming geeft tussen rekenen en meten.

Het gecombineerde effect van de toename van de geluidsemissie en het bodemeffect is een toename van gemiddeld 3 dB bij lokaal en provinciaal wegverkeer op korte afstand. Op grotere afstand neemt de geluidsbelasting met gemiddeld 6 dB toe. Voor Rijkswegen wordt rond wegen met enkellaags en tweelaags zoab een min of meer gelijk geluidsniveau gevonden. Bij Rijkswegen neemt de geluidsimmissie wel toe rond wegen met referentiewegdek en fijn tweelaags zoab.

De gewijzigde methode van tellen resulteert in een lager percentage blootgestelde woonobjecten. Met name in dichtbebouwde gemeenten neemt het percentage blootgestelde woonobjecten met ongeveer 9 procentpunt af. Voor gemeenten met veel grondgebonden woningen neemt het percentage met 1 procentpunt af.

Door de gewijzigde rekenmethode en geluidsemissie neemt het aantal blootgestelde woningen met 9 tot 22 procentpunt toe. Over het algemeen neemt door alle veranderingen het percentage blootgestelde woonobjecten met 5 tot 10 procentpunt toe.

Inhoud

1. Inleiding	5
2. Rekenmethoden voor kartering	7
2.1 Verzameling van data	7
2.2 Modelleervoorschriften	7
2.3 Verwerkingsvoorschrift	8
3. Emissiemodel	9
3.1 Wegverkeer	9
3.2 Treinverkeer	17
3.3 Tramverkeer (lightrail)	21
3.4 Bruggeluid	23
4. Overdrachtsmodel	26
4.1 Bodemdemping, onafgeschermd	27
4.2 Afgeschermdde situaties	34
4.3 Zachte bodem onder poreuze wegdekken	37
4.4 Reflecties	38
5. Immissieverschillen	39
5.1 Lokaal wegverkeer	39
5.2 Vergelijk met metingen (binnenstedelijk)	41
5.3 Rijkswegen	41
5.4 Railverkeer	43
6. Verschillen in analyse	49
6.1 Inwoners	49
6.2 Definitie geluidsklassen	49
6.3 Bepaling aantal blootgestelden (telmethode)	51
6.4 Verschil rekenmethode	56
6.5 Samenvattend	57
7. Conclusie	60
8. Verwijzingen	63

Bijlagen

Bijlage 1	Fouten in formules RMG2012
-----------	----------------------------

1. Inleiding

De toegewezen overheden (het Rijk, de provincies en agglomeratiegemeenten) stellen elke 5 jaar geluidsbelastingkaarten vast op grond van de Europese geluidsbelastingkaarten. In vergelijking met de vorige karteringsronde (2016) worden grote verschillen gevonden. Het RIVM gaat een handreiking opstellen voor het communiceren over deze verschillen. Het RIVM heeft dBvision en DGMR gevraagd hier bouwstenen voor aan te rijken. Dit gebeurt in twee fasen. In de eerste fase heeft dBvision de verschillen gekwantificeerd. In de tweede fase (voortliggend rapport) is geanalyseerd waardoor deze verschillen zijn ontstaan. De verschillen in de geluidsbelastingkaarten kunnen hun oorzaak hebben in drie onderdelen:

- 1 Verschillende uitgangspunten en bronnen
- 2 Verschil in de rekenmethode
- 3 Verschil in de analyse

De verandering van uitgangspunten is een oorzaak die elke karteringsronde terugkomt. Door de jaren heen kunnen de datakwaliteit, uitgangspunten en uitvoerende partijen verschillen. Deze effecten zijn lastig te kwantificeren. Hierom is in dit onderzoek voor alle vergelijkingen gewerkt met de modellen van de 4^e karteringsronde (2021).

Een andere grote verandering is de invoering van de Europese rekenmethode [1] (Europese richtlijn 2002/49/EC annex 2) verwerkt in bijlage VII van het Reken- en meetvoorschrift [2], welke voor het gemak (maar foutief) in deze rapportage CNOSSOS¹ genoemd wordt. Deze methode verandert zowel de bronemissie, het overdrachtsmodel én de analysemethode. Daarnaast heeft het Europees milieuagentschap (EEA; [3]) enkele verduidelijkingen en verplichtingen met betrekking tot de analyse ingevoerd.

Hoewel de Europese rekenmethode weg-, rail-, industrie- en luchtvaartgeluid beschouwt, worden in deze rapportage alleen de verschillen door weg- en railverkeer beschreven. Daarbij wordt gekeken naar de Nederlandse implementatie van de rekenmethode, zoals beschreven in bijlage VII van het Reken- en meetvoorschrift 2012 [2]. Voor enkele formules is wel gebruik gemaakt van de (Engelse) Europese tekst [1], omdat deze overzichtelijker zijn dan de formules in de Nederlandse regeling (en deze niet altijd correct overgenomen zijn). Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van Geomilieu versie 2022.41, dat volgens bijlage VII van het RMG rekent².

Leeswijzer

Deze rapportage is opgedeeld in twee delen:

Deel A Dit onderdeel focust zich op de rekenmethode en uitgangspunten. In het kort wordt beschreven wat de eigenschappen en beperkingen van rekenmethoden zijn. Daarna worden de verschillen in het emissiemodel en de (belangrijkste) verschillen in het overdrachtsmodel beschreven. Deze twee veranderingen zijn vervolgens samengebracht waarbij de verschillen op immisniveauniveau beschreven worden.

Deel B Dit deel beschrijft de verschillen in de analyse ten opzichte van de vorige karteringsronde (2016).

Het rapport wordt afgesloten met een conclusie waarin de verschillen samengevat en gewogen worden op impact.

¹ CNOSSOS is de werknaam om te komen tot het nieuwe rekenvoorschrift (COmmon NOise aSSesement methOdS).

² De eerdergenoemde foute formules in bijlage VII zijn bij de implementatie verbeterd in de software opgenomen

Deel A - verschillen in rekenmethode en uitgangspunten

2. Rekenmethoden voor kartering

In de eerste drie Europese karteringsronden mocht (op basis van annex 2) elke lidstaat hun eigen rekenmethode gebruiken, mits hiermee de juiste voorgeschreven geluidsindicatoren gebruikt konden worden. Daarnaast werd een aantal interim-rekenmethoden toegestaan:

- Voor wegverkeersgeluid de rekenmethode NMPB-Routes-96, welke intern veel gelijkenis kent met de Nederlandse rekenmethode en internationale ISO-rekenmethode.
- Voor railverkeersgeluid het Nederlandse Reken- en meetvoorschrift 1996.
- Voor industrielawaai de internationale rekenmethode ISO 9613-2.

Vanaf deze karteringsronde is annex 2 vervangen door een Europees rekenvoorschrift. Dit rekenvoorschrift is gebaseerd op het Franse wegverkeersmodel NMPB-Routes-2008. In dit rekenmodel is een groot aantal wijzigingen [4] gemaakt ten opzichte van NMPB-Routes-1996 (en daarmee ook ten opzichte van de Nederlandse rekenmethode).

In NMPB-Routes-1996 werd voor favourable condities gebruik gemaakt van de formules uit ISO 9613-2:1996. Door de verlaging van de bronhoogte van 0,75 meter naar 0,05 meter, wordt door de auteurs van de rekenmethode gesteld dat de formules uit ISO 9613-2:1996 niet gevalideerd zijn (niet noodzakelijkerwijs incorrect). Vervolgens is gekozen om de formules die voor homogene condities gebruikt werden aan te passen voor favourable condities. Dit is gedaan door de hoogtes te corrigeren voor straalkromming en turbulentie.

Voor geluidskartering bestond in Nederland de optie om in plaats van de Standaard Rekenmethode 2 (SRM2) met een speciale rekenmethode 'Standaard Karteringsmethode 2' (SKM2) te rekenen. Hierbij werden woongebieden vereenvoudigd tot polygonen (SKM-gebieden) waarin de afscherming en reflectie geschat werd. Hoewel bijlage VII van het Reken- en meetvoorschrift het gebruik van deze gebieden in theorie nog toestaat is niet uitgewerkt hoe deze werken.

2.1 Verzameling van data

De verzameling van data is nauwelijks gewijzigd met de invoering van de CNOSSOS-rekenmethode. Onder de nieuwe rekenmethode is wel gesteld dat voor bronparameters aannames gemaakt mogen worden als de verzameling van deze informatie leidt tot een onevenredige inspanning én aannames (onafhankelijk) niet meer dan 2 dB invloed op de bronemissie mogen hebben. Daarnaast heeft het RIVM een handreiking [5] uitgebracht welke een handvaten biedt voor het verzamelen van data.

2.2 Modelleervoorschriften

Vanuit de Europese richtlijn wordt een verplichting gegeven voor het plaatsen van rekenpunten en de hoogte van reken- en contourpunten. Voor de overige modelinvoer geldt geen modelleervoorschrift.

Voor het plaatsen van de rekenpunten zijn drie situaties mogelijk:

- Geval 1: Punten worden op regelmatige intervallen over de gevel verdeeld.
- Geval 2a: Gevels worden afzonderlijk beschouwd en punten worden om de vijf meter geplaatst.
- Geval 2b: Vanaf de eerste node wordt elke 5 meter een punt geplaatst.

In Nederland wordt geval 1 geadviseerd. Hiermee wordt gegarandeerd dat de punten altijd op dezelfde locatie liggen en zijn de punten het meest uniform over de gevel verdeeld. In voorgaande karteringsronden kon de locatie van de punten zelf gekozen worden.

Voor de hoogte van de reken- en contourpunten wordt een hoogte van 4 ± 0.2 meter voorgeschreven. Dit was in de voorgaande karteringsronde al verplicht.

2.3 Verwerkingsvoorschrift

Voor het toekennen van het aantal inwoners aan een geluidsbelasting is met de invoer van de CNOSSOS-rekenmethode een aantal wijzigingen doorgevoerd:

- De geluidsbelasting moet op punten op de gevel, zonder gevelreflectie, berekend worden.
- Voor gebouwen die meerdere woningen bevatten worden de 50% hoogste geluidsbelastingen gebruikt en verdeeld over de inwoners/woningen.

Dit wijkt af van de voorgaande ronden waarin de geluidsbelasting op woningen, door sommige partijen, uit de contouren afgeleid³ werd. Over het algemeen werd in bijna alle lidstaten, met uitzondering van Duitsland⁴, de geluidsbelasting afgeleid op basis van de hoogste waarde.

Vanuit de EEA is een ‘reporting guideline’ [3] opgesteld, waarin enkele verwerkingsmethoden beschreven zijn:

- Voor belangrijke infrastructuur moet de oppervlakte bepaald worden uit de gridpunten. Voor gridpunten in gebouwen wordt de laagst omliggende waarde gebruikt. Voor de bepaling van het oppervlakte bij een onregelmatig grid worden Thiessen- of Voronoi-polygonen gebruikt. Voorheen werd het oppervlak bepaald uit op basis van de contourvlakken.
- De geluidsklassen beginnen bij X,00 dus de grenzen⁵ lopen van [55,00 – 60,00 >, [60,00 – 65,00 >, [65,00 – 70,00 >. Voorheen werd een keuze door de opsteller van de kaarten gemaakt, dit kon op verschillende manieren:
 - Afronding conform ISO-80000-0/artikel 1.3 Wgh (ook wel Dutch of bankersrounding): < 54,50 – 59.50 >, [59,50 – 64,50], < 64,50 – 69.50 >
 - “Excelafronding”, halve dB’s worden naar boven afgerond: [54,50 – 59.50 >, [59,50 – 64,50 >, [64,50 – 69.50 >
 - Afronding in Geomilieu: Als gekozen wordt voor 0 decimalen in Geomilieu: [55,00 – 60,00 >, [60,00 – 65,00 >, [65,00 – 70,00 >.

³ Dan wel met of zonder correctie voor gevelreflecties

⁴ In Duitsland werd de VBEB-methode gebruikt. Deze methode lijkt sterk op de methode uit CNOSSOS

⁵ De notatie volgt de notatie van bereiken. De tekens [en] betekenen inclusief de genoemde waarde. De tekens < en > betekenen een open bereik en dus exclusief de genoemde waarde. Een bereik [55 - 60> betekent dus van 50,00 tot 59,999.

3. Emissiemodel

Voor weg- en railverkeer zijn in de rekenmethodieken emissiemodellen opgenomen. Een belangrijk verschil tussen CNOSSOS en SRM2 is dat de emissiemodellen een andere bronbeschrijving opleveren. De SRM2 rekenmethode geeft een bronsterkte welke vergelijkbaar is met een SEL-waarde. De CNOSSOS-rekenmethode geeft een lijnbronvermogen in dB per lengte-eenheid⁶. Hierdoor zijn beide emissiegetallen niet direct met elkaar te vergelijken.

Daarnaast is in een bronvermogen altijd het bodemeffect verdisconteerd, al probeert de railverkeersmodule dit zo veel mogelijk te omzeilen door fysische parameters te gebruiken. De emissiekentallen voor de Nederlandse versie van de CNOSSOS-rekenmethode zijn echter getuned op metingen waardoor het bodemeffect ook in de railverkeersmodule opgenomen is. Hierdoor zijn opnieuw de emissiekentallen tussen de twee methoden niet een-op-een vergelijkbaar.

3.1 Wegverkeer

In de onderstaande tabel staan de belangrijkste verschillen in invoerparameters tussen SRM2 en CNOSSOS.

SRM2	CNOSSOS
<ul style="list-style-type: none"> •Bronsterkte (SEL) •Totale passageniveau •Bronhoogte 0,75 m •C_{wegdek} op totale emissie •Hellingscorrectie alleen omhoog vanaf 3%, bij een hoogteverschil over 6 meter. 	<ul style="list-style-type: none"> •Lijnbronvermogen (dB/km) •Banden- en motorgeluid •Bronhoogte 0,05 m •C_{wegdek} op rolgeluid. Reductie motorgeluid o.b.v. α •Hellingscorrectie omhoog vanaf 0% en omlaag vanaf 4% op aandrijfgeluid.

Verder kennen SRM2 en CNOSSOS beide een obstakelcorrectie (rotondes en verkeerslichten). Deze correctie werd in de voorgaande geluidskarteringsronden niet meegenomen, maar is onder CNOSSOS wel verplicht. Omdat deze in het rekenhart als overdrachtsparameter (de toeslag wordt immers per detailpuntbron bepaald) opgenomen is wordt deze in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten. Daarnaast kennen beide modellen een hellingcorrectie voor hellende bronnen, maar is deze op basis van het advies van het RIVM [5] in de meeste modellen niet in beschouwing genomen in de Nederlandse kartering.

Het bronnenmodel wegverkeer is voor Nederland aangepast op basis van metingen. Deze meetresultaten zijn in de Nederlandse versie van CNOSSOS verwerkt op basis van de methode zoals voorgesteld in 'Proposal for a procedure to determine the source power of road vehicle for CNOSSOS-EU', M+P, M+P.RIVM.17.03.4 d.d. oktober 2017 [6].

De emissiekentallen in het rekenvoorschrift [2] wijken af van de in [6] voorgestelde emissiekentallen. Deze emissiecijfers zijn bepaald uit de emissiecijfers uit het HARMONOISE/IMAGINE project. Later zijn de emissiekentallen vastgesteld/getuned op basis van de emissiekentallen uit bijlage III van het RMG2012.

⁶ In de Europese rekenmethode wordt een ongewogen emissie (dB(Z)/m) bepaald, en wordt de A-weging achteraf berekend. In de Nederlandse implementatie is gekozen voor een A-gewogen emissie in dB(A)/km.

In de validatie van de CNOSSOS-rekenmethode [7] bleek voor rijkswegen (geluidreferentiepunten) gemiddeld een 0,8 dB hogere geluidsniveau berekend te worden. In de berekeningen van de emissie is bij SRM2 rekening gehouden met de aftrek inzake artikel 3.5 Rmg2012 (aftrek voor Europees bronbeleid). Bij CNOSSOS wordt deze aftrek niet gebruikt.

3.1.1 Bepaling van de emissie

De SRM2 rekenmethode vereenvoudigt het emissiemodel van wegverkeer tot een enkele bron op 0,75 meter hoogte boven het wegdek. Hierbij wordt de geluidsemissie gemodelleerd met een logaritmische functie.

$$L_E = \alpha + \beta \cdot \lg \frac{v_m}{v_{ref}} + 10 \cdot \lg \frac{Q}{v_m}$$

Met daarin:

L_E	De emissieterm	[dB(A)]
α	De emissie bij v_{ref}	[dB(A)]
β	De richtingscoëfficiënt	[dB(A)/decade]
v_m	De rijksnelheid	[km/u]
v_{ref}	De referentiesnelheid	[km/u; 70 voor vracht en 80 km/u voor personenauto's]
Q	De intensiteit per uur	[-]

De emissieterm beschrijft het bronniveau als SEL-waarde. Deze wordt indien van toepassing nog gecorrigeerd door een wegdekterm en een term voor de hellingshoek.

In de CNOSSOS-rekenmethode bestaat het emissiemodel uit een enkele bron op 0,05 meter boven het wegdek. De geluidsemissie wordt samengesteld uit het rolgeluid en het motorgeluid. Deze twee bronnen worden energetisch opgeteld tot een bronvermogen. Het rolgeluid wordt gemodelleerd met een logaritmische functie terwijl het motorgeluid benaderd wordt met een lineaire functie.

$$L_{w,line} = L_w + 10 \cdot \lg \frac{Q}{1000v_m}$$

$$L_w = L_{w,R} \oplus L_{w,P}$$

$$L_{w,R} = A_R + B_R \cdot \lg \frac{v_m}{v_{ref}} + \Delta L_{w,R}$$

$$L_{w,P} = A_P + B_P \cdot \frac{v_m - v_{ref}}{v_{ref}} + \Delta L_{w,P}$$

Met daarin:

$L_{w,line}$	Het lijnbronvermogen van de weg	[dB(A)/km]
v_m	De rijksnelheid	[km/u]
v_{ref}	De referentiesnelheid	[70 km/u]
\oplus	Energetische optelling	
L_w	Het gerichte bronvermogen van 1 voertuig	[dB(A)]
A_P, A_R	De offset van de emissieterm voor motorgeluid en rolgeluid	[dB(A)]
B_P, B_R	De richtingscoëfficiënt voor motorgeluid en rolgeluid	[dB(A)]
Q	De intensiteit per uur	[-]

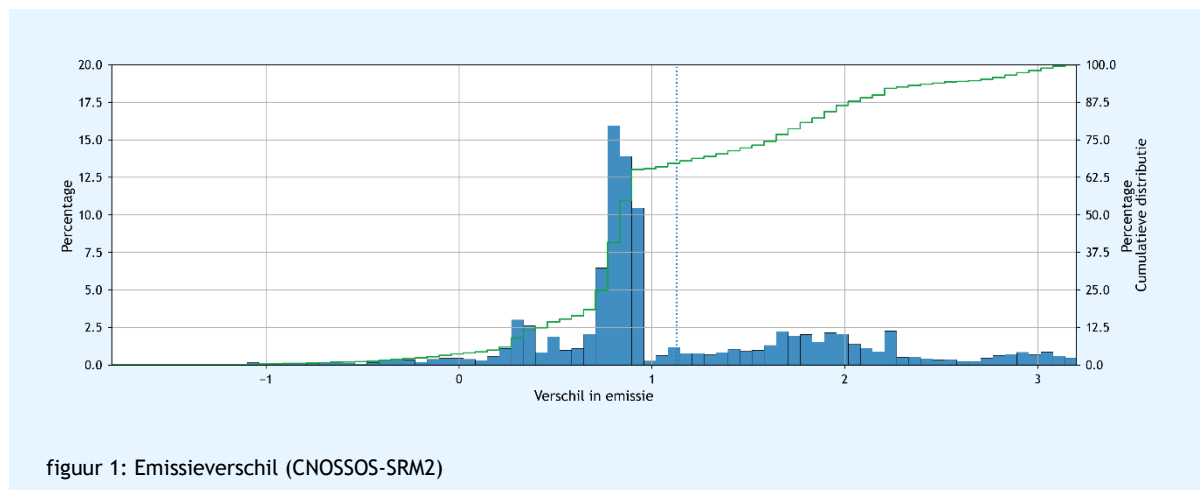
De term $\Delta L_{w,R}$ beschrijft aanvullende correcties voor rolgeluid, zoals wegdekcorrecties, obstakelcorrecties en temperatuurcorrecties. Voor de vergelijking worden alleen de wegdekcorrecties en de temperatuurcorrectie meegenomen. Deze is $K_m \cdot (20 - 15)$, waarbij $K_1 = 0,08$ en $K_{2,3} = 0,04$.

De term $\Delta L_{W,P}$ beschrijft de correcties voor motorgeluid en bestaat uit een wegdekcorrectie, hellingscorrectie en obstakelcorrecties. In de vergelijking worden alleen de wegdekcorrecties meegenomen. Voor motorgeluid wordt alleen de spectrale correctie $\alpha_{i,m}$ gebruikt, deze zou het absorberende effect van halfopen wegdekken moeten simuleren. Door alle verschillende soorten gesloten, stille asfalttypen wordt de absorptie van motorgeluid overschat. In praktijk absorberen deze asfalttypen het motorgeluid niet, maar wordt het motorgeluid gereflecteerd.

3.1.2 Emissieverschillen

In de emissiekentallen is het bodemeffect verdisconteerd. De emissieverschillen zijn daarom bepaald op basis van de immissie op 7,5 meter afstand op 1,2 meter boven het wegvak (cf. ISO 11819-1).

Voor twee grote gemeenten en een provincie zijn de emissieverschillen per wegvak bepaald. De resultaten op breedbandige niveaus zijn opgenomen in het onderstaande figuur. Voor ruim 50% van alle wegvakken geldt dat de emissie 0,5 tot 1,0 dB hoger is in vergelijking met de SRM2 rekenmethode. Gemiddeld is de emissie 1,1 dB hoger met een standaardafwijking van 0,73 dB. Ongeveer 12,5% van alle wegvakken heeft een 2 dB hogere emissie in CNOSSOS dan in SRM2.

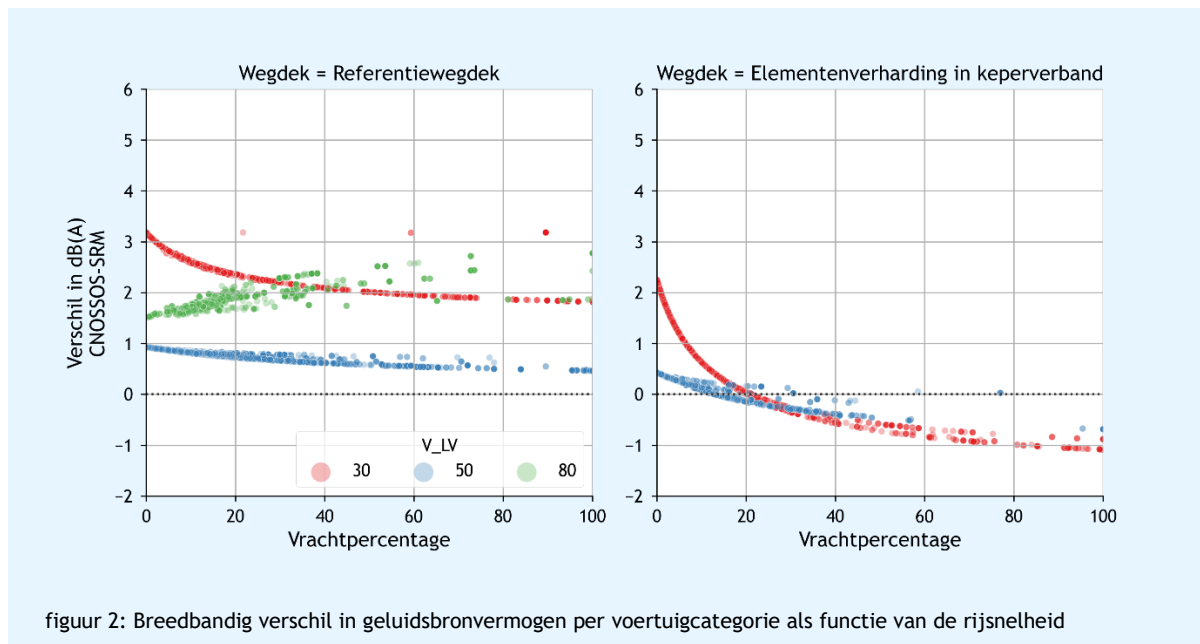


figuur 1: Emissieverschil (CNOSSOS-SRM2)

Vervolgens is in onderstaande figuren het breedbandige verschil in emissie uitgezet tegen het wegdektype, het vrachtpercentage ($V\% = \frac{MV+ZV}{PA+MV+ZV}$) en de snelheid. Hierin is te zien dat de geluidsemissie van referentiewegdek bij 30 km/u wegen 2 tot 3 dB hoger ligt dan in SRM2. Opvallend is dat bij deze 30 km/u bij hogere vrachtpercentages een kleiner verschil wordt berekend. Dit betekent dat de verschillen niet enkel door de overdracht bepaald worden, maar dat er een verschil in het “fitten” van de emissies zit.

Bij 50 km/u wegen is de toename ongeveer 1 dB bij lage vrachtpercentages en 0 dB bij 100% vrachtverkeer (Rotterdamse Haven). Bij 80 km/u is de geluidsemissie minimaal 2 dB hoger en neemt de geluidsemissie toe bij meer vrachtverkeer.

Bij wegen met een elementenverharding in keperverband geven personenauto’s bij 30 km/u een 2 dB hogere emissie dan in SRM2, terwijl vrachtverkeer hier juist een 1 dB lagere emissie dan SRM2 geeft. De emissies bij 50 km/u zijn bijna gelijk aan die van SRM2.



figuur 2: Breedbandig verschil in geluidsbronvermogen per voertuigcategorie als functie van de rijnsnelheid

Bij 30 km/u en 80 km/u wegen wordt een ongeveer 2 dB hogere emissie in CNOSSOS bepaald. Bij 30 km/u wegen neemt de emissie af bij hogere vrachtppercentages. Bij 80 km/u wegen neemt de emissie bij meer vrachtverkeer toe ten opzichte van SRM2.

Uit deze data kunnen de volgende voorlopige conclusies gemaakt worden:

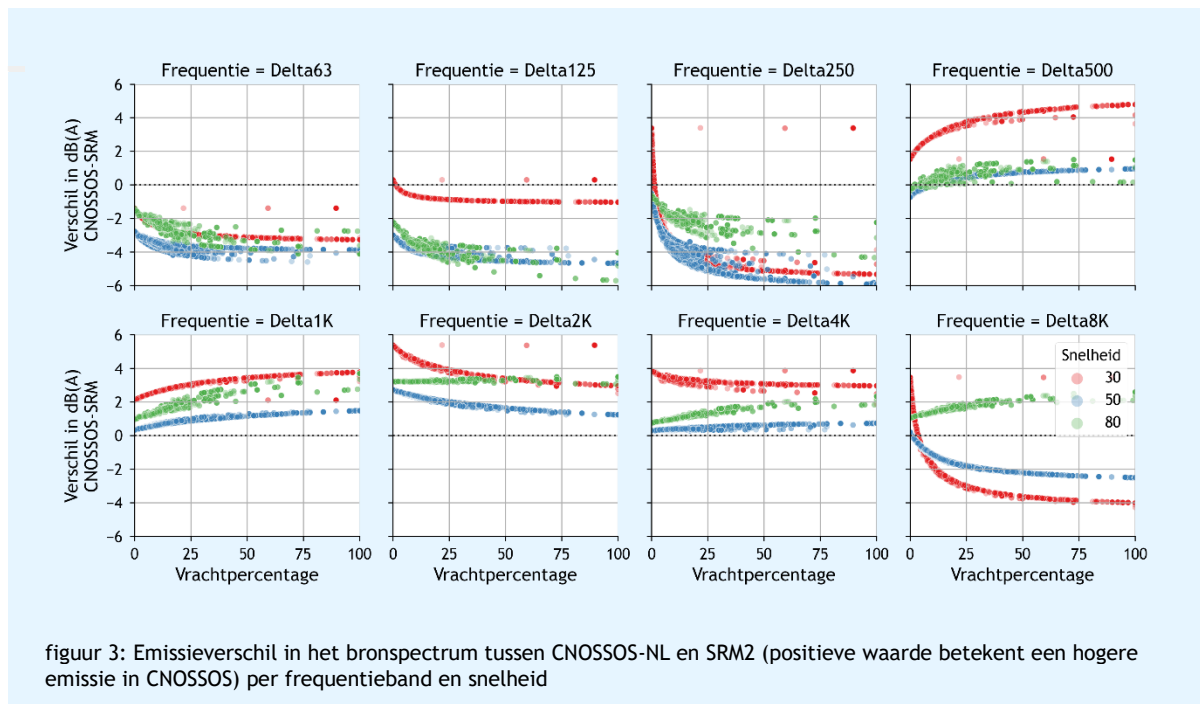
- De emissiekentallen voor personenauto's zijn hoger dan SRM2.
- De emissiekentallen voor vrachtverkeer zijn bij 50 km/u vergelijkbaar met SRM2.
- De emissiekentallen voor vrachtverkeer zijn bij 30 en 80 km/u hoger dan SRM2.
- De wegdekcorrecties voor klinkerwegen leiden bij 30 km/u tot ongeveer 2 dB hogere emissies voor personenauto's. Voor vrachtverkeer is dit ongeveer 3 dB.
- De wegdekcorrecties voor klinkerwegen leiden bij 50 km/u tot min- of meer gelijk emissies.

Spectrale emissie

In de vorige paragraaf zijn de verschillen in emissie op totaalniveau bekeken. Spectraal gezien zitten er ook 'grote' verschillen tussen de beide rekenmethoden CNOSSOS en SRM2. Deze paragraaf geeft een overzicht van de spectrale verschillen.

In onderstaande figuur zijn per frequentieband de emissieverschillen van wegverkeer uitgezet (bij een referentiewegdek) op basis van het vrachtpcentage en de snelheid. Te zien is dat tot de 250 Hz octaafband (dus 63 Hz, 125 Hz en 250 Hz) en bij de 8000 Hz octaafband de geluidsemissie in CNOSSOS lager ligt dan in SRM2. Bij de maatgevende frequenties van 500 tot 4000 Hz is de geluidsemissie bij CNOSSOS hoger dan bij SRM2.

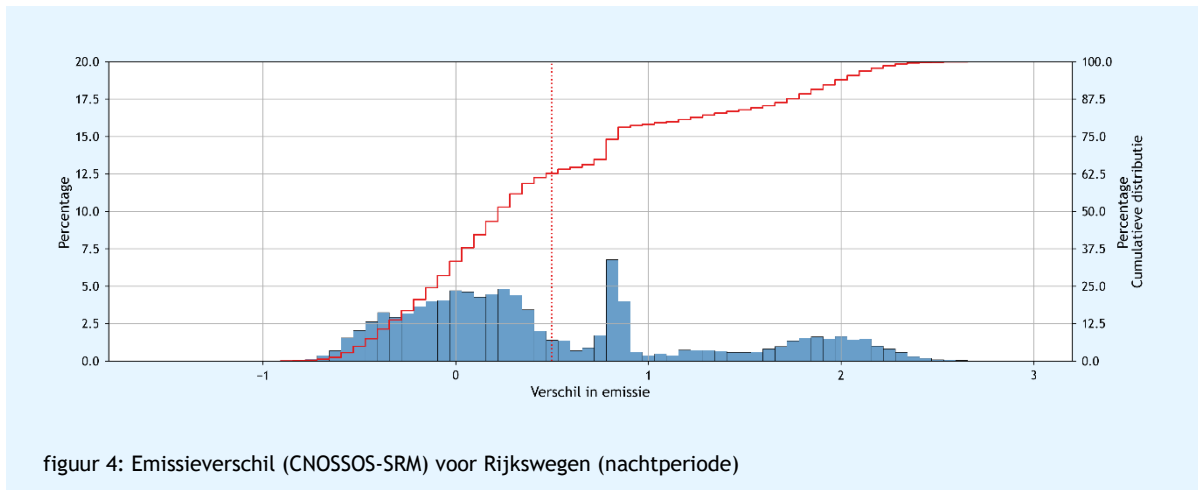
Daarnaast valt op dat bij 30 km/u wegen (= de rode bolletjes) de emissieverschillen tussen 500 Hz en 4000 Hz veel hoger zijn dan bij 50 km/u wegen (= de blauwe bolletjes). Naarmate het vrachtpcentage toeneemt neemt ook de emissieniveaus bij 500 en 1000 Hz toe.



Bovenstaande resultaten, in combinatie met 1 dB toename door het bodemeffect (zie hoofdstuk 4.1.1) leidt ertoe dat voor binnenstedelijke wegen, waarbij personenauto's dominant zijn voor de geluidsemissie, de immissie met circa 4 en 2 dB toeneemt bij asfaltwegen met 30 km/u resp. 50 km/u. Bij wegen met elementenverharding neemt de immissie toe met circa 2 dB bij 30 km/u wegen.

3.1.3 Emissieverschillen rijkswegen

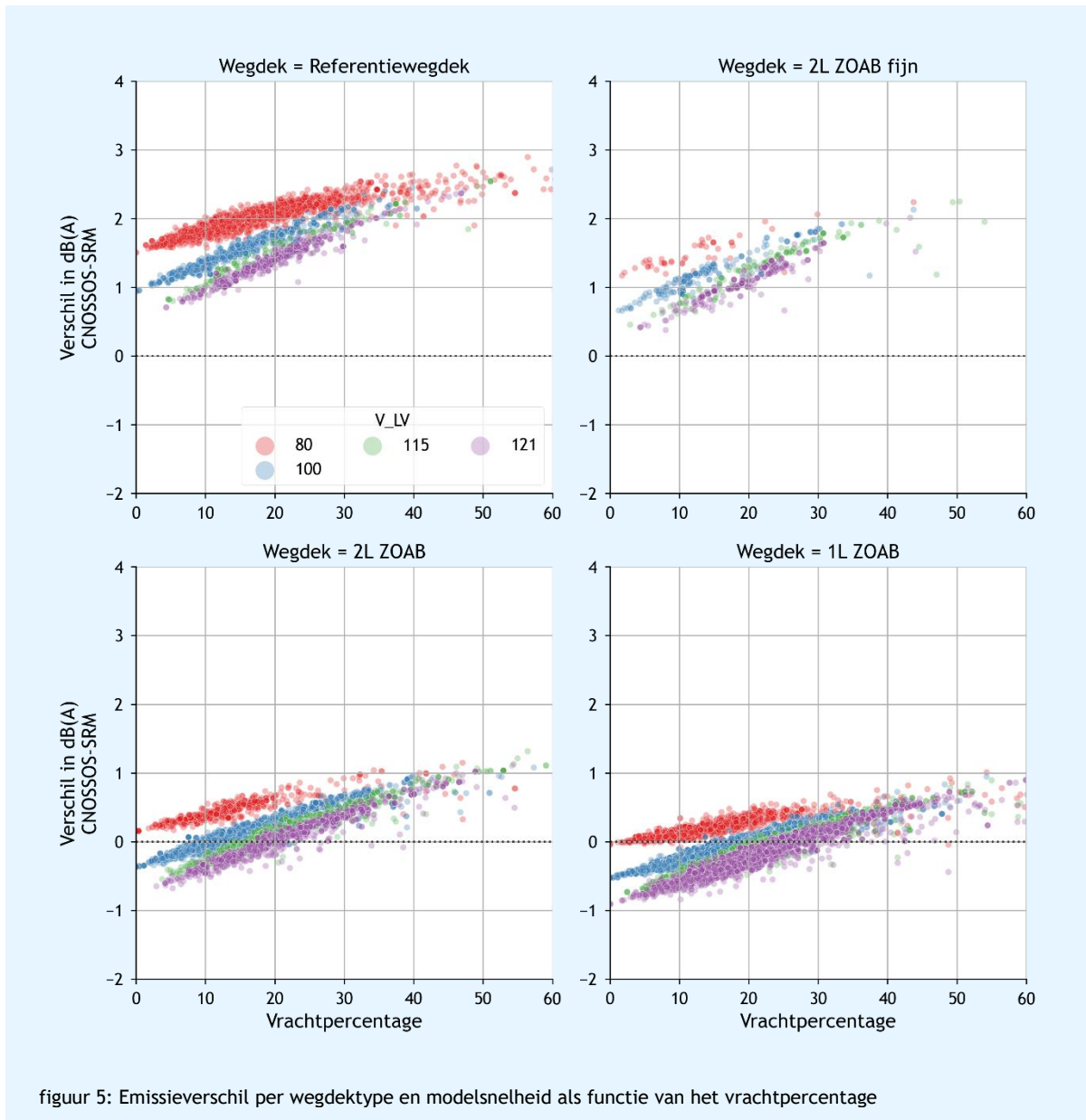
Omdat voor Rijkswegen verschillende snelheidsregimes in de dag en avond-/nachtperiode gelden zijn voor Rijkswegen de emissieverschillen in de nachtperiode beschouwd. Hiermee is een grotere spreiding van snelheden aanwezig. In onderstaande figuur zijn de emissieverschillen tussen CNOSSOS en SRM2 (inclusief stille bandenaftrek) weergegeven. In deze grafiek zijn drie pieken te herkennen: een brede bult rond 0 dB, een smalle piek rond 0,7 dB en een bredere maar lagere piek rond 2 dB. Ongeveer 35% van alle Rijkswegen geeft in CNOSSOS een emissie die lager is dan in SRM2. Voor 75% van de rijkswegen geldt dat de emissie maximaal 1 dB hoger is dan in SRM2. De emissie is gemiddeld 0,5 dB hoger dan is SRM2 met een standaardafwijking van 1,6 dB.



In onderstaande figuur staan voor de drie meest voorkomende verhardingen de emissieverschillen bij verschillende snelheden⁷ uitgezet als functie van vrachtpercentage. In alle grafieken is te zien dat de emissieverschillen toenemen met toenemend vrachtverkeer. Bij referentiewegdek en fijn-tweelaags zoab is de emissie hoger dan in SRM2. Daarbij is te zien dat de emissieverschillen kleiner worden bij hogere snelheden. Bij meer vrachtverkeer neemt de emissie fors toe (circa 1 dB bij 30% vracht).

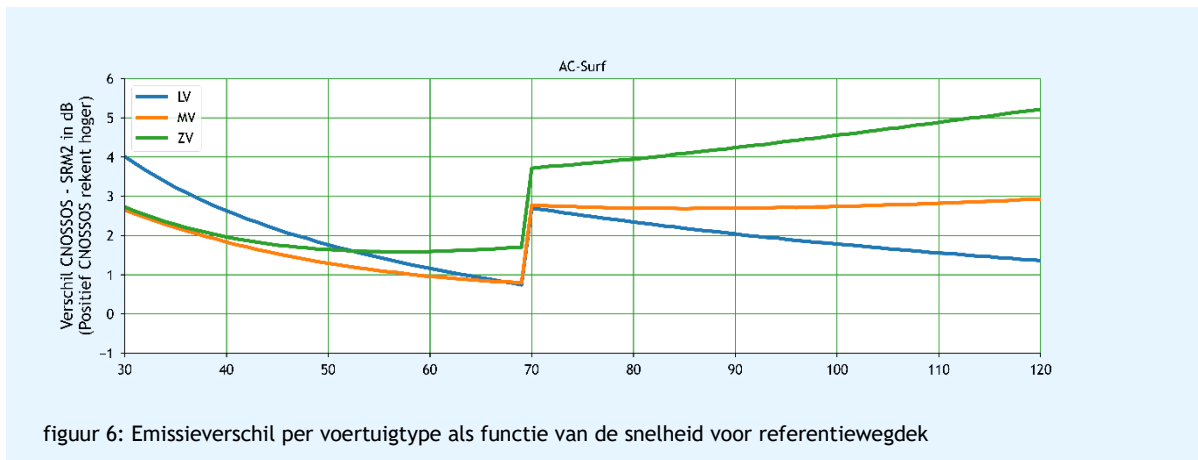
Voor wegen met enkel- of tweelaagszoab is de emissie, zeker bij hoge snelheden, lager dan de bij SRM2. Hier is ook te zien dat bij toenemend vrachtverkeer de emissie toeneemt, maar minder hard (0,4 dB bij 30% vracht) dan bij referentiewegdek.

⁷ De snelheden zijn gemodelleerd in overeenstemming met de KAOW, wegen met 120 km/u kennen in de nachtperiode V_LV = 115 km/u en wegen met 130 km/u V_LV = 121 km/u. Voor vrachtverkeer is de snelheid bepaald op basis van het KAOW. Bij V_LV = 121 km/u geldt 100 km/u voor middelzwaar vrachtverkeer en 95 km/u voor zwaar vrachtverkeer.



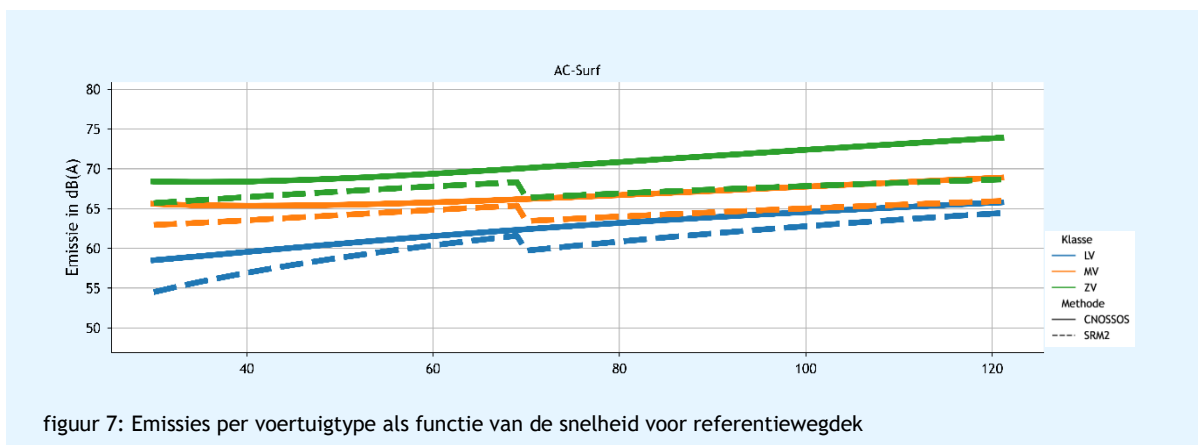
3.1.4 Overzicht

In het onderstaande figuur staan de emissieverschillen per snelheid voor de verschillende voertuigtypen weergegeven. In dit figuur is duidelijk het effect van de stille bandenaftrek (artikel 3.5 Rmg2012) van 2 dB (voor referentiewegdek) te zien. Daarnaast is te zien dat voor alle voertuigcategorieën, maar met name voor lichte voertuigen bij 30 km/u een 4 dB hogere emissie te zien is. Bij 69 km/u is het verschil het kleinst. Hierin bedraagt het verschil nog 1 dB, maar door de stille bandenaftrek (in SRM2) is bij 70 km/u het verschil weer 3 dB. Naar mate de snelheid toeneemt neemt het emissieverschil voor lichte motorvoertuigen weer af. Voor zware motorvoertuigen neemt het emissieverschil juist toe.



figuur 6: Emissieverschil per voertuigtype als functie van de snelheid voor referentiewegdek

In het onderstaande figuur zijn de emissies in dB(A) van de verschillende voertuigcategorieën voor referentiewegdek weergegeven. Hierin is opnieuw het effect van de stille bandenaftrek te zien. Daarnaast valt op dat bij snelheden hoger dan 70 km/u de lijn van zware vrachtwagens in SRM2 de lijn van middelzwaar vrachtverkeer in CNOSSOS volgt. Dit is ook te zien bij middelzware vrachtwagens in SRM2 die de lijn van personenauto's in CNOSSOS volgt.



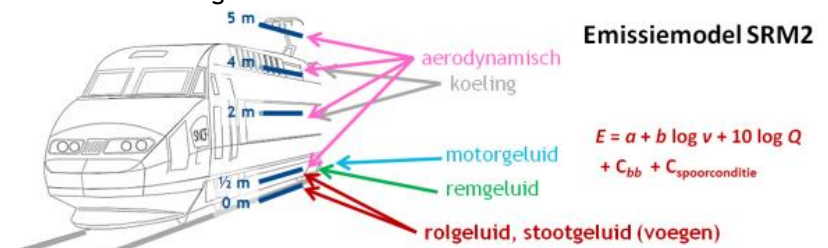
figuur 7: Emissies per voertuigtype als functie van de snelheid voor referentiewegdek

3.2 Treinverkeer

3.2.1 Bepaling emissie

Tussen de emissiemodellen van SRM2 en CNOSSOS zitten grote verschillen. Het emissiemodel van SRM2 gaat uit van een emissiegetal voor zes bronhoogten:

- 0 meter (spoorstaaf)
- 0,5 meter (wiel)
- 2 meter (installaties)
- 4 meter (installaties)
- 5 meter (aerodynamisch)
- Brug

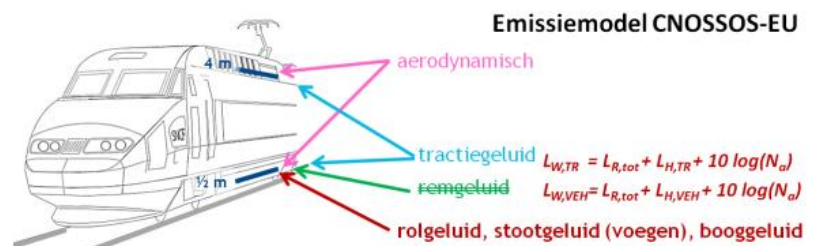


figuur 8 emissiemodel SRM2 (bron: dBvision [8])

De bronnen op 0 en 0,5 meter zijn altijd ingevuld. De 2, 4 en 5 meter bronnen worden alleen gebruikt bij hogesnelheidsmaterieel. Daarnaast gebruikt de SRM2 rekenmethoden benaderingsformules welke bijna allemaal van de vorm $a + b \cdot \lg v$ zijn. En kent de methode remcorrecties voor enkele treinsoorten. De minimumsnelheid voor alle treinsoorten is 40 km/u. Voor stalen bruggen wordt de brugbron gevuld en wordt een toeslag op rolgeluid (0 en 0,5m toegepast).

CNOSSOS rekt met twee bronhoogten, maar maakt onderscheid tussen:

- 0,5 meter rolgeluid, stootgeluid, booggeluid
- 0,5 meter aerodynamisch geluid
- 0,5 meter tractiegeluid
- 4,0 meter aerodynamisch geluid
- 4,0 meter tractiegeluid
- Brug



figuur 9 Emissiemodel CNOSSOS (bron: dBvision [8])

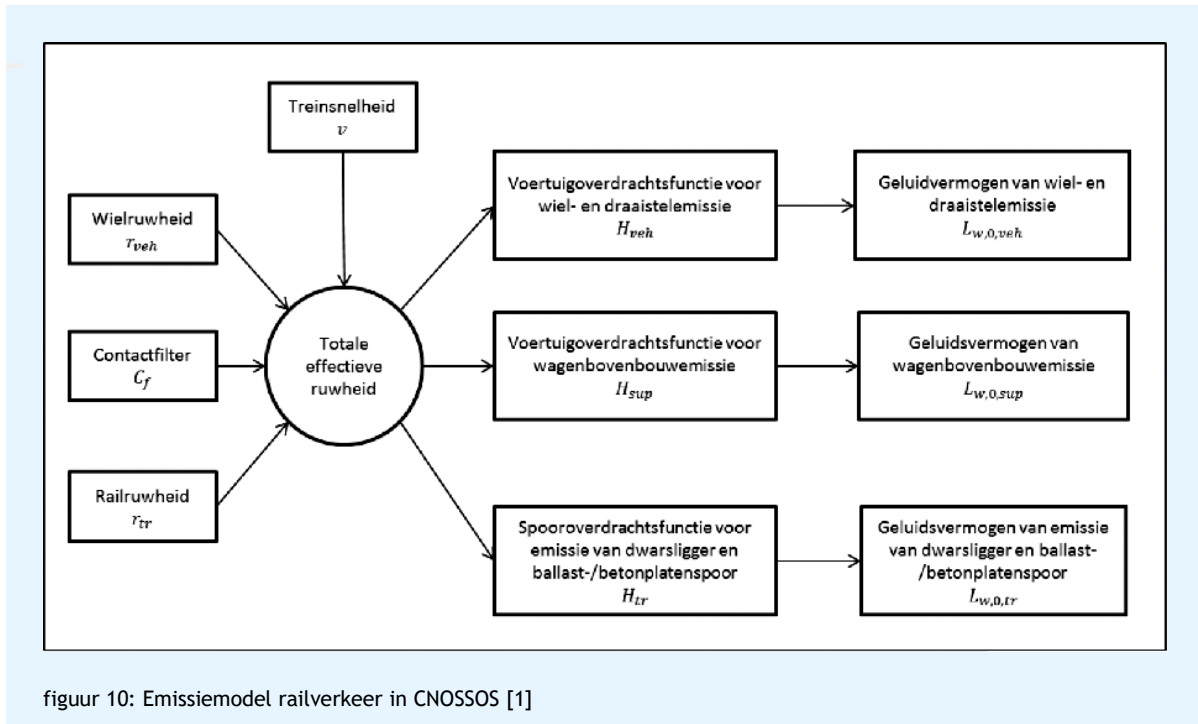
CNOSSOS gaat uit van een op fysica gebaseerd emissiemodel waarbij ruwheden, contactfilters en overdrachtsfuncties gebruikt worden. De Europese rekenmethode biedt een aantal standaardwaarden, maar adviseert de lidstaten deze zelf vast te stellen. In CNOSSOS worden geen toeslagen voor remgeluid gebruikt en voor heavy rail wordt een minimumsnelheid van 50 km/u gebruikt. Lagere snelheden zijn wel toegestaan. Er wordt als volgt omgegaan met lagere snelheden:

- Voor het bepalen van het rolgeluid wordt de snelheid $v_{rol} = \max(50, v)$ gebruikt
- Voor het bepalen van impuls geluid wordt de snelheid $v_{imp} = \max(50, v)$ gebruikt
- Voor het bepalen van de voertuigstroom wordt de ingevoerde snelheid gebruikt.

Het bronvermogen van een individuele trein is dus gelijk bij 50 km/u of bij 40 km/u. De lagere snelheid heeft wel invloed op het lijnbronvermogen omdat de trein langer aanwezig is. De lagere snelheid mag bijvoorbeeld gebruikt worden om te compenseren voor remgeluid⁸.

⁸ Reken en meetvoorschrift 2012 bijlage VII [2]: Een minimumsnelheid van 50 km/h (30 km/h alleen voor trams en lichte metro) wordt gebruikt om de totale effectieve ruwheid en dus het geluidsvermogen van de voertuigen te bepalen (deze snelheid heeft geen invloed op de berekening van de voertuigstroom) ter compensatie van de potentiële fout als gevolg van de vereenvoudiging van de definitie van rolgeluid, van remgeluid en van stootgeluid van overgangen en wissels.

De onderdelen van het emissiemodel zijn weergegeven in het onderstaande figuur. Deze zijn door dBvision [8] afgeleid van metingen langs het spoor.



3.2.2 Directionaliteit van de bron

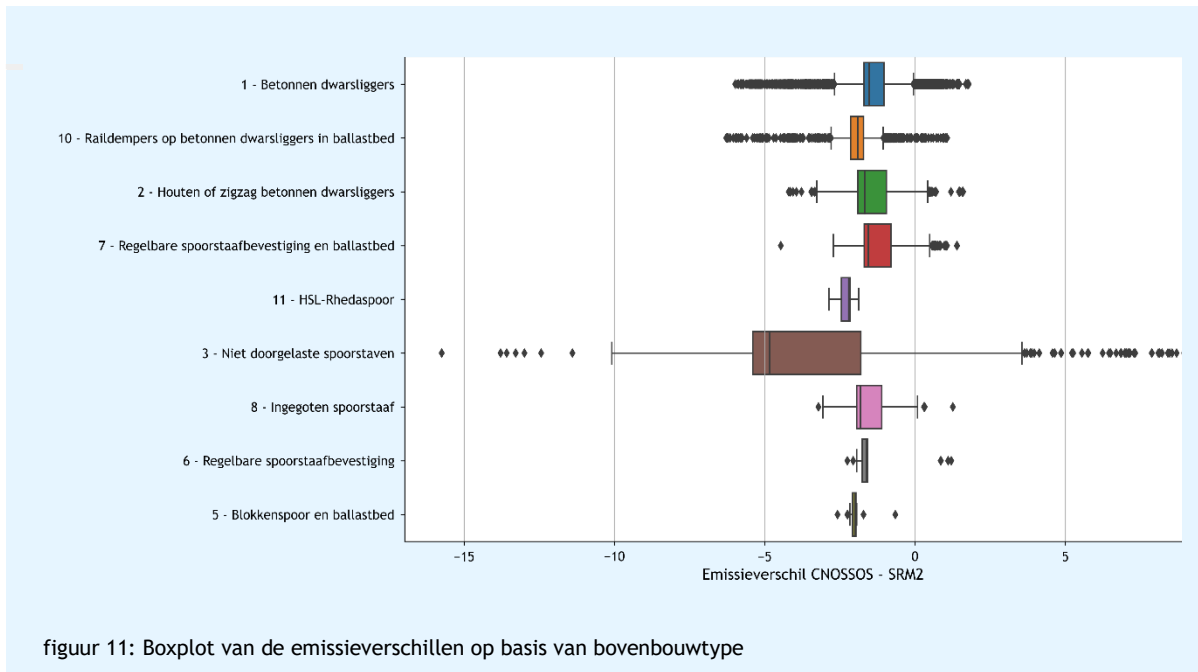
Binnen het CNOSSOS bronnenmodel railverkeer wordt ook de directionaliteit van de bron genoemd als bronparameter. Deze wordt per tertsband berekend, in de praktijk wordt de directionaliteit pas in de overdracht beschouwd, dan zijn immers verticale en horizontale hoek bekend. In CNOSSOS zijn alle bronnen op 0,5 meter hoogte, met uitzondering van brugafstraling, directioneel. Bruggen en bronnen op 4 meter hoogte, met uitzondering van aerodynamisch geluid, worden omnidirectioneel verondersteld. De directionaliteit van treinbronnen wordt in CNOSSOS in zowel horizontale als verticale richting beschouwd.

In SRM2 is de directionaliteit van railverkeer verdisconteerd in de geometrische uitbreidingsterm. Deze werkt hierdoor alleen door in het horizontale vlak. In de SRM2 rekenmethode worden alle bronnen met uitzondering van de brugafstraling als directioneel beschouwd.

3.2.3 Emissieverschillen

Door de veranderde bronhoogten, directionaliteit en het bodemmodel kunnen de emissies van CNOSSOS en SRM2 niet een-op-een beschouwd worden. De emissieverschillen kunnen daarom alleen beschouwd worden door een vast referentiepunt te beschouwen. Er is gekozen om per deelbron de overdracht op zachte bodem te berekenen naar een waarneempunt op 7,5 meter afstand op een hoogte van 4 m+BS. Hierna wordt de bijdrage van alle individuele bronnen opgeteld, waarna het verschil tussen de twee rekenmethoden beschouwd kan worden. In deze analyse is de END dataset van ProRail gebruikt en zijn alleen de sporen meegenomen die op de aardebaan liggen (geen betonnen of stalen bruggen) en de sporen in rechtstand (geen booggeluid).

Op het breedbandige niveau rekent CNOSSOS een 1,3 dB lager emissieniveau uit met een standaarddeviatie van 1,0 dB. Wat opvalt is dat wanneer gekeken wordt naar het bovenbouwtype met name bovenbouwtype 3 een hele grote range (-16 tot +9 dB) in emissieverschil geeft. Bij betonnen dwarsliggers is de range -6 tot +2 dB met een gemiddelde van -1,2 dB.



Als de emissieverschillen op de kaart gezet worden ontstaat een beeld van de locaties waar de berekende verschillen het grootste zijn. Als eerste valt Maasvlakte2, enkele raccordementssporen en de spoordriehoek Den Haag op als locaties waar de emissie toeneemt. Dit zijn tracés waarbij de rijnsnelheid van de treinen laag is. In de rekenmodellen is hier een snelheid van 40 km/u ingevuld, terwijl CNOSSOS met een minimumsnelheid van 50 km/u rekent. Om een helder beeld van de emissieverschillen te krijgen zijn de sporen waar de snelheid lager is dan 50 km/u uit de dataset gehouden. Hierna ontstaat het volgende beeld, zoals weergegeven in onderstaande figuur. De sporen met een 2 dB lagere emissie zijn dik en groen weergegeven. De sporen met 1 dB lagere emissie zijn blauw weergegeven. Locaties met een toename groter dan 0,5 dB zijn rood en dik aangemerkt.



Uit de dataset volgen duidelijk de goederencorridors zoals de Betuweroute, de A2 corridor en de Havenspoorlijn. Daarnaast is de HSL-lijn duidelijk zichtbaar. Op de locaties waar licht elektrisch stoptreinmateriaal van bijvoorbeeld Blauwnet, Arriva en RET rijden zijn ook veel sporen met lagere emissies te zien. De sporen met dieselelektrisch sprinter materieel, zoals in Noordoost Nederland, hebben een gelijke emissie als SRM2. Tot slot vallen ook de spoorlijnen op waar uitsluitend of vooral met sprinter (SLT/SNG/Flirt) gereden wordt op zoals de lijn Gouda-Alphen aan den Rijn en Woerden-Breukelen. Het tracé Alphen-Woerden, met een stoptreindienst die met intercity materieel uitgevoerd wordt, heeft bijvoorbeeld geen veel lagere emissie.

Opgemerkt wordt dat CNOSSOS met een aantal voertuigeenheden (of meer specifiek aantal assen) rekent en SRM2 met voertuigeenheden. Deze zijn niet noodzakelijkerwijs hetzelfde. Voor alle heavy railvoertuigen geldt dat het aantal rekeneenheden kunnen afwijken. Bij de Hoekse lijn wordt categorie 7 gebruikt en is het aantal rekeneenheden dus correct.

3.3 Tramverkeer (lightrail)

Tramverkeer wordt sinds de invoering van de SRM2 rekenmethode per beheerder (en soms per gemeente) op verschillende wijzen gemodelleerd. Zo wordt het geluid van trams doorgaans (voor SRM2 berekeningen) gemodelleerd als:

- Rotterdam: Tram als wegverkeer, met de emissiekentallen uit SRM2
- Amsterdam: Tram als wegverkeer, met eigen emissiekentallen op basis van metingen
- Den Haag: Trams als railverkeer categorie 7 (GTL-8) en categorie 10 (lagevloertrams)
- Utrecht: Trams als railverkeer categorie 10 (voorheen categorie 3)

Buiten de emissiegetallen worden de grootste verschillen in de SRM2-methode veroorzaakt door de geometrische uitbreidingsterm, waarbij in de rekenmethode railverkeer een directionaliteit verdisconteerd zit. Generieke trams worden als monopool gemodelleerd. Daarnaast kan in de rekenmethode railverkeer een laagste snelheid van 40 km/u ingevoerd worden, terwijl in de wegverkeersmethode in principe geen minimumsnelheid geldt⁹. De rekenmethode voor railverkeerslawaaï biedt de mogelijkheid voor het toepassen van een remcorrectie, hoewel deze gezien de minimumsnelheid, over het algemeen niet toepasbaar is voor binnenstedelijk tramverkeer.

In de CNOSSOS-rekenmethodiek wordt voor tramgeluid altijd het railverkeer-emissiemodel gebruikt¹⁰. De gebruiker heeft nog wel de keuze om de tram als 'generieke tram' of als een treincategorie te modelleren. Het belangrijkste onderscheid, buiten de emissiekentallen, is de mogelijkheid om bovenbouwtypes te kiezen die specifiek voor trams zijn (ballast, gras, asfalt, tramplaten en klinkers). Uit tabel 2.3.j van bijlage VII van het Rmg2012 kan vastgesteld worden dat de voertuigemissieparameters van de bronsoort generieke trams overeenkomt met categorie 7. De wiel- en spoorstaafwheiden verschillen wel tussen categorie 7 en trams.

Een belangrijk aandachtspunt bij het modelleren van tramverkeer in CNOSSOS is dat niet naar voertuigeenheden gekeken moet worden, maar naar het aantal passerende assen. Dus:

- Rotterdamse Citadis (categorie 7): 6 assen = 1 rekeneenheid (1 in SRM2)
- Utrechtse CAF 5-delig (categorie 10): 6 assen = 1 rekeneenheid (2,25 in SRM2)
- Utrechtse CAF 7-delig: (categorie 10): 8 assen = 1,33 rekeneenheden (3 in SRM2)
- Haagse RegioCitadis (categorie 10): 8 assen = 1,33 rekeneenheden (3 in SRM2).

In Geomilieu is echter gekozen om (voor CNOSSOS) in categorie 10 uit te gaan van 3 assen per voertuigeenheid, waardoor direct een kopie tussen SRM2 en CNOSSOS mogelijk is. In de onderstaande tabel staan per tramtype het aantal assen, het aantal eenheden in SRM2 en CNOSSOS.

⁹ In de rekenmethode wordt geen snelheidsbereik gegeven waarin de emissiekentallen geldig zijn, maar aangenomen kan worden dat de logaritmische benaderingsformule niet over het gehele snelheidsbereik geldig is.

¹⁰ Geomilieu biedt de mogelijkheid om trams als wegverkeer te modelleren echter wordt hetzelfde emissiemodel, inclusief directionaliteit, gebruikt als in railverkeer.

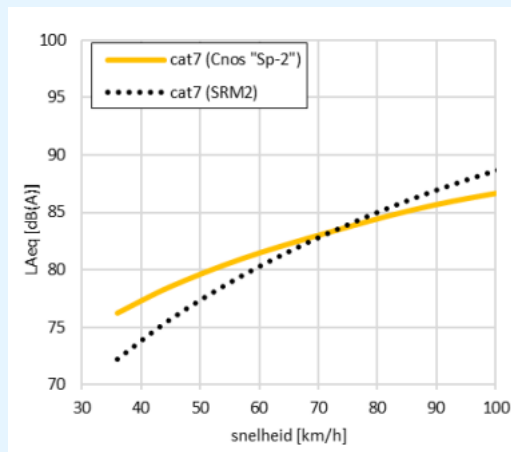
tabel 1 Verschillen tramtypen SRM2 en CNOSSOS bij 40 km/u in asfalt

Tramtype	Assen	Eenheden SRM2	Eenheden CNOSSOS	Eenheden Geomilieu (CNOSSOS)	Emissieverschil (Geomilieu)
Generieke tram	6	1	1	1	-5.6
Haagse Regiocitadis (1,3eh)	8	3	1,33	3	-0,5
Utrecht CAF Urbos 100 5-delen	6	2	1	2	-0.5
Utrecht CAF Urbos 100 7-delen	8	3	1,33	3	-0.5
Rotterdamse citadis (cat. 7)	6	1	1	1	2.9

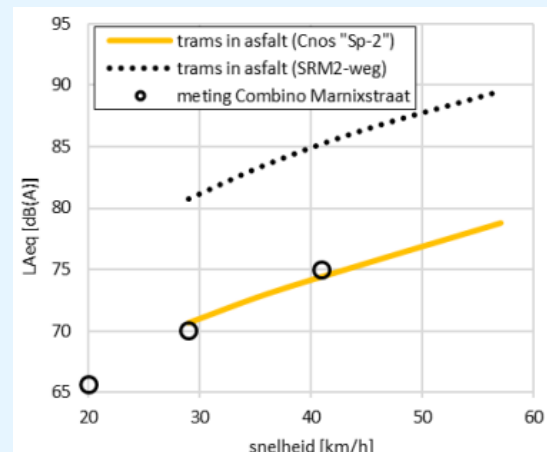
Te zien is dat de verschillen tussen categorie 10 in SRM2 en CNOSSOS verwaarloosbaar klein zijn. Echter, wanneer de Rotterdamse Citadis als categorie 7 gemodelleerd wordt rekent CNOSSOS 3 dB hoger uit dan SRM2. De generieke trams rekenen in CNOSSOS met dezelfde attributen juist een 6 dB lagere emissie uit dan in SRM2.

Uit de rapportage van dBvision [8] volgt ook dat categorie 7 slecht fit met de emissie uit SRM2. Bij lage snelheden is de emissie in CNOSSOS hoger dan bij SRM2, alleen bij snelheden van 60-80 km/u komt de fit overeen. Categorie 7 is daarom niet toepasbaar voor binnenstedelijke trams.¹¹

Voor de generieke trams volgt eveneens uit de rapportage van dBvision dat er een groot verschil zit tussen SRM2 en CNOSSOS. Dit wordt veroorzaakt doordat de generieke trams uit SRM2-weg gebaseerd zijn op oude trams, terwijl CNOSSOS gebaseerd is op de trameigenschappen en metingen van modern(er) materieel. Daardoor is de verwachting dat de werkelijke resultaten in CNOSSOS veel beter overeenkomen dan met SRM2. Wat opvalt is dat Geomilieu 5,6 dB verschil berekent, terwijl de rapportage van dBvision [8] ruim 10 dB verschil berekent. Vermoedelijk komt dit doordat het contactfilter A₃ voor 50 kN | 680 mm aangepast is.



figuur 13: Verschil categorie 7 CNOSSOS en SRM2 [8]



figuur 14: Verschil generieke trams CNOSSOS en SRM2 [8]

¹¹ Het is onduidelijk hoe in de 4^e geluidkarteringsronde de trams door de verschillende overheden & adviesbureaus gemodelleerd zijn.

Uit de bovenstaande analyse kan opgemaakt worden:

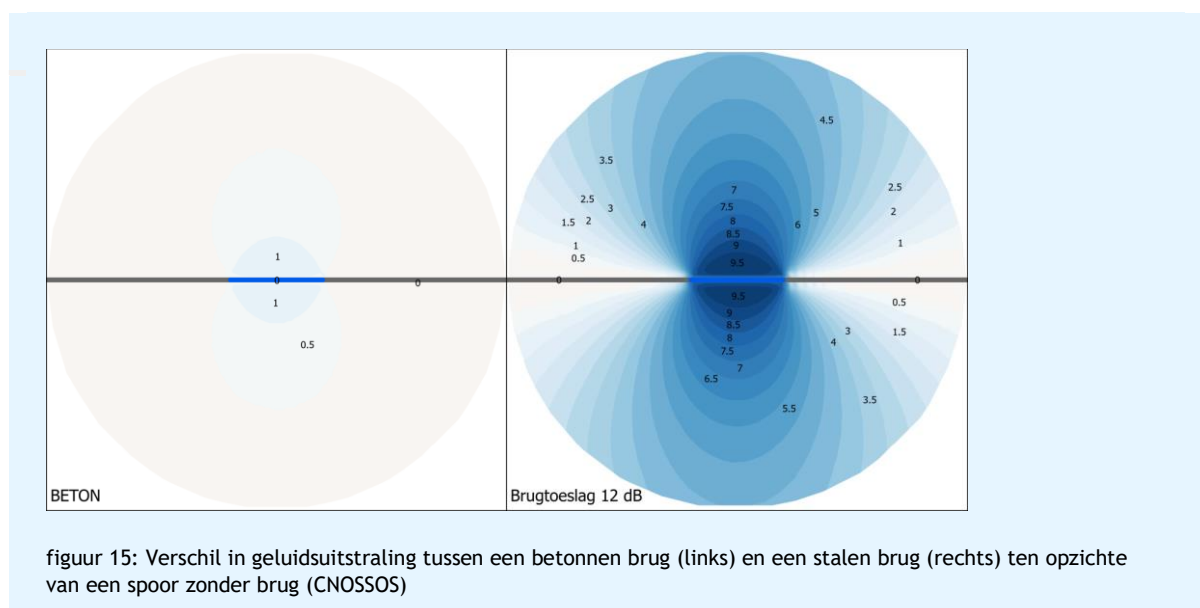
- De emissies van tramvoertuigen uit categorie 10 (zoals de Haagse RegioCitadis, Utrechtse en Amsterdamse CAF Urbos 100 en de Haagse Avenio) komen goed overeen tussen CNOSSOS en SRM2.
- Trams welke als categorie 7 gemodelleerd zijn kennen over het algemeen een overschatting van 3 dB ten opzichte van CNOSSOS wanneer met CNOSSOS gerekend wordt. Dit volgt uit ook uit de eerdere rapportage van dBVision [8]
- Generieke trams lijken in CNOSSOS en goede overeenkomst te geven met metingen aan (relatief) modern materieel. In SRM2 geven deze ongeveer 6 dB overschatting van de immissie.

3.4 Bruggeluid

In de Europese rekenmethode wordt bruggeluid doormiddel van een overdrachtsfilter in rekening gebracht. In de rekenmethode worden twee filters gegeven. Een filter voor 10 dB toeslag en een voor 15 dB toeslag. Lidstaten kunnen ook zelf filters opstellen. In de Nederlandse rekenmethode is gekozen om de reeds vastgestelde brugtoeslagen te gebruiken. Hiervoor wordt de toeslag in de 500 Hz en 1000 Hz octaafband gemiddeld, waaruit de toe te passen spooroverdrachtsfunctie (bovenbouwcode) en een spectrumnummer (sn) volgt.

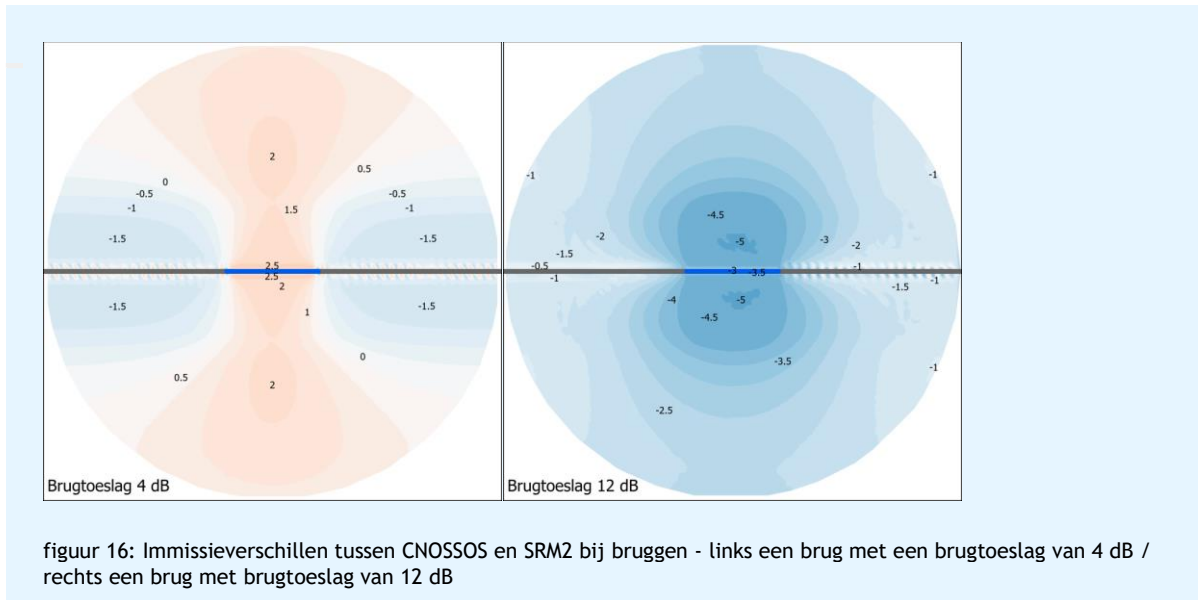
Voor bruggen met een gemiddelde toeslag tussen 0 en 5 dB wordt bovenbouwcode 1 (betonnen dwarsliggers in ballastbed) toegepast en wordt het spectrumnummer gevonden door de brugtoeslag met 1 te vermeerderen. Voor bruggen met 6, 7 of 8 dB toeslag wordt bovenbouwcode 8 (ingegoten spoorstaaf) gebruikt en is het spectrumnummer gelijk aan respectievelijk 6, 4 of 5. Voor bruggen met een toeslag van 9, 10 of 11 dB wordt bovenbouwcode 6 (regelbare spoorstaafbevestiging) en een spectrumnummer van respectievelijk 5, 7 en 8 toegepast. Voor bruggen met meer dan 12 dB toeslag wordt bovenbouwcode 6 en spectrumnummer 9 gebruikt. De spectrumnummers volgen hetzelfde spectrum, maar telkens met 1 of 2 dB tussen de opeenvolgende spectrumnummers.

Nieuw in de CNOSSOS-rekenmethode zijn stalen bruggen. Voor deze bruggen wordt sn=1 gebruikt. In het onderstaande figuur staat het effect van bruggen in CNOSSOS weergegeven.



figuur 15: Verschil in geluidsuitstraling tussen een betonnen brug (links) en een stalen brug (rechts) ten opzichte van een spoor zonder brug (CNOSSOS)

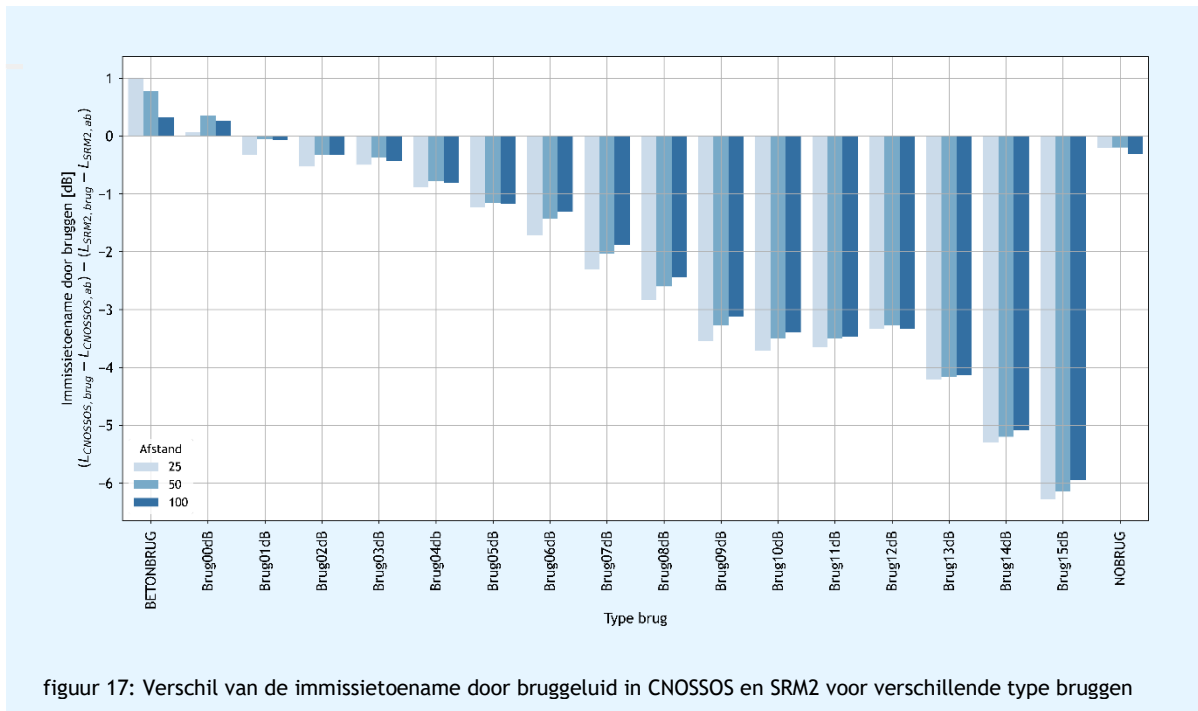
In het onderstaande figuur zijn de verschilcontouren tussen de bruggen in CNOSSOS en SRM2 weergegeven. In de linker figuur staan de rekenverschillen voor een brug met een toeslag van 4 dB en in de rechterfiguur een brug met een toeslag van 12 dB.



Bij de brug met een toeslag van 4 dB is te zien dat op de aanbruggen ongeveer 1,5 dB lagere niveaus gerekend worden. Dit verschil wordt veroorzaakt door de emissieverschillen op de aardebaan en de rekenmethode. Ter hoogte van de brug is een verhoging van de immissie van ongeveer 2 dB tot 2,5 dB te zien. Het geluidsniveau als gevolg van de brug neemt dus netto met ongeveer 3,5 tot 4 dB toe ten opzichte van de SRM2.

Voor de brug met een toeslag van 12 dB is de aardebaan niet goed af te lezen, maar hier wordt analoog aan het linker figuur ook een verschil van 1,5 dB verwacht. Langs de brug is te zien dat de berekende niveaus 4,5 dB lager zijn dan de met SRM2 berekende niveaus. Netto is de toename door stalen bruggen met een hogere brugtoeslag dus 3 dB lager in CNOSSOS dan in SRM2.

In het onderstaande figuur is het verschil in immissietoename door bruggeluid voor verschillende soorten bruggen weergegeven. Het verschil in immissietoename is bepaald door eerst voor beide rekenmethoden het verschil in geluidsniveau langs de brug en aardebaan te bepalen. Vervolgens is het verschil in de CNOSSOS-methode verminderd met het verschil in de SRM2 methode. Een positieve waarde in de grafiek betekent dat CNOSSOS een hogere immissie door bruggeluid berekent dan SRM2.



figuur 17: Verschil van de immissietoename door bruggeluid in CNOSSOS en SRM2 voor verschillende type bruggen

Wat opvalt is dat voor betonnen bruggen en bruggen met een toeslag van 0 dB de immissie in CNOSSOS iets hoger berekend wordt dan in SRM2. Dat ligt bij betonnen bruggen in de lijn der verwachting, want deze bestaan niet in SRM2. Te zien is dat naar mate de brugtoeslag toeneemt CNOSSOS minder brugtoeslag berekent dan SRM2.

4. Overdrachtsmodel

CNOSSOS

De jaargemiddelde niveaus in CNOSSOS worden berekend uit een gewogen som van de geluidsniveaus bij homogene en gunstige overdracht:

$$L_{LT} = 10 \cdot \lg \left(p \cdot 10^{\frac{L_F}{10}} + (1 - p) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right)$$

Hierin is L_F het geluidsniveau in gunstige overdrachtscondities, L_H het geluidsniveau in homogene overdrachtscondities en p de optreedfrequentie van gunstige omstandigheden over het (directe) overdrachtspad.

Het gemiddelde gunstige geluidsniveau wordt bepaald door:

$$L_F = L_{W,0,dir} - A_{dif} - A_{atm} - A_{boundary,F}$$

Analoog wordt het geluidsniveau in homogene overdrachtscondities bepaald door

$$L_H = L_{W,0,dir} - A_{dif} - A_{atm} - A_{boundary,H}$$

De term $L_{W,0,dir}$ beschrijft het geluidsbronvermogen in de richting van de bron. De term A_{dif} is voor homogene en gunstige situaties gelijk en beschrijft de geometrische uitbreiding van de puntbron in het vrije veld ($20 \lg d + 11$). De term A_{atm} beschrijft de atmosferische demping in overeenstemming met ISO 9613-1.

De term $A_{boundary}$ beschrijft de resttermen, ofwel de ‘excess attenuation’. In niet-afgeschermden situaties komt dit overeen met de bodemdemping. In afgeschermden situaties komt deze waarde overeen met de afschermingsterm. De bodemdemping is in die gevallen in de schermwerkingsformules vervat.

SRM2

De rekenmethode SRM2 rekent altijd met gunstige overdrachtscondities. Vervolgens wordt gecorrigeerd voor ongunstige/neutrale condities door de meteocorrectieterm. De formule voor het bepalen van een overdrachtspad luidt als volgt:

$$L_{eq,i,j,n,m} = L_E - \Delta L_{GU} - \Delta L_L - \Delta L_B - C_M - \Delta L_{SW} - \Delta L_R - 58,6$$

Hierin is ΔL_{GU} de geometrische uitbreidingsterm $\Delta L_{GU} = 10 \lg \frac{\Phi}{R_0 \sin \theta}$. De term ΔL_L is de atmosferische demping. De term ΔL_B beschrijft de bodemdemping, ΔL_{SW} de schermwerking en ΔL_R de reflectieterm. Tot slot wordt het berekende resultaat gecorrigeerd met de meteocorrectie C_M en een constante van 58,6.

In SRM2 wordt het bodemeffect dus in alle gevallen berekend. In geval van schermwerking wordt de schermwerking gecorrigeerd voor het bodemeffect.

Praktische verschillen

Op korte afstand wordt in SRM2 geen meteocorrectie toegepast. Ook in CNOSSOS wordt op korte afstand in praktijk enkel met favourable condities gerekend. Op korte afstand rekenen de formules voor homogene condities gelijk aan die voor favourable condities. Op grote afstand bedraagt de meteocorrectie in SRM2 3,5 dB.

In CNOSSOS zal gelden dat op grote afstanden de bijdrage van homogene condities verwaarloosbaar is aan dat van favourable condities en geldt in praktijk $L_{LT} = L_F + 10 \cdot \lg p$. In geval van $p=0,3$ komt dit overeen met een meteorcorrectie van 5,2 dB.

4.1 Bodemdemping, onafgeschermd

Het bodemeffect beschrijft de (destructieve) interferentie tussen de directe geluidsstraal en de via de bodem gereflecteerde geluidsstraal. Het bodemeffect gaat uit van een scherpende inslag waardoor altijd sprake is van een reflectie (ook bij akoestisch zachte bodem), afhankelijk van de impedantie van de bodem zal de gereflecteerde geluidsstraal een fase draaiing ten opzichte van de directe straal kennen. Er is dus geen sprake van een bodemabsorptie. In CNOSSOS wordt de bodemdemping vastgesteld op basis van empirische benaderingen van de sferische reflectiecoëfficiënt (dus een theoretische benadering). In SRM2 wordt het bodemeffect benaderd met benaderingsformules op basis van metingen van Parkin & Scholes en is dus praktisch van aard.

4.1.1 Overdracht op volledige harde bodem

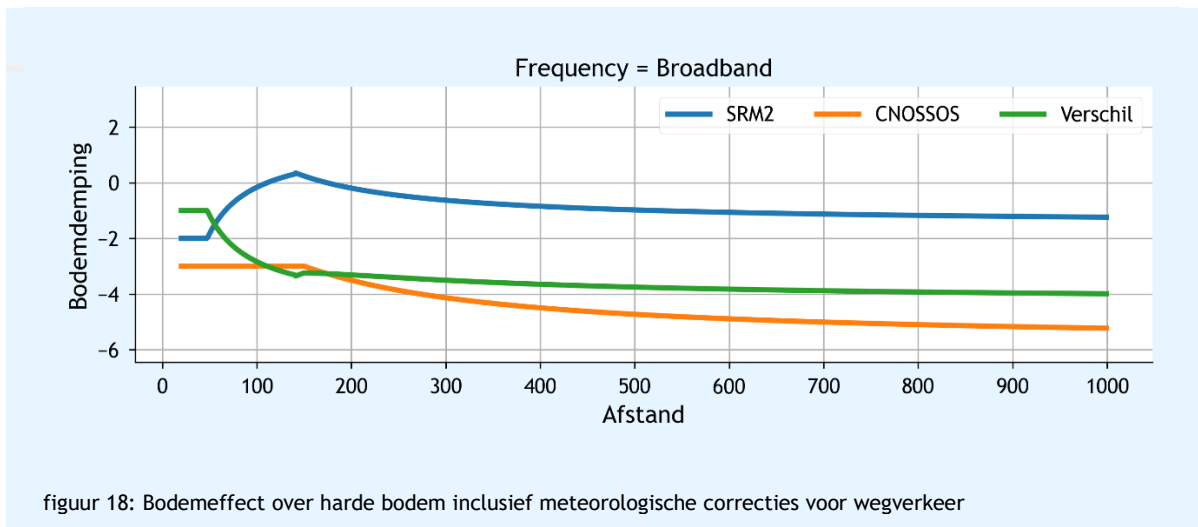
De meest eenvoudige situatie is een situatie waarin geldt dat het gehele overdrachtspad als akoestisch hard beschouwd kan worden. In SRM2 geldt dat op korte afstand bij een harde bodem voor alle octaafbanden (met uitzondering van 63 Hz) de bodemdemping -2 dB bedraagt. Voor de 63 Hz band is dit -6 dB. Op grotere afstand (als $d_p \geq 30 \cdot (z_s + z_r)$) neemt de bodemdemping asymptotisch toe tot -5 dB.

In de CNOSSOS-rekenmethode wordt de bodemdemping als volgt berekend:

$$\begin{aligned}
 A_{ground,H} &= -3 \\
 A_{ground,F} &= A_{ground,F,min} - 3 \quad \text{if } d_p \leq 30(z_s + z_r) \\
 A_{ground,F,min} &= -3 \cdot \left(1 + 2 \cdot \left(1 - \frac{30 \cdot (z_s + z_r)}{d_p} \right) \right) \quad \text{else}
 \end{aligned}$$

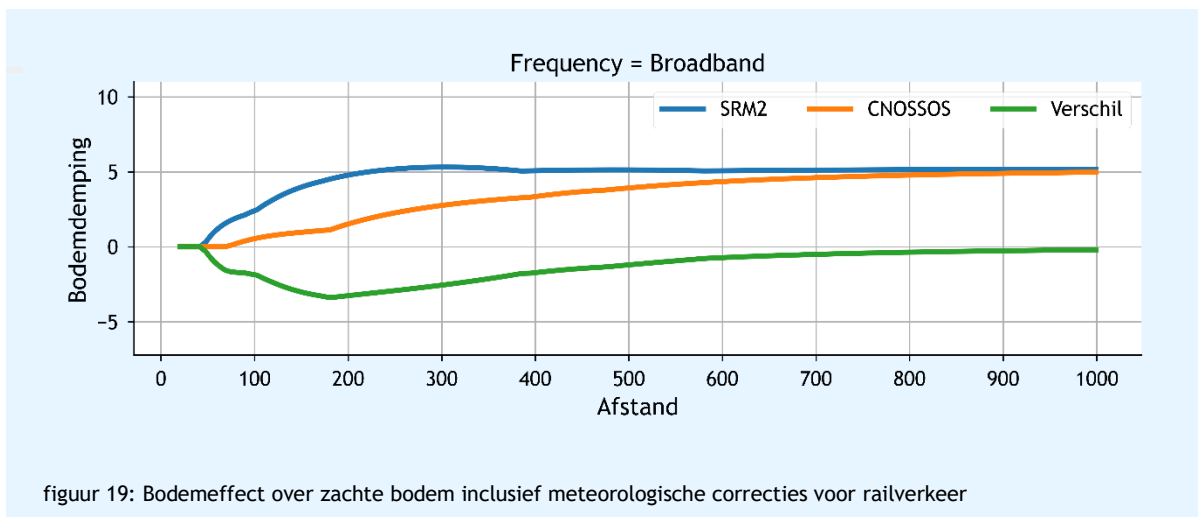
In homogene overdrachtscondities is er dus altijd sprake van 3 dB toename van het geluidsniveau. Vanaf een afstand die gelijk is aan 30 maal de som van de hoogtes neemt de waarde van $A_{ground,F}$ asymptotisch af tot 9 dB. Voor wegverkeer is deze afstand gelijk aan 120 meter, bij railverkeer is dit tussen 135 en 240 meter voor de verschillende railverkeersbronnen.

Als uitgegaan wordt van wegverkeer dan geldt het volgende voor het verschil in bodemdemping tussen CNOSSOS en SRM2: op korte afstand is er sprake van 1 dB extra bodemreflecties. Vanaf 50 meter tot 100 meter nemen de bodemreflecties sterk toe tot ongeveer 4 dB. Daarna blijft het effect van bodemreflecties langzaam toenemen tot 5 dB. In het figuur op de volgende pagina zijn de bodemdemping in CNOSSOS en SRM2 (en het verschil hiertussen) uitgezet als functie van de afstand tussen bron en ontvanger.

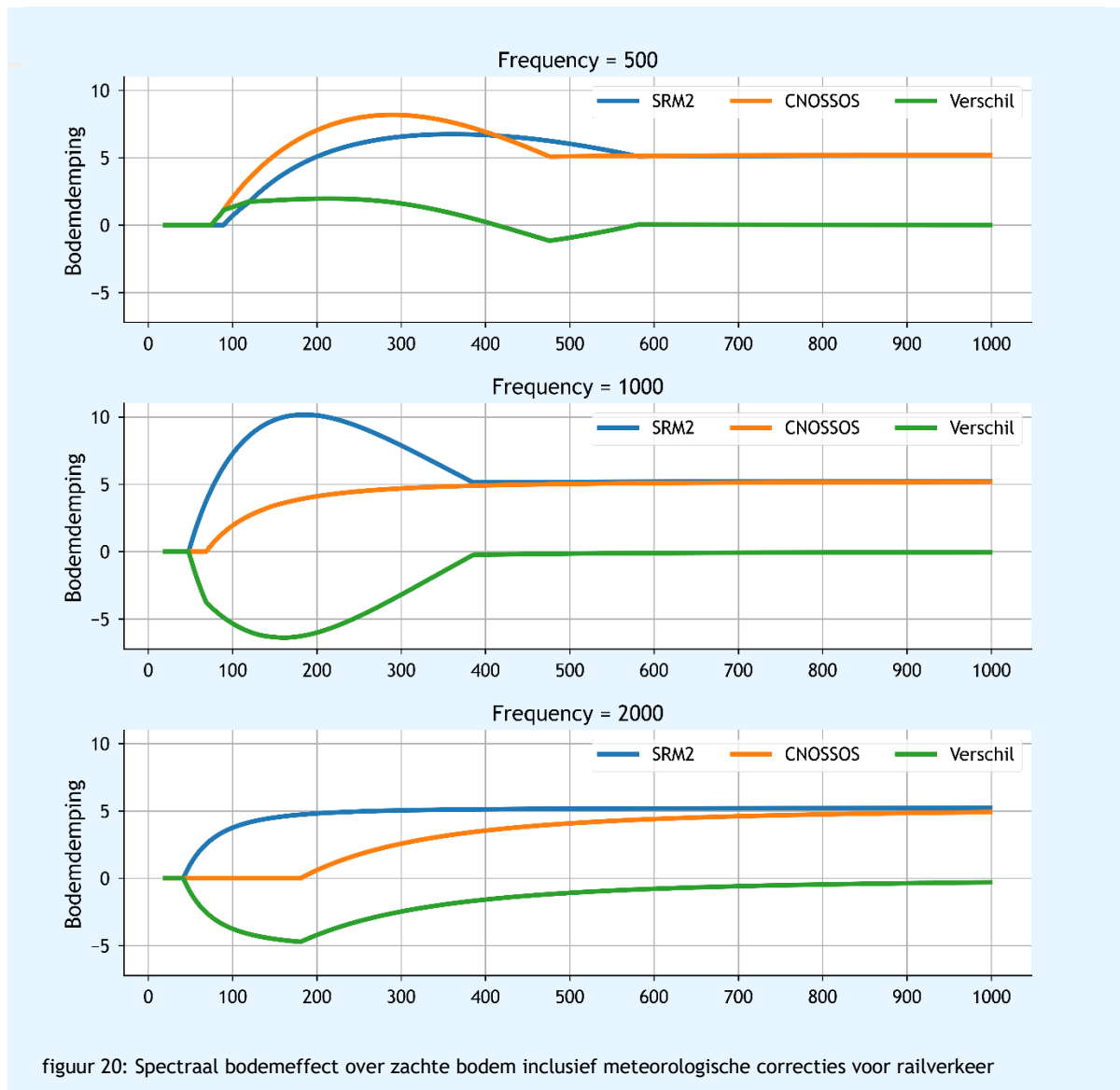


4.1.2 Overdacht op zachte bodem

De overdracht over volledig zachte bodem is door de fase-draaiing sterk frequentieafhankelijk en daardoor minder eenduidig te beschrijven dan de overdracht op harde bodem. Een voorbeeld van een volledig zacht overdrachtspad is railverkeer waarbij $G_s = 1$ (bijvoorbeeld bij een ballastbed). De bodemdemping van railverkeer op een volledig zachte bodem is weergegeven in het onderstaande figuur.



In dit figuur is op te merken dat op afstanden tot circa 50 meter de bodemdemping ongeveer gelijk is. Vanaf 50 meter is de bodemdemping in CNOSSOS lager dan SRM2. Naar mate de afstand toeneemt neemt het verschil tussen SRM2 en CNOSSOS af en is de bodemdemping ongeveer gelijk. Te zien is dat op circa 180 meter afstand het verschil tussen SRM2 en CNOSSOS het grootste is. In CNOSSOS wordt dan ongeveer 3,5 dB minder bodemeffect gerekend. In het figuur op de volgende pagina zijn de verschillen voor de belangrijkste octaafbanden weergegeven.

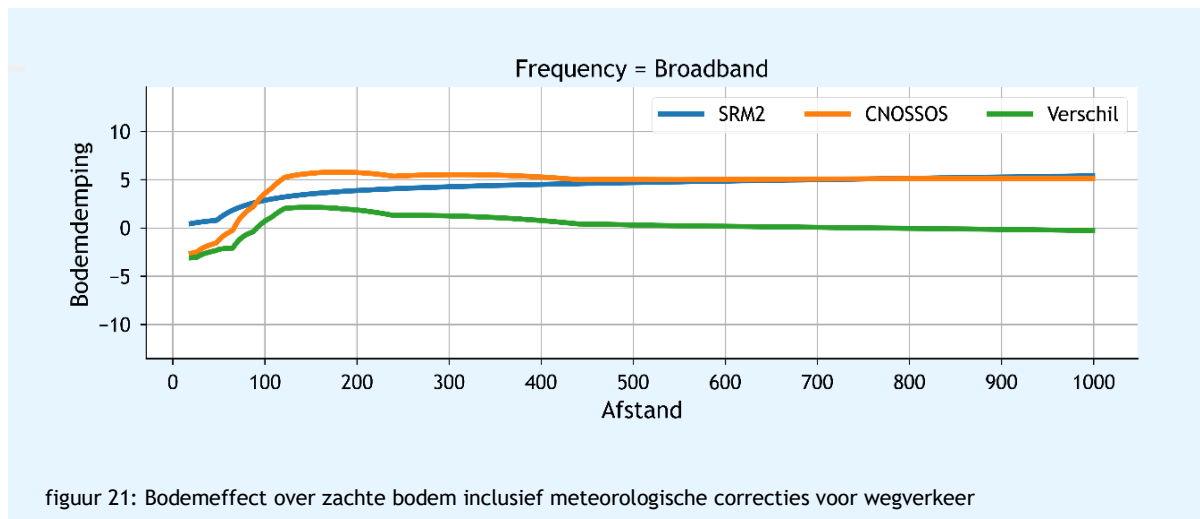


Te zien is dat bij met name de 1000 en 2000 Hz octaafbanden de grootste verschillen worden berekend. Wat opvalt is dat bij 1000 Hz de bodemdemping bij SRM2 op 150 meter 10 dB bedraagt, terwijl CNOSSOS ongeveer 4 dB aan bodemdemping berekent. Dit leidt tot 6 dB minder bodemdemping bij 1000 Hz. Voor de 500 en 1000 Hz banden wordt op grotere afstand dezelfde bodemdemping berekend. Voor de 2000 Hz octaafband is te zien dat de verschillen steeds kleiner worden.

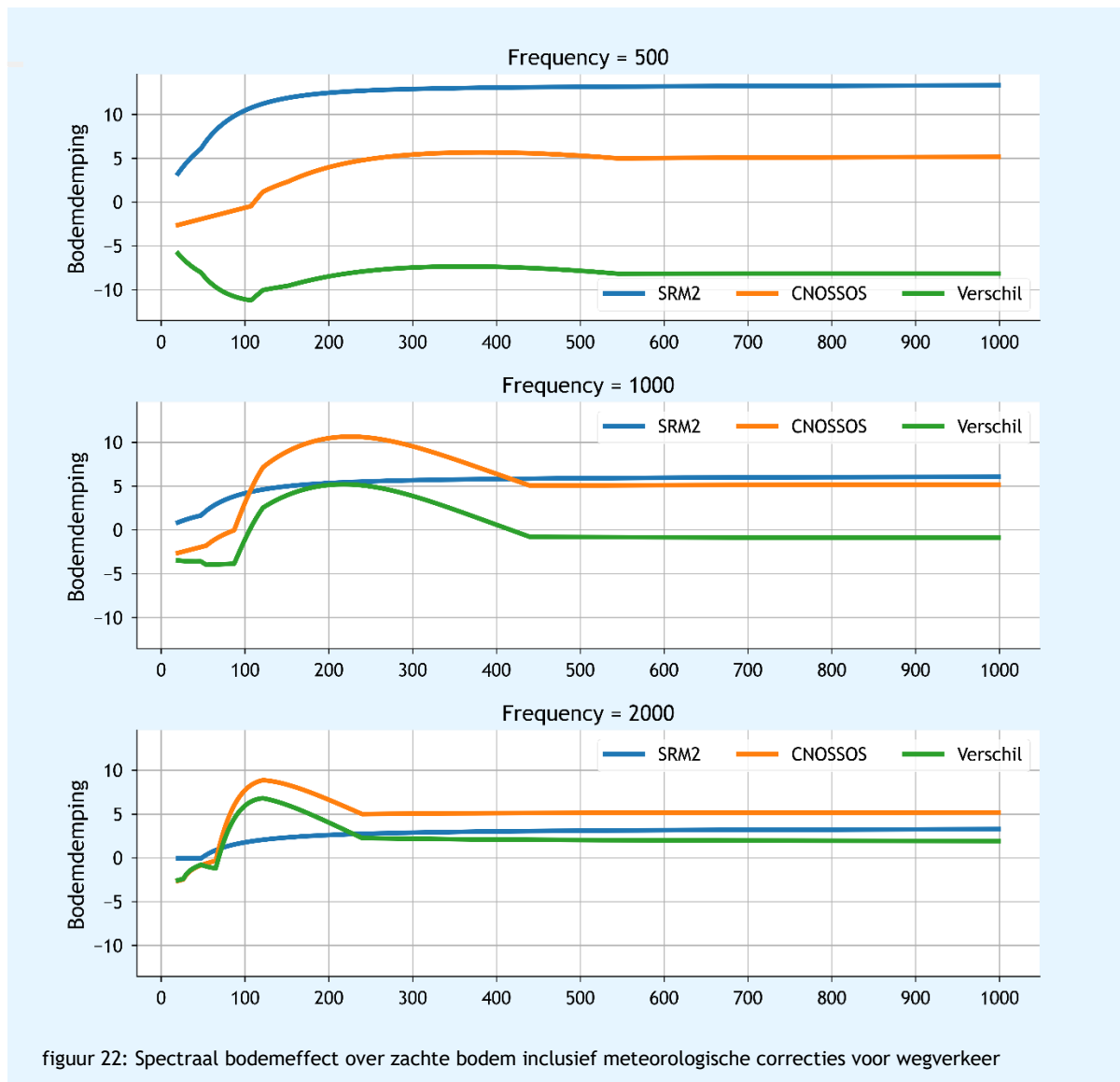
4.1.3 Wegverkeer in zachte omgeving

Ongeacht of het brongebied hard of zacht is geldt bij wegverkeer altijd dat G_s gelijk is aan 0. Voor homogene condities geldt dat G_{path} gecorrigeerd wordt voor het harde brongebied. Dit wil zeggen dat op afstanden kleiner dan 30 maal de som van de hoogtes het overdrachtspad gecorrigeerd wordt. Bijvoorbeeld op een afstand van 50 meter is G_{path} gelijk aan 0,9 maar wordt door de correctie het overdrachtspad G'_{path} gelijk aan 0,4. Voor gunstige condities wordt G_{path} gecorrigeerd voor het bepalen van $A_{\text{ground,min}}$ maar niet voor het bepalen van de $A_{\text{ground,H}}$.

In het onderstaande figuur staat de vergelijking van de bodemdemping voor een breedbandig verkeerslawaaispectrum weergegeven. Hierin is te zien dat tot 100 meter afstand de CNOSSOS-rekenmethode in een zachte omgeving minder bodemdemping dan SRM2 berekent. Met name op korte afstand kan dit verschil oplopen tot ongeveer 3 dB. Op 130 meter afstand rekt CNOSSOS juist 2 dB meer bodemdemping dan SRM2. Op afstanden groter dan 500 meter rekenen beide methodes ongeveer evenveel bodemdemping uit.



In de onderstaande grafieken staan voor de belangrijkste octaafbanden de bodemdemping van de twee rekenmethode en de verschillen weergegeven. Hierin is te zien dat de CNOSSOS en SRM2 rekenmethodes op de 500 Hz octaafband een significant verschil berekenen. In deze figuren is ook te zien dat met name de 1000 Hz octaafband in de eerste 100 meter voor de toename van het geluidniveau zorgt. In de 1000 Hz octaafband kent CNOSSOS op 200 meter afstand een significant sterkere bodemdemping dan SRM2.



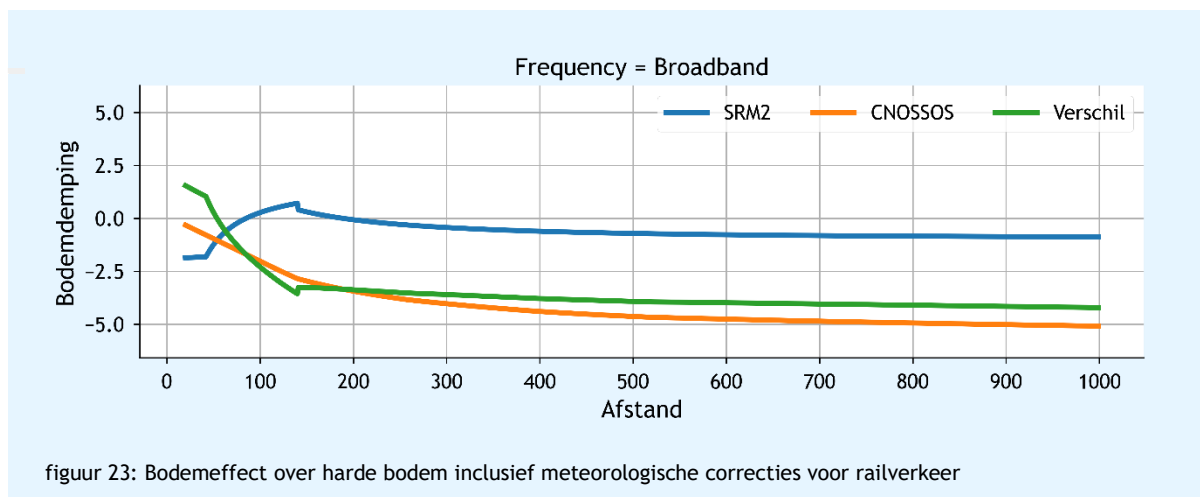
figuur 22: Spectraal bodemeffect over zachte bodem inclusief meteorologische correcties voor wegverkeer

Op korte afstanden wordt bij CNOSSOS voor alle octaafbanden een lagere bodemdemping dan bij SRM2 berekend. Vanaf ongeveer 60 meter beginnen de hogere frequenties een gelijke bodemdemping te laten zien. De 500 Hz octaafband kent over alle afstanden in CNOSSOS een lagere bodemdemping.

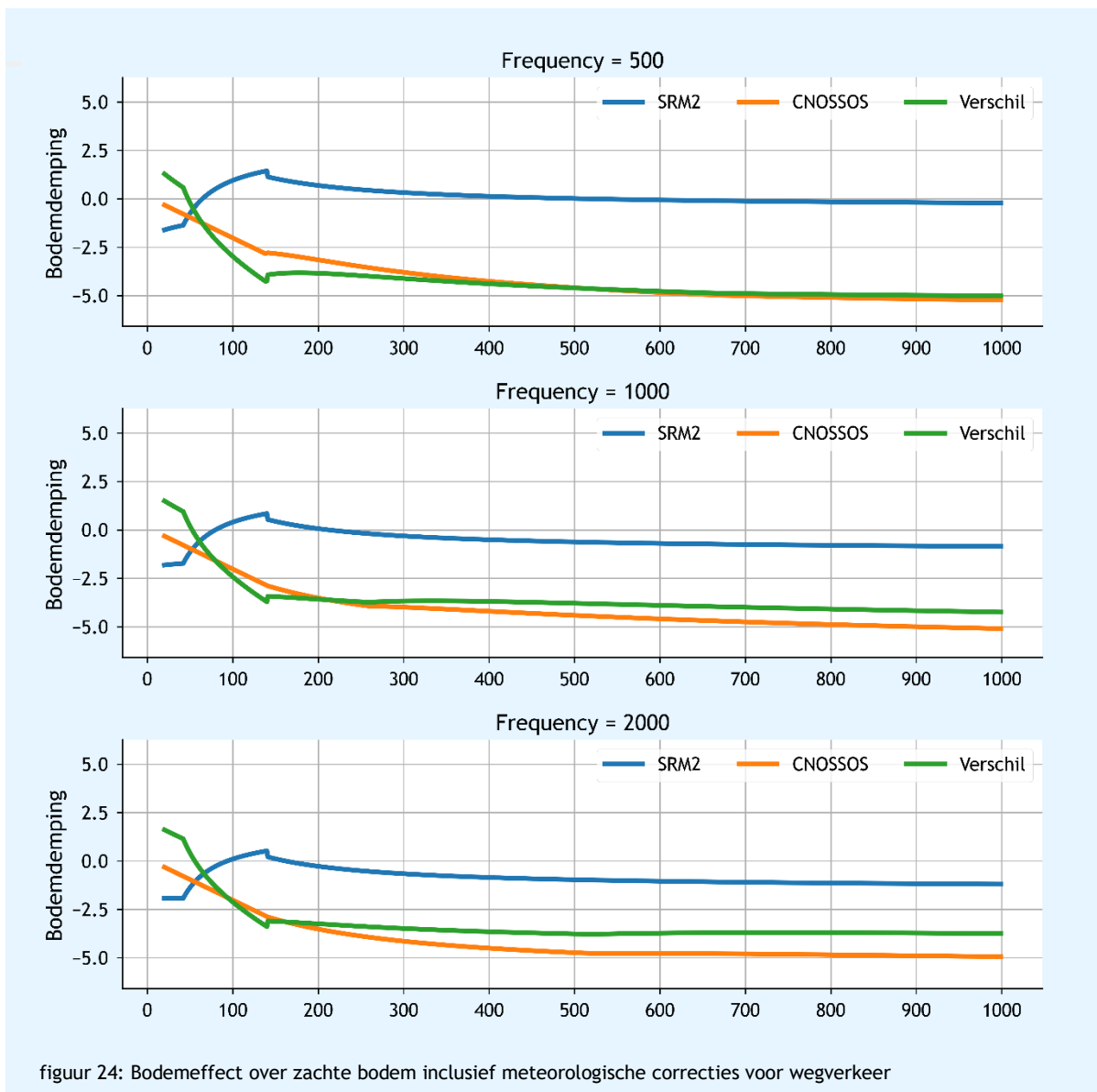
4.1.4 Railverkeer in harde omgeving

Voor railverkeer in een stedelijke omgeving geldt net als bij wegverkeer dat voor homogene omstandigheden G_{path} gecorrigeerd wordt. Alleen geldt nu dat een groter aandeel een zachte bodem kent dan verwacht zou mogen worden. Tot de eerste 135 meter wordt de waarde van G_{path} sterk beïnvloed door deze correctie. Op 50 meter afstand bedraagt G_{path} 0, maar deze wordt gecorrigeerd naar 0,6. Hiermee ontstaat juist een redelijk zacht overdrachtspad.

In het onderstaande figuur is te zien wat het bodemeffect is van railverkeer in een stedelijke (harde) omgeving. Op korte afstand kent CNOSSOS 1,7 dB meer bodemdemping dan SRM2. Vanaf 66 meter kent CNOSSOS juist minder bodemdemping voor railverkeer. Op grote afstand kent CNOSSOS circa 4,4 dB minder bodemdemping dan SRM2.



De spectrale verschillen in de bodemdemping voor railverkeer in een stedelijke omgeving zijn uitgezet in onderstaande figuur. In het figuur is te zien dat bij SRM2 (blauwe lijnen) de bodemdemping slechts licht varieert per frequentie. Dit wordt veroorzaakt doordat alleen in het brongebied iets minder bodemdemping gerekend wordt bij de hogere frequenties. Voor CNOSSOS (oranje lijnen) is te zien dat voor alle frequenties ook nagenoeg een gelijke bodemdemping berekend wordt. De bodemdemping in CNOSSOS loopt op tot 5 dB op grote afstand, terwijl in SRM2 de bodemdemping op grote afstand ongeveer 0 dB bedraagt. Dit leidt tot 5 dB verschil op grote afstand. Op korte afstand wordt ook in SRM2 een bodemreflectie berekend en is het effect van de meteorologische correctie nog verwaarloosbaar.



4.2 Afgeschermdde situaties

SRM2

In SRM2 wordt de bodemdemping en de schermwerking apart berekend. In geval van schermwerking wordt op de bodemdemping in het bron- en ontvangergebied een correctie S_b respectievelijk S_w toegepast. Omdat deze correcties in deze gebieden plaats vinden is er alleen een correctie aanwezig bij (deels) zachte bron- of ontvangergebieden. Voor zeer effectieve schermen dicht bij de bron of waarnemer zal de correctie S naar 0 neigen. In dat geval zal het bodemeffect in dat gebied gelijk zijn aan de bodemfactor in dat gebied.

De schermwerking in SRM2 is gebaseerd op het meest maatgevende scherm. De afscherming wordt bepaald vanuit de akoestische omweg, waarbij rekening wordt gehouden met een straalkromming van $26R$. Vanuit de akoestische omweg wordt het Fresnelgetal bepaald, waarna met de benaderingsformules van Maekawa de schermwerking berekend wordt. De maximale schermwerking bedraagt 25 dB.

CNOSSOS

In de CNOSSOS-rekenmethode wordt de afscherming, net als bij bodemdemping, twee keer berekend. Eenmaal in homogene omstandigheden en eenmaal in gunstige omstandigheden. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van meervoudige diffractie.

In de CNOSSOS-rekenmethode wordt het pad opgesplitst in twee delen. Een bronkant en een waarneemkant. In het geval van meervoudige diffractie geldt het brongebied van de bron tot het eerste object en het waarneembied van het laatste object tot de ontvanger.

Er worden 3 diffracties berekend:

- Bron-Waarneempunt $\Delta_{dif(S,R)}$
- Spiegelbron-waarneempunt $\Delta_{dif(S',R)}$
- Bron-spiegelwaarneempunt $\Delta_{dif(S,R')}$

De gespiegelde diffracties worden gebruikt voor het bepalen van het bodemeffect aan de bronkant $\Delta_{ground(S,O_1)}$ en aan de waarneemkant $\Delta_{ground(O_n,R)}$. De maximale schermwerking exclusief het bodemeffect bedraagt 25 dB.

Verschillen

Door de vele variaties van mogelijke geometrieën, schermconfiguraties, bodemgebieden, frequenties, bronhoogtes zijn de verschillen tussen de twee methoden moeilijk aan te duiden. Een belangrijk verschil tussen de twee methodes is de meervoudige diffractie. In sommige situaties zal CNOSSOS hierbij meer afscherming geven dan SRM2. Anderzijds kan door de grotere straalkromme (kleine kromtestraal) in gunstige overdrachtssituatie over het scherm gekeken worden. Dit effect kan echter ook weer tenietgedaan worden doordat in homogene situaties het scherm wel voor afscherming zorgt.

Een groot verschil zal daarbij ontstaan door het ontbreken van profielcorrectietermen. Deze worden in SRM2 voor verschillende redenen gebruikt:

- 2 dB profielcorrectie bij geluidswallen
- 2 of 5 dB profielcorrectie bij perronschermen in railverkeer
- 2 dB profielcorrectie bij een viaductrand
- 2 dB profielcorrectie bij afscherming door een hoogtelijn

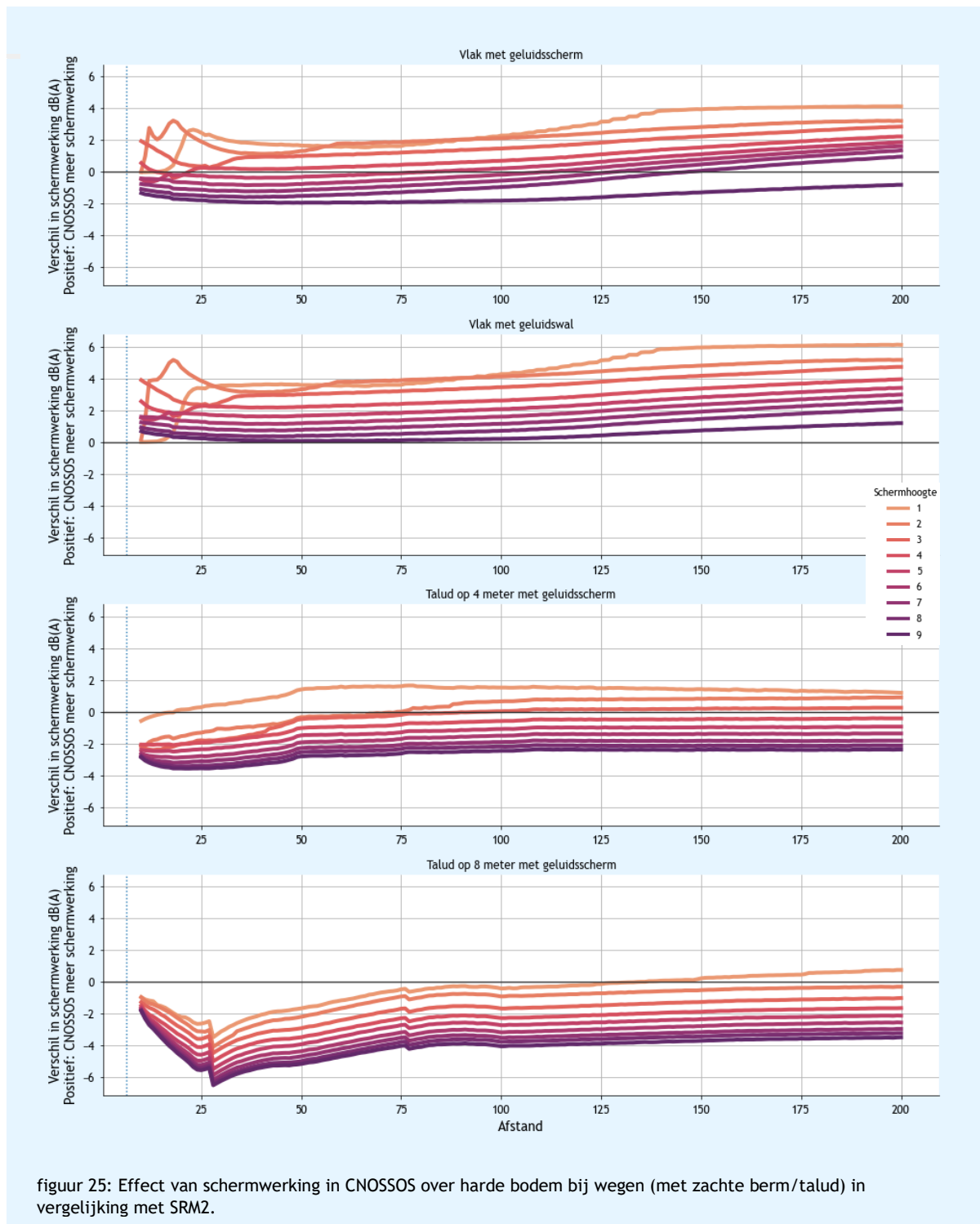
Omdat deze profielcorrectie in CNOSSOS ontbreekt kan een geluidswal in CNOSSOS 25 dB afschermen, terwijl deze in SRM2 maximaal 23 dB afschermt.

Een ander verschil wordt niet veroorzaakt door de veranderde schermwerking, maar door de verandering van de brongeometrie. Bij wegverkeer wordt de bron verlaagd naar 0,05 m waardoor de effectieve schermwerking bij wegverkeer zal toenemen. Bij railverkeer wordt het rolgeluid van 0,0/0,5 meter BS verplaatst naar 0,5 meter BS. Daarnaast is bij veel meer treincategorieën ook de bron op 4 meter aanwezig. Met name bij brede spoorbundels zullen schermen voor iets minder afscherming zorgen en is het mogelijk dat de bron 'over het scherm kijkt'. Ook bij smallere spoorbundels zal er een significant effect zijn.

In figuur 25 (op de volgende pagina) staan voor vier weg-geometrieën de schermwerking opgenomen. Hierin is telkens het effect van de schermwerking, ten opzichte van dezelfde geometrie zonder scherm, opgenomen. De ontvangerhoogte is, om aan te sluiten bij de kartering, steeds 4 meter.

De eerste twee situaties betreffen een 2x1-weg, waarbij de weg een harde bodem kent. Naast de weg is een groenstrook van 3 meter gemodelleerd. Op 6,3 meter afstand van de weg ligt het scherm of de wal. Na de groenstrook volgt een volledig hard bodemmodel.

In de derde en vierde situatie is een 2x2-weg met een groene middenberm en een groen talud gemodelleerd. Het scherm is op de rand van het talud (4,4m uit de bronlijn) gemodelleerd. Vanaf de teen van het talud is de bodem volledig hard.



Te zien is dat in de vlakke situatie met een regulier scherm op korte afstand de schermwerking van schermen tot 3 meter hoogte hoger is dan in SRM2. Op relatief korte afstand kennen hoge schermen (en dus ook gebouwen) een 2 dB lager schermwerkingseffect. In het geval van een geluidswal is de afscherming in SRM2 2 dB lager ten opzichte van een scherm. Omdat CNOSSOS

geen profielcorrectie kent blijft de afscherming gelijk. Geluidswallen in CNOSSOS hebben hierdoor een 2 dB hogere schermwerking dan in SRM2. Het verschil is maximaal 6 dB meer afscherming op grote afstand bij lage wallen.

In de situatie waar de weg op een talud ligt is de afscherming in CNOSSOS in bijna alle gevallen lager dan in SRM2. Bij schermen van 1 meter hoogte, op een talud van 4 meter hoog, is de afscherming in CNOSSOS hoger dan in SRM2. Voor punten vlak achter schermen of bij schermen vanaf 4 meter is het afschermend effect in CNOSSOS lager. Wanneer het talud op 8 meter hoogte ligt is de afscherming in alle gevallen lager dan bij SRM2. Dit verschil kan oplopen tot 6 dB.

Tot slot speelt mee dat in SRM2 bij een zachte bodem de schermwerking gecorrigeerd moet worden voor het verminderde bodemeffect bij zachte bodem. Bij SRM2 wordt het bodemeffect met een factor verlaagd. Als voorbeeld in een vlakke situatie met een afstand van 25 meter tussen bron en ontvanger en een scherm van 4 meter hoogte op 5 meter van de bron, zal het bodemeffect bij de bron maar 30% zijn van het bodemeffect in de onafgeschermdede situatie. Dit leidt tot 3 dB minder bodemdemping in het brongebied. De schermwerking kan echter nog steeds 25 dB bedragen. Bij een akoestisch harde bodems hoeft niet gecorrigeerd te worden.

Onder CNOSSOS geldt dat de schermwerking én bodemdemping samen maximaal 25 dB kunnen bedragen. In praktijk leidt dit bij een oneindig hoog en lang scherm op een maximale afscherming + bodemeffect (A_{dif}) van 19 dB op harde bodem en 22 dB op zachte bodem. In SRM2 wordt met dezelfde condities een maximale schermwerking + bodemdemping van 23 dB op harde bodem en 24,5 dB op zachte bodem berekend.

4.3 Zachte bodem onder poreuze wegdekken

In het kader van het onderzoek wegverkeer in CNOSSOS is door M+P [6], in samenwerking met TNO, het effect van half-absorberende bodemvakken onderzocht. In dit rapport wordt de volgende aanbeveling gegeven:

The average absorption coefficient under 80° oblique incidence of the porous road surface over the range of 500 to 2 000 Hz is about 0.75. For soil to exhibit a similar absorption coefficient, the flow resistivity shall be around 500 to 1000 kN.s.m⁻⁴. Such soil type is not defined in table I, however this value falls halfway soil type E with $G = 0.7$ and soil type F with $G = 0.3$.

A value of $G = 0.5$ is proposed as the parameter to include the effect of a porous road surface on the ground attenuation in the propagation calculation. A porous surface is defined to exhibit a porosity >14% and a layer thickness >40 mm. Road surface types in the semi-dense category, such as Thin Surface Layers (TSL), but also clogged porous surfaces, shall be treated as reflective, using $G=0$.

The value for $G = 0.5$ has been discussed with TNO (Erik Salomons), who have also performed some calculations with different absorption and propagation models. They concluded from their calculations that 0.5 is a conservative value and that it may need to be higher (0.7 to 1.0). After further discussion, we decide to keep 0.5 as our final proposal. We wish not to overestimate the effect, since the calculations above are based on new and perfectly absorbing road surfaces.

Op basis van deze aanbeveling kan voor absorberende wegvakken, welke in Nederland veel meer gebruikt worden dan andere lidstaten, uitgegaan worden van een waarde $G = 0,5$.

4.4 Reflecties

De effecten door veranderde reflectiecriteria zijn niet nader onderzocht. Hieronder worden wel de verschillen in reflectiecriteria opgesomd:

SRM2:

- Het object moet minimaal een zichthoek van 2° doorsnijden
- Het object steekt over de hele sectorhoek ten minste 2 meter boven het wegvak uit¹²

CNOSSOS:

- Het object moet minimaal een hoogte van 0,5 meter hebben ten opzichte van de geluidsstraal
- Het object moet minimaal een breedte van 0,5 meter hebben

Voor SRM2 zullen gebouwen met een 9 meter brede gevel vanaf 5 meter afstand al niet meer meegenomen worden. Een huizenblok van 50 meter reflecteert, onder SRM2, op 27 meter afstand niet meer. In praktijk betekent dit dat in CNOSSOS in principe alle objecten in het model een reflectie kunnen veroorzaken en dat deze meegenomen¹³ moet worden in de bepaling van het geluidsniveau. Dit leidt tot extreem lange rekentijden. In praktijk zullen daarom zoekafstanden van 30 meter voldoende zijn om onnodige reflectieberekeningen te voorkomen. Dit zou eventueel aangevuld kunnen worden in het Nederlandse voorschrift of in de modelleerrichtlijnen. De reflectiebijdragen zijn over het algemeen verwaarloosbaar voor geluidkartering.

¹² Geomilieu rekent niet met dit hoogtecriterium

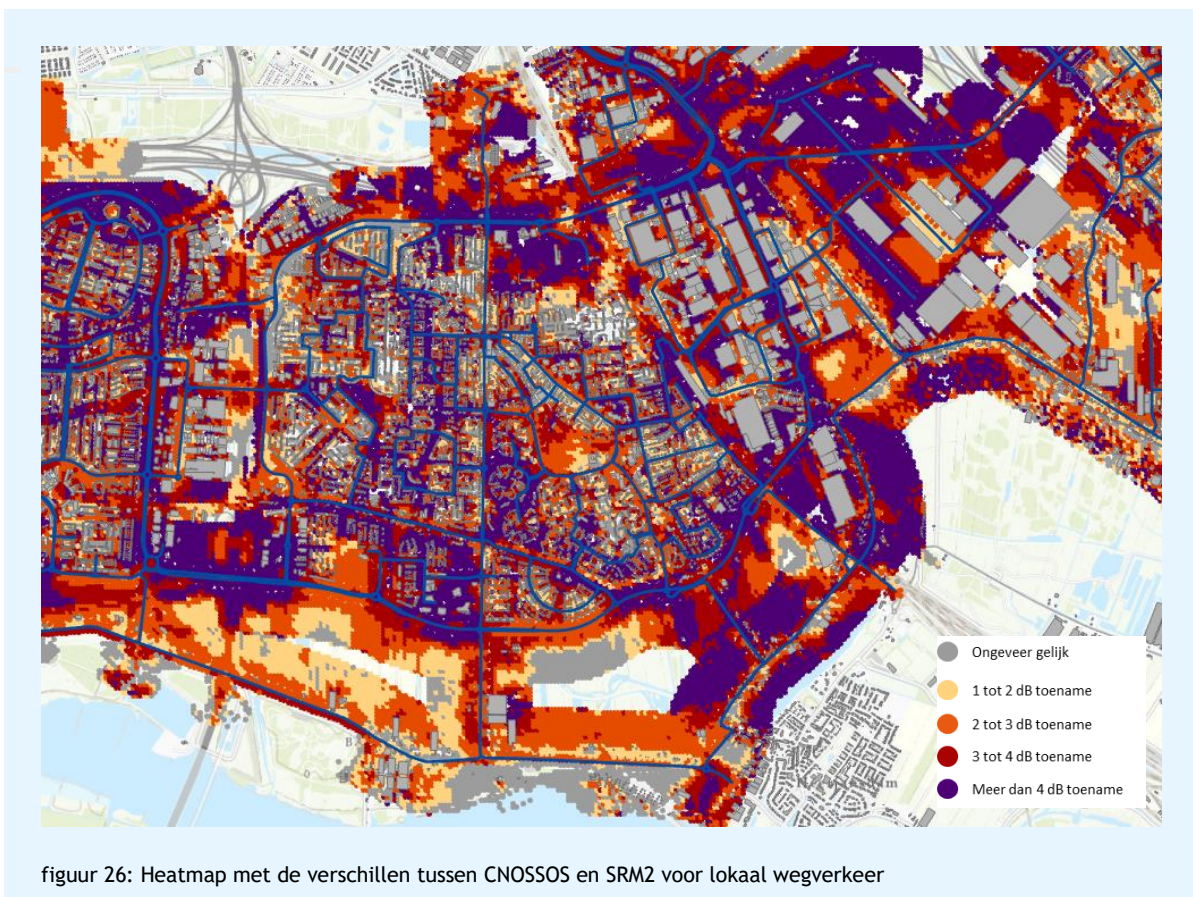
¹³ In favourable condities worden alleen objecten meegenomen die boven de gebogen geluidsstraal liggen. Over korte afstand (<100m) ligt de geluidsstraal 1,25m boven de rechte geluidsstraal.

5. Immissieverschillen

5.1 Lokaal wegverkeer

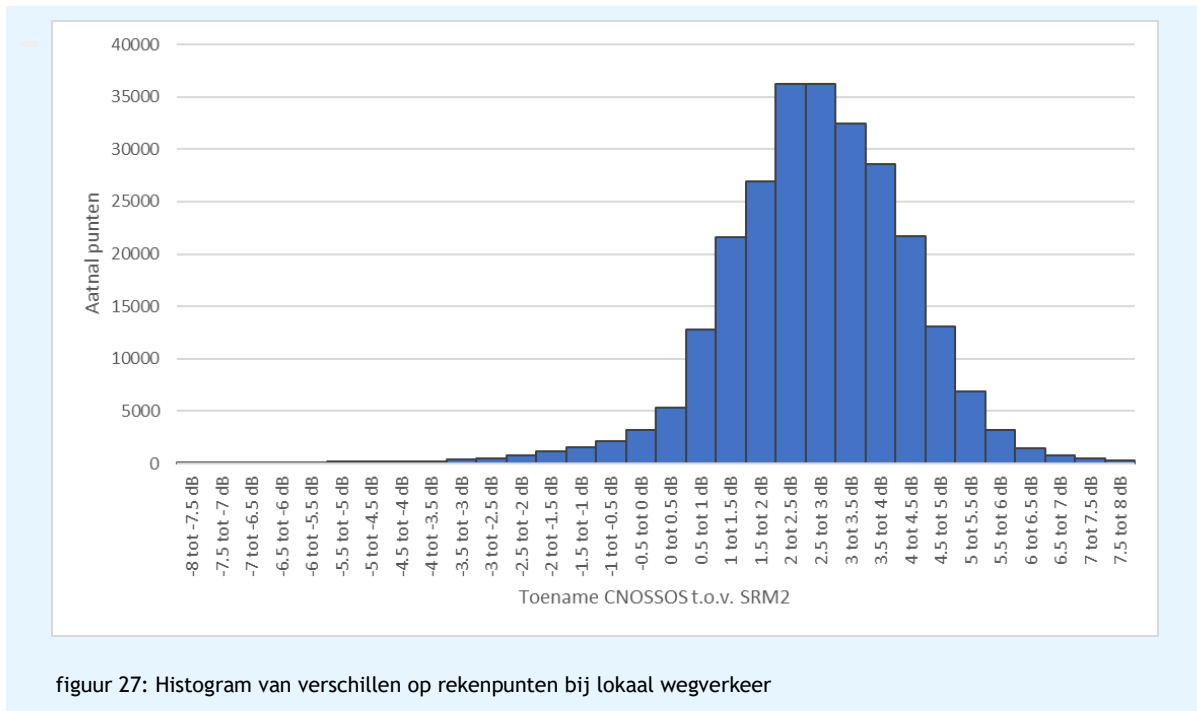
De combinatie van een met 2 dB toenemende emissie en een veranderd bodemmodel zorgt gemiddeld voor een toename van $2,7 \pm 1,6$ dB hogere immissie op de contourpunten in het model van de BAR-gemeenten. Dit betekent, uitgaande van een standaardverdeling, dat 95% van de contourpunten een verschil tussen -0,6 dB en +6,0 dB kennen.¹⁴

In onderstaande figuur is een heatmap weergegeven waarin de rekenverschillen voor lokaal wegverkeer in kaart gebracht zijn. De grijze punten geven een toename van maximaal 1 dB aan, terwijl de paarse punten een toename van 4 dB of hoger voorstellen. Over het algemeen wordt overal een toename van minimaal 2 dB gevonden.



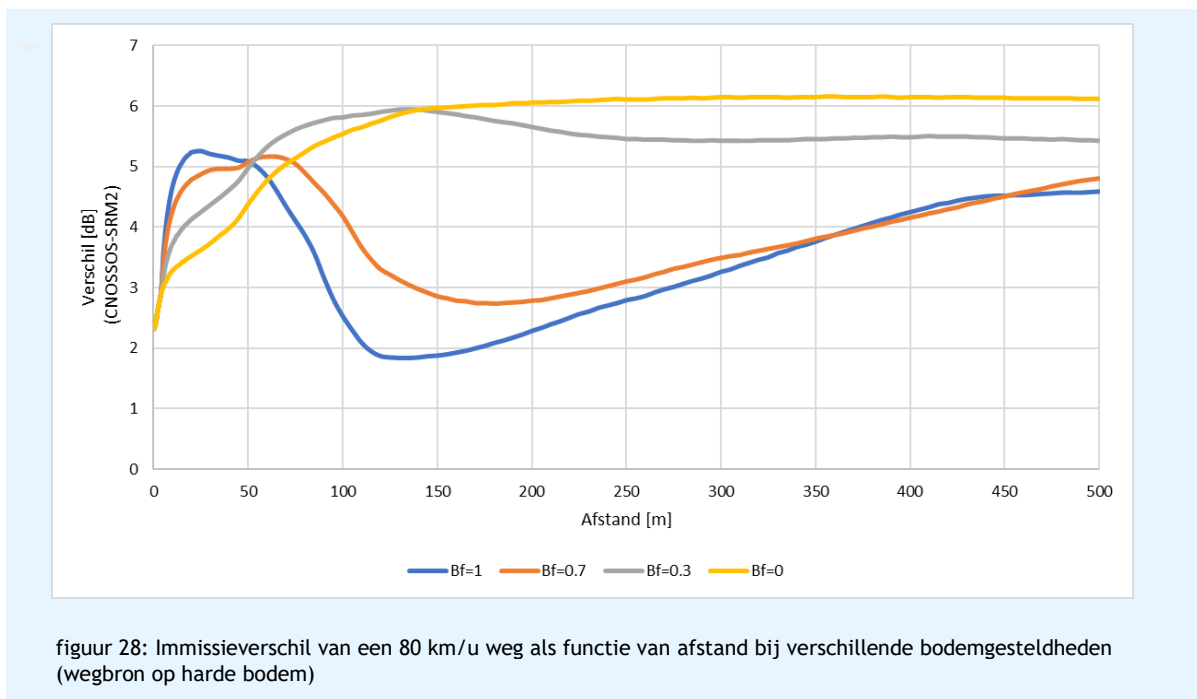
Gemiddeld worden voor dit model van de BAR-gemeenten over alle rekenpunten 2,7 dB hogere niveaus berekend in CNOSSOS dan in SRM2, zoals weergegeven in onderstaande figuur met een histogram van de verschillen.

¹⁴ In het fase 1 onderzoek van dBvision [9] is voor een grotere steekproef aan gemeenten het immissieverschil op contourvlakken tussen CNOSSOS (2021) en SRM2 (2016) in beeld gebracht.



figuur 27: Histogram van verschillen op rekenpunten bij lokaal wegverkeer

Tot slot is het immissieverschil uitgezet als functie van de afstand bij vier verschillende bodemgesteldheden. Voor lokaal wegverkeer is te zien dat bij een harde bodem op korte afstand de immissie in CNOSSOS ongeveer 3 dB hoger ligt dan bij SRM2. Op grote afstand bedraagt het emissieverschil op harde bodem 6 dB. Bij zachte bodem is op korte afstand een toename tot 5 dB te zien.



figuur 28: Immissieverschil van een 80 km/u weg als functie van afstand bij verschillende bodemgesteldheden (wegbron op harde bodem)

5.2 Vergelijk met metingen (binnenstedelijk)

Ter validatie van de geluidsmodellen voor de geluidsbelastingkaarten, zijn voor de BAR-gemeenten op 13 locaties metingen en verkeerstellingen uitgevoerd. Op elke locatie is 12x15 minuten gemeten. De verkeerstellingen en gemiddelde rij snelheden zijn in het rekenmodel opgenomen waarna de geluidsniveaus op de microfoon berekend zijn. In de onderstaande tabel staan de resultaten opgenomen.

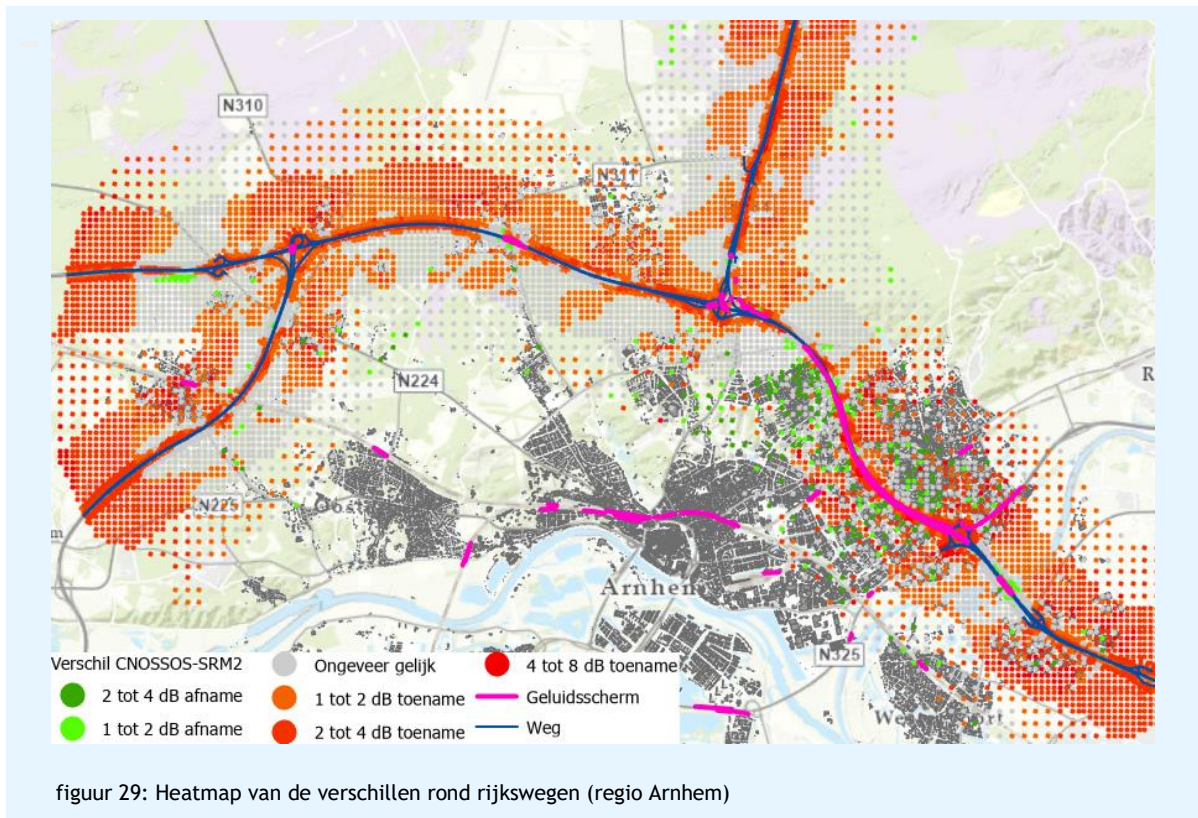
tabel 2 Vergelijking geluidsmetingen met CNOSSOS-model

Locatie	Verharding	Snelheid	Verskil tussen model en meting	Afstand	Overdrachtspad Bron -> ontvanger
B1	ZOAB	70	2.2 dB	7,5 m	Berm
B2	DGD-A (verouderd)	70	0.3 dB	9,5 m	Berm + fietspad
B3	Elementen in keper	30	1.4 dB	7,5 m	Harde bodem
B4	DGD-A	70	3.1 dB	7,5 m	Berm
B5	Elementen in keper	50	3.0 dB	12,8 m	Zand, verhard
A1	DAB	50	3.4 dB	7,6 m	Berm
A2	DAB	80	2.4 dB	11,5 m	Berm + fietspad
A3	DAB	50	3.2 dB	7,5 m	Berm
A4	DAB	50	3.2 dB	7,5 m	Berm
R1	Elementen in keper	30	2.4 dB	5,5 m	Verhard
R2	DAB	70	2.0 dB	8,7 m	Smalle berm + verhard
R3	DAB	50	2.0 dB	11,5 m	berm + fietspad
R4	DAB	50	3.6 dB	14,0 m	berm + fietspad

Op locatie B2 komt de berekende geluidsimmissie in het rekenmodel goed overeen met de metingen. Wij vermoeden dat dit met name komt door de veroudering van het geluidreducerend asfalt. Buiten deze locatie laten alle gemeten wegvakken een significant hogere berekende geluidsimmissie zien dan de metingen. Het CNOSSOS-rekenmodel berekent een $2,5 \pm 0,7$ dB hoger niveau dan het gemeten niveau.

5.3 Rijkswegen

Voor Rijkswegen is gekeken naar de omgeving Arnhem. Hier wisselen landelijk en stedelijk gebied elkaar af. Hier is eveneens een heatmap gemaakt met de verschillen in berekende niveaus. Te zien is dat, in vergelijking met lokaal wegverkeer, kleinere verschillen en zelfs afnames berekend worden.



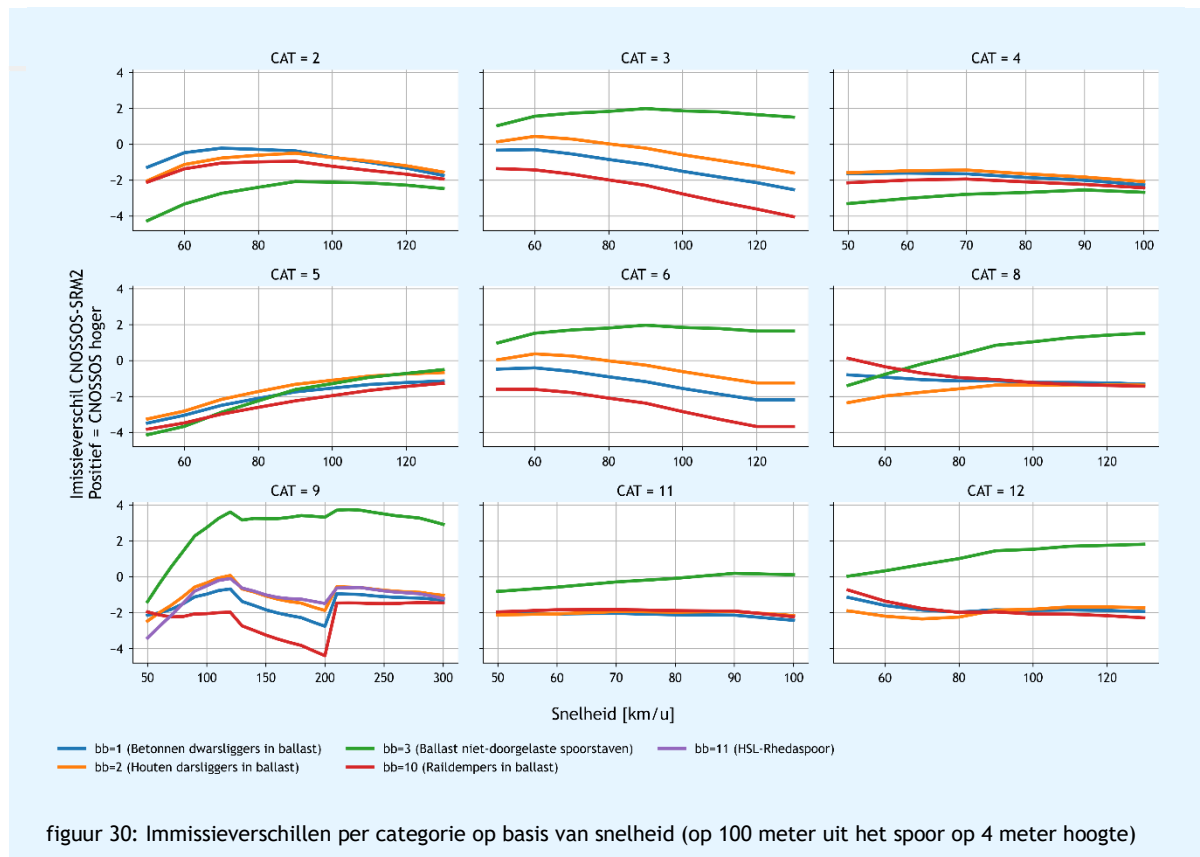
Ten oosten van knooppunt Grijsoord is te zien dat de zuidelijke zijde van de weg min of meer gelijk niveaus berekend dan SRM2. Aan de noordzijde worden tot 200 meter kleine toenames berekend. Vanaf 200 meter bedragen de toenames circa 2 dB. Dit verschil is te verklaren door het verschil in de fractie gunstige overdrachtscondities. Op grote afstand op zachte bodem zal de bijdrage van homogene omstandigheden verwaarloosbaar zijn. Hierdoor geldt $L_T \approx L_{F,T} - 10 \lg p_F$. In noord-zuid richting bedraagt dit verschil ongeveer 2 dB. In SRM2 wordt geen windroos gebruikt, waardoor deze verschillen in SRM2 niet zichtbaar zijn.

Net ten oosten van knooppunt Waterberg tot het begin van de geluidsschermen is aan beide zijden van de weg te zien dat de berekende niveaus ongeveer gelijk zijn. Aan de noordoostzijde van de weg worden verschillen rond +0.5 dB berekend, aan de zuidwestzijde juist -0,5 dB. Achter de geluidsschermen wordt juist weer een hoger niveau berekend door de grotere straalvorming in CNOSSOS.

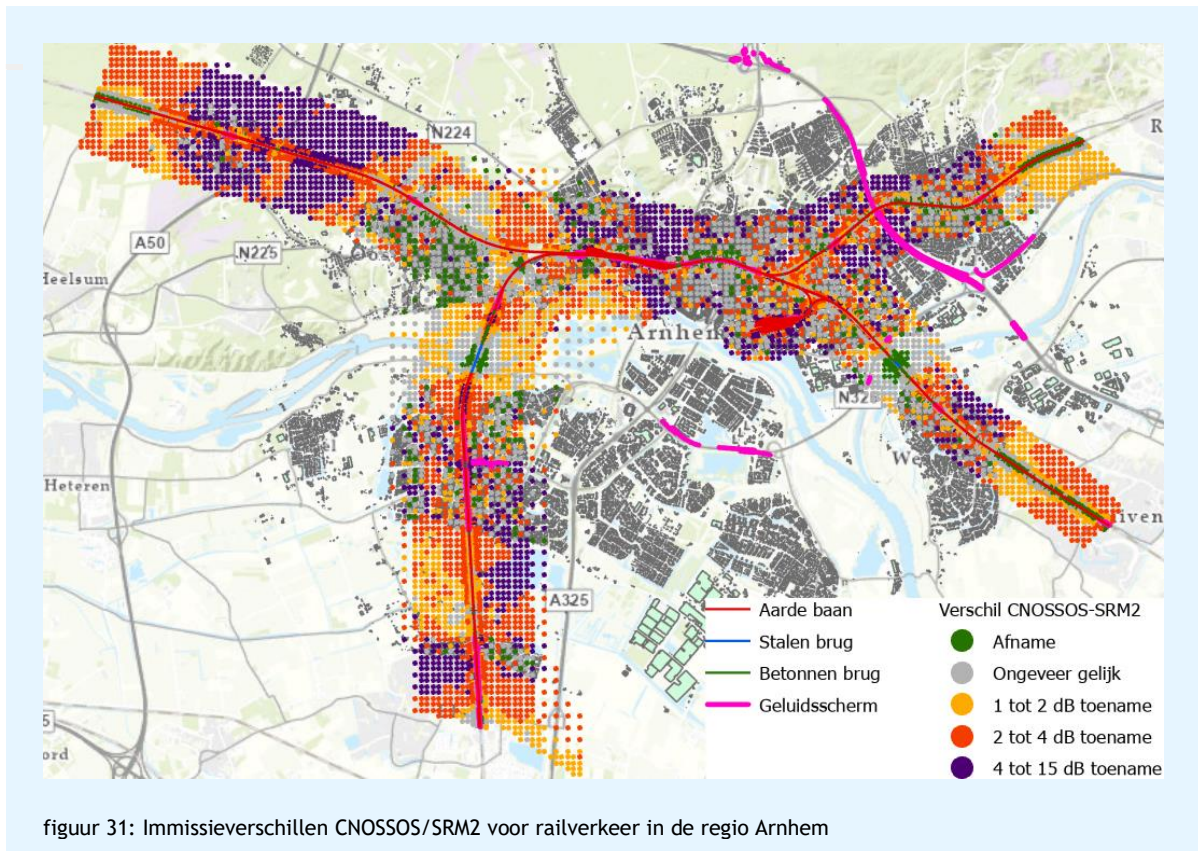
Langs de A50 ten noorden van knooppunt Waterberg worden dicht bij de weg toenames van ongeveer 3 dB gevonden. Op grotere afstand worden juist min of meer gelijke niveaus berekend. De A50 ligt hier ongeveer 2 meter dieper dan het lokale maaiveld. Op korte afstand zal de schermwerking daardoor nihil zijn. Op grotere afstand is juist sprake van schermwerking door de lagere bronhoogte en de grotere afstand.

5.4 Railverkeer

Voor railverkeer is gekeken naar de treincategorie en de snelheid om de verschillen tussen CNOSSOS en SRM2 te kunnen duiden. Hierbij is alleen naar de vijf belangrijkste bovenbouwtypes gekeken. Te zien is dat bijna alle treintypes in CNOSSOS een hogere immissie dan in SRM2 kennen. Voor categorieën 3, 6, 8, 9, 11 en 12 is met name het verschil niet-doorgelast spoor hoog. Daarnaast valt op dat categorieën 6 en 8 bij lage snelheden een hogere immissie veroorzaakt.

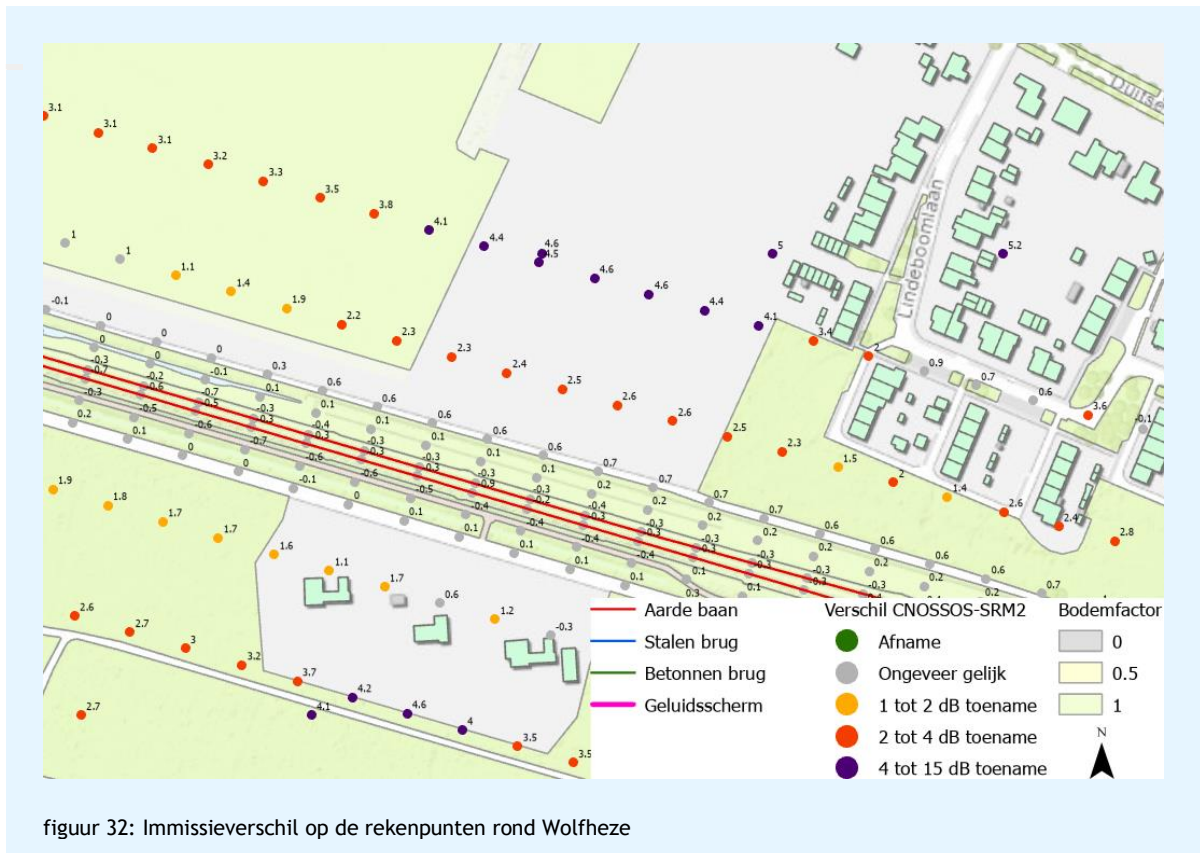


De geluidsbelastingkaarten van Arnhem zijn vervolgens gebruikt om de immissieverschillen rond Arnhem in kaart te brengen. Deze kaart kent een goede verdeling tussen stedelijk en niet stedelijk gebied en kent verschillende spoorconfiguraties. Op de kaart is goed te zien dat over het algemeen op 10 meter afstand de verschillen tussen CNOSSOS en SRM2 nihil zijn. Dit ligt in de lijn der verwachting, omdat de railverkeersemisatie op 7,5 meter getuned is.



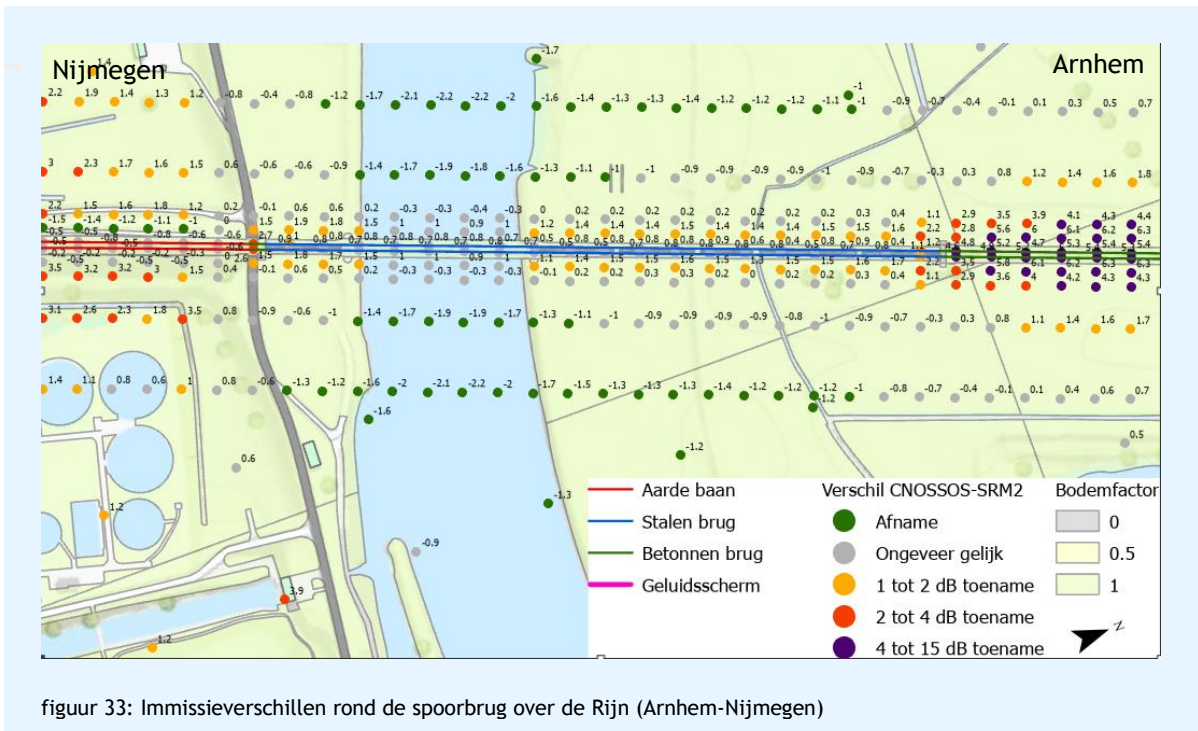
Te zien is dat de verschilkaart over het algemeen 1 tot 2 dB hogere resultaten geeft. Tussen Wolfheze en Oosterbeek, bij Sonsbeekpark en in de overige “groene” gebieden zijn hoge toenames van het geluid te zien. Afnames en gelijke niveaus worden met name gevonden rond de spoorbruggen over water (Arnhem-Nijmegen en Arnhem-Zevenaar).

In de volgende figuren is ingezoomd op verschillende locaties en is de bodemfactor weergegeven. Voor de duidelijkheid zijn de bodemgebieden met een harde bodem niet weergegeven tenzij deze onder rijkswegen of spoorconstructies met een harde bodem liggen. Rond Wolfheze is het spoor en de omgeving nagenoeg vlak. Hier is te zien dat aan de komgrens op zachte bodem de berekende geluidsniveaus met ongeveer 4 dB toenemen. Binnen de komgrens, op harde bodem is de toename van het geluid veel minder.

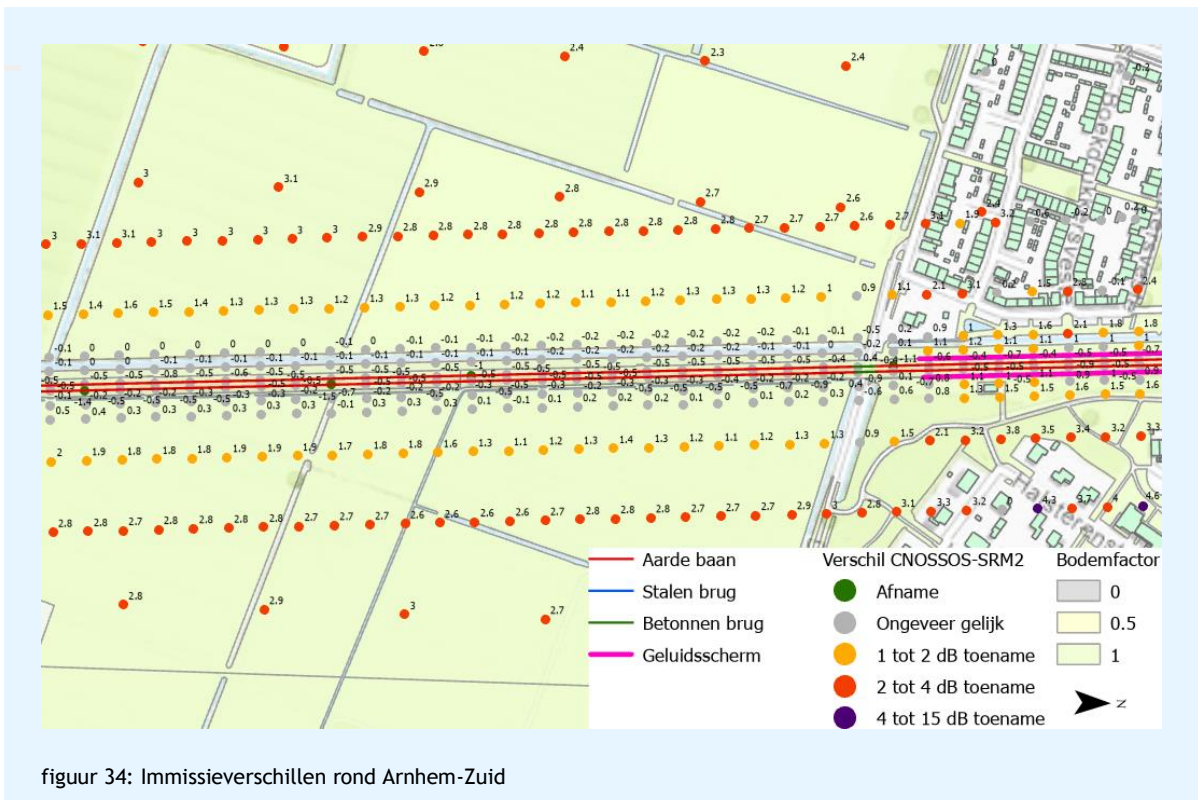


Een tweede opvallend verschil is te zien op de spoorbrug Arnhem-Nijmegen. Op de noordelijke aanbrug (geen brug) worden verschillen van circa 3,5 dB gevonden. Op het stalen brugdeel (blauw) komen boven het water de resultaten rond de brug ongeveer gelijk uit, boven de uiterwaarden wordt 1,5 dB te hoog gerekend. Op grotere afstand van het stalen brugdeel neemt het geluid juist met 2 dB af. Op het zuidelijke deel (betonnen brug, groen) nemen de geluidsniveaus dichtbij extreem veel toe. Op grotere afstand zijn de resultaten juist min of meer gelijk. Dit verschil wordt vermoedelijk veroorzaakt doordat SRM2 niet met betonnen bruggen rekent.

Onderzoek verschillen CNOSSOS en SRM2

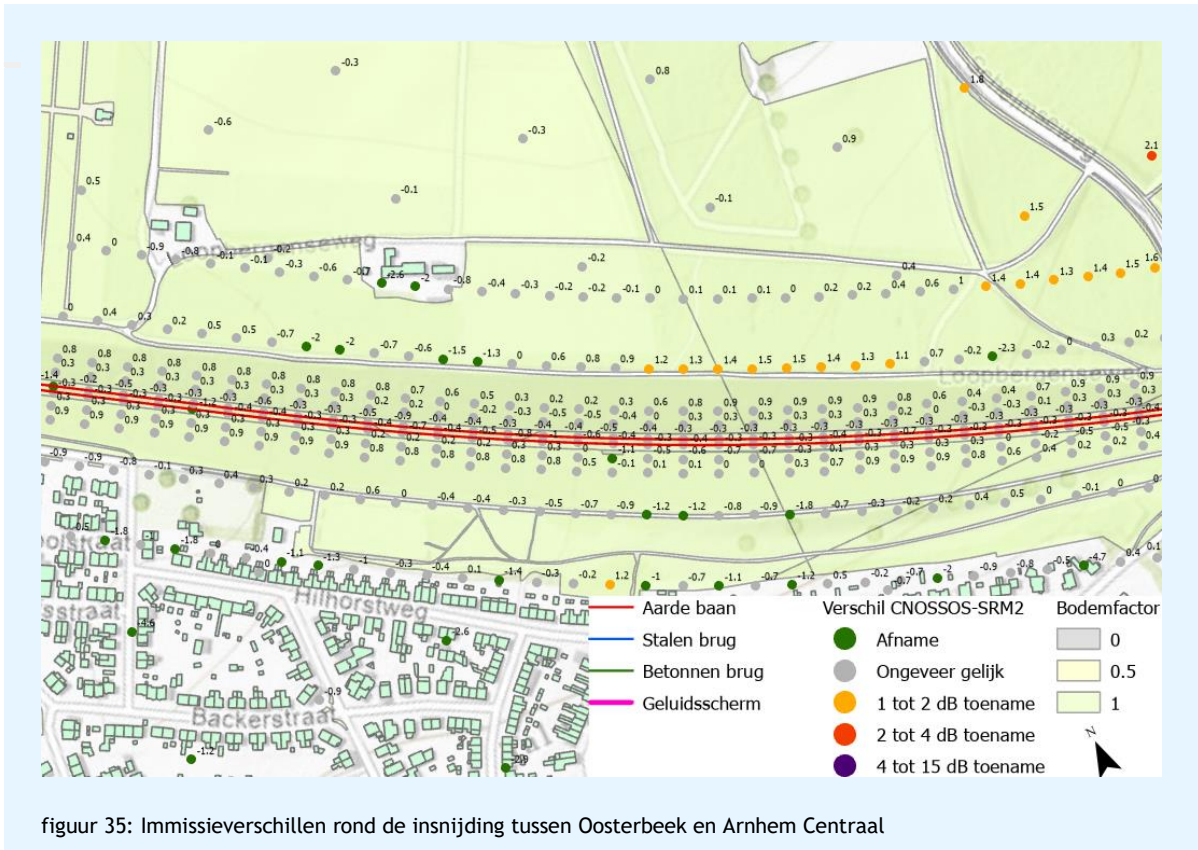


Net ten zuiden van Arnhem-Zuid is nog een uitsnede gemaakt. Hierin is te zien dat dicht bij de bron de geluidsbelastingen vrijwel volledig overeenkomen. Vanaf 50 meter nemen de niveaus met ruim 1,2 dB toe en op 100 meter afstand wordt een verschil van 3 dB berekend.



Onderzoek verschillen CNOSSOS en SRM2

Op de spoorlijn Utrecht-Arnhem ligt het spoor vlak voor Arnhem-Centraal ongeveer 13 meter verdiept. In de omgeving worden min of meer vergelijkbare geluidsniveaus berekend. Aan de zuidzijde worden iets lagere geluidsniveaus berekend dan in SRM2. Aan de noordzijde zijn de geluidsniveaus juist iets hoger door de invloed van wind.



Deel B - verschillen in analyse

6. Verschillen in analyse

De bepaling van het aantal aan geluid blootgestelde inwoners is fundamenteel anders dan in voorgaande ronde(s). De volgende verschillen zijn te onderscheiden:

- 1 Verschil in aantal inwoners per adres
- 2 Verschil in de definitie van de geluidsklassen: meer consistentie in afronding
- 3 Verschil in telmethode: bepaling van de maximale geluidbelasting, en een andere omgang met gebouwen met meer adressen
- 4 Verschil in rekenmethode op aantal wooneenheden: CNOSSOS t.o.v. SRM2

Om de verschillen als gevolg van de rekenmethode te isoleren voeren we de eerste analyses uit op basis van de met SRM2 berekende resultaten. Als laatste wordt het verschil in het aantal blootgestelde inwoners met de SRM2- en CNOSSOS-rekenmethode bepaald (met de CNOSSOS-telmethode).

6.1 Inwoners

Voor de tranche 2021 is het aantal inwoners per wooneenheid 2,14 gesteld. In de vorige tranche 2016 is uitgegaan van 2,2 inwoners per wooneenheid. Hiermee is het aantal inwoners per adres voor alle gemeenten afgenomen met 2,7%.

6.2 Definitie geluidsklassen

Het rapporteren van geluid wordt gedaan in verschillende geluidsklassen. In onderstaand overzicht staan de verplicht aan Europa te leveren klassen. Daarbovenop mogen aanvullende klassen worden geleverd.

tabel 3: Overzicht te leveren gegevens volgens de EU-richtlijn

Type gegeven	Geluidklassen	
	Grote bronnen	Agglomeraties
Contourlijnen*	L _{den} 55, 65 dB	L _{den} 60, 65, 70, 75dB
Contourvlakken*	L _{den} 55-65 en >65 dB	L _{den} 60-65, 65-70, 70-75 en >75 dB
Geluidbelast oppervlak	L _{den} >=55, >=65, >=75 dB	Niet verplicht
Aantal blootgestelden (buiten agglomeraties voor grote bronnen)	L _{den} 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 en >75 L _{night} 50-54, 55-59, 60-64, 65-69 en >70	
Aantal blootgestelden (inclusief agglomeraties)	L _{den} >=55, >=65, >=75 dB	N.v.t. (boven al genoemd)

* Er mag volgens de richtlijn gekozen worden tussen het rapporteren van contourlijnen en contourvlakken

Het Besluit geluid milieubeheer wijkt op punten iets af van bovenstaande tabel door bijvoorbeeld alleen het hogere detailniveau te eisen.

tabel 4: Overzicht te leveren gegevens volgend het Besluit geluid milieubeheer

Type gegeven	Geluidklassen	
	Grote bronnen	Agglomeraties
Contourlijnen*	L _{den} 60, 65, 70, 75dB	
Contourvlakken*	L _{den} 55-60, 60-65, 65-70, 70-75 en >=75 dB L _{night} 50-55, 55-60, 60-65, 65-70, >= 70 dB	
Geluidbelast oppervlak	L _{den} >55, >65, >75 dB	Niet verplicht
Aantal blootgestelden (per gemeente voor grote bronnen)	L _{den} 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 en >75 L _{night} 50-54, 55-59, 60-64, 65-69 en >70	

* Er mag volgens de richtlijn gekozen worden tussen het rapporteren van contourlijnen en contourvlakken

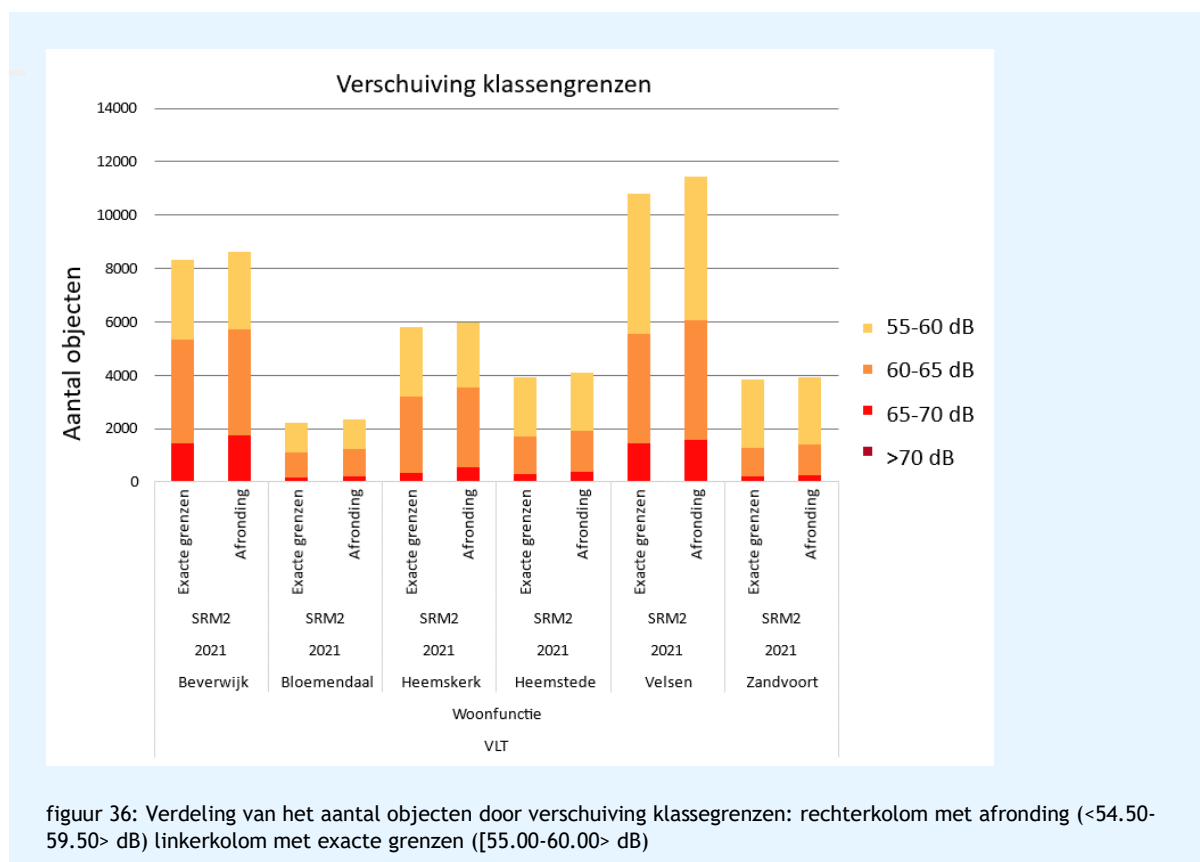
Voor contourvlakken en lijnen of telling van blootgestelden was in de voorgaande karteringsronden onduidelijk wat de grenzen moeten zijn. Is een contour (of aantal blootgestelden) van 55-59 gelijk van 54.51 tot 58.50 of van 55.00 tot 59.99. Op basis van de reporting guidelines van de EEA [3] wordt geadviseerd dat de contourklassen beginnen bij ‘.00’. Het aantal blootgestelden loopt dan van 55.00 tot 59.99 dB.

Met het opschuiven van de klassegrens naar de exacte dB-grenzen neemt het aantal geluidbelaste objecten af. In iedere klasse gaat een klein deel van de objecten in de daaronder gelegen klasse vallen, en een klein deel van de geluidbelaste objecten wordt niet meer meegeteld.

In voorgaande rondes zijn verschillende afrondingen gebruikt¹⁵:

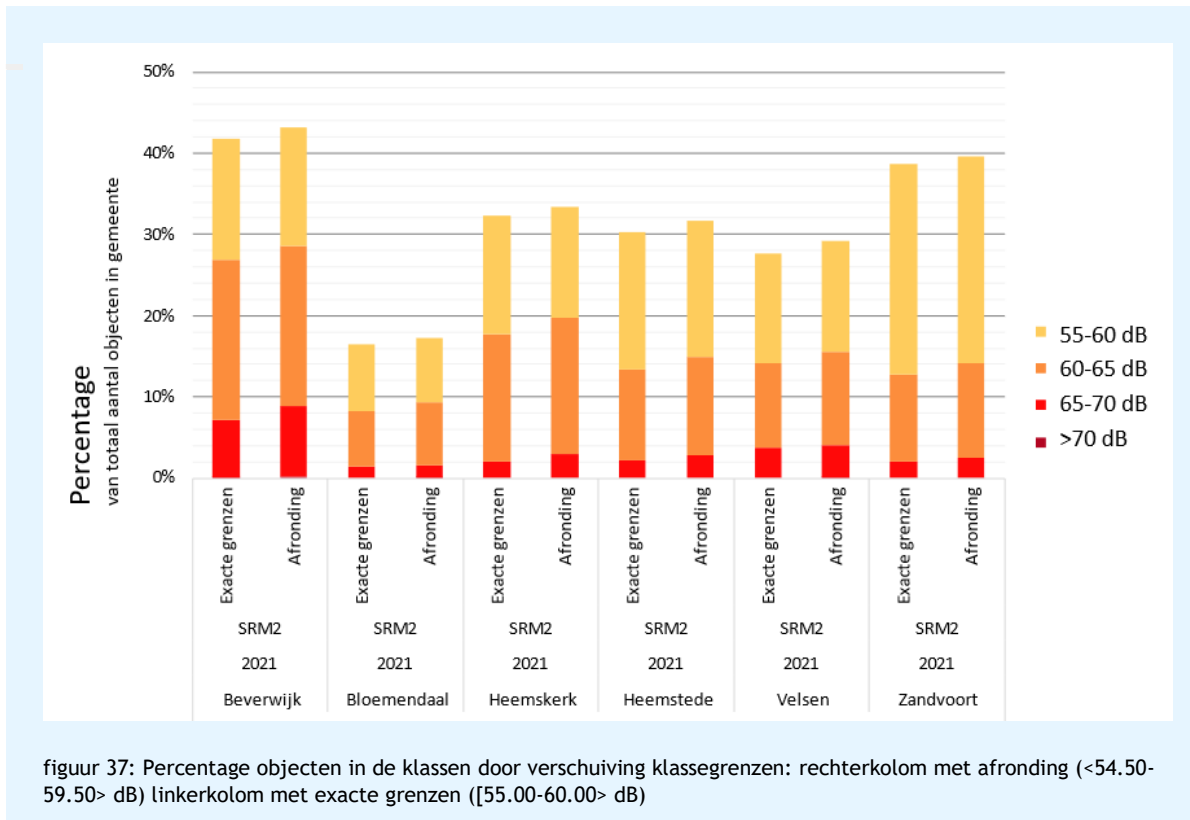
- Afronding conform ISO-80000-0/artikel 1.3 Wgh $< 54,50 - 59,50 >$, $[59,50 - 64,50]$, $< 64,50 - 69,50 >$ (Nederlandse afronding / bankersrounding)
- “Excelafronding”: $[54,50 - 59,50 >$, $[59,50 - 64,50 >$, $[64,50 - 69,50 >$
- Afronding in Geomilieu: Als gekozen wordt voor 0 decimalen in Geomilieu $[55,00 - 60,00 >$, $[60,00 - 65,00 >$, $[65,00 - 70,00]$.

In de onderstaande figuren zijn de effecten van het wijzigingen van de afrondingsgrenzen (Excelafronding of bankersrounding) naar exacte getallen voor zes gemeenten weergegeven. In deze analyses is gebruik gemaakt van de wegverkeersmodellen welke met SRM2 gerekend zijn. Daarnaast is het aantal blootgestelden vastgesteld op basis van de hoogste geluidsbelasting op de gevel (oude telmethode).



figuur 36: Verdeling van het aantal objecten door verschuiving klassegrenzen: rechterkolom met afronding (<54.50-59.50> dB) linkerkolom met exacte grenzen ([55.00-60.00> dB)

¹⁵ De tekens [en] betekenen een gesloten bereik dus vanaf (en inclusief) en tot en met. De tekens < en > betekenen een open bereik dus vanaf (en exclusief) en tot.



Door het veranderen van de klassegrenzen neemt het aantal geluidbelaste adressen af met gemiddeld 0,6%-punt. Dit verschil is relatief klein in vergelijking met de andere invloeden.

6.3 Bepaling aantal blootgestelden (telmethode)

De bepaling van het aantal blootgestelden is fundamenteel anders vergeleken met eerdere rondes. In eerdere rondes werd het aantal geluidgevoelige bestemmingen in een bepaalde geluidklasse bepaald door:

- een confrontatie van adrespunten met contouren¹⁶ of;
- de hoogste geluidsbelasting op de gevel van een gebouw.

Nu is men verplicht gebruik te maken van gevelbelastingen. Afhankelijk van het type gebouw wordt:

- de hoogst berekende waarde per gebouw gebruikt;
- de bewoners verdeeld over waarneempunten rond een gebouw.

Naar deze telmethode refereren we verder als 'CNOSSOS-telmethode'.

¹⁶ Bij de confrontatie met contouren moet rekening gehouden worden dat de contouren met gevelreflectie gerekend worden terwijl de geluidsbelasting bepaald moet worden zonder gevelreflectie. De methode 'confrontatie met contouren' is niet beschouwd.

Toedelen inwoners aan berekende geluidbelastingen

De END-richtlijn heeft als uitgangspunt dat de geluidbelasting van de hoogst belaste gevel wordt gehanteerd. Bij bijvoorbeeld flats met meerdere woningen is niet altijd duidelijk waar die gevel is. Om hier mee om te gaan zijn aanvullende voorschriften in de rekenmethode opgenomen voor het toedelen van inwoners aan berekende geluidbelastingen. Daarbij wordt onderscheidt gemaakt tussen drie situaties.

- 1 Het gebouw omvat een enkele woning of er is sprake van gestapelde (enkele) woningen
- 2 Het gebouw omvat meerdere woningen met daarin onderscheid tussen:
 - a Enkelzijdig georiënteerde woningen
 - b Meerzijdig georiënteerde woningen

Type 1	Type 2a	Type 2b
 <p>[bron: Google Streetview]</p>	 <p>[bron: Google Streetview]</p>	 <p>[bron: Google Streetview]</p>
<p>Figuur 14: Gebouw met boven en beneden woningen.</p>	<p>Figuur 15: Appartementgebouw met eenzijdig georiënteerde woningen (evt. hoekwoning)</p>	<p>Figuur 16: Galerijappartementen. Iedere woning heeft zowel aan de voor- als achterzijde een gevel.</p>

Voor situatie 1 geldt dat alle adressen worden toegekend aan de hoogst berekende geluidniveau op de gevels. Dit onder de voorwaarde dat er hier sprake is van 1 enkel BAG object met één woonadres of maximaal 1 adres per verdieping.

Voor situatie 2a geldt dat de adressen evenredig worden verdeeld over alle waarneempunten op alle gevels. Deze methode is niet toegepast op basis van [5].

Voor situatie 2b geldt iets vergelijkbaars als onder 2a, maar worden de waarneempunten eerst verdeeld tot de helft met laagst berekende geluidniveaus en de helft met de hoogst berekende geluidniveaus. Daarna worden de adressen verdeeld over de helft met hoogst berekende geluidniveaus. Bij een oneven aantal waarneempunten wordt die met de laagste geluidbelasting buiten beschouwing gelaten.

Geadviseerd [5] is om op basis van de gegevens uit BAG de methodes als volgt te gebruiken:

- 1) Er is 1 BAG-adres per BAG-pand: gebruik Situatie 1;
- 2) Er zijn meerder adressen per BAG-pand, maar het oppervlak van het pand is $\leq 60\text{m}^2$: Situatie 1;
- 3) Er zijn meerder adressen per bag pand en het oppervlak van het BAG-pand is $>60\text{m}^2$: Situatie 2b

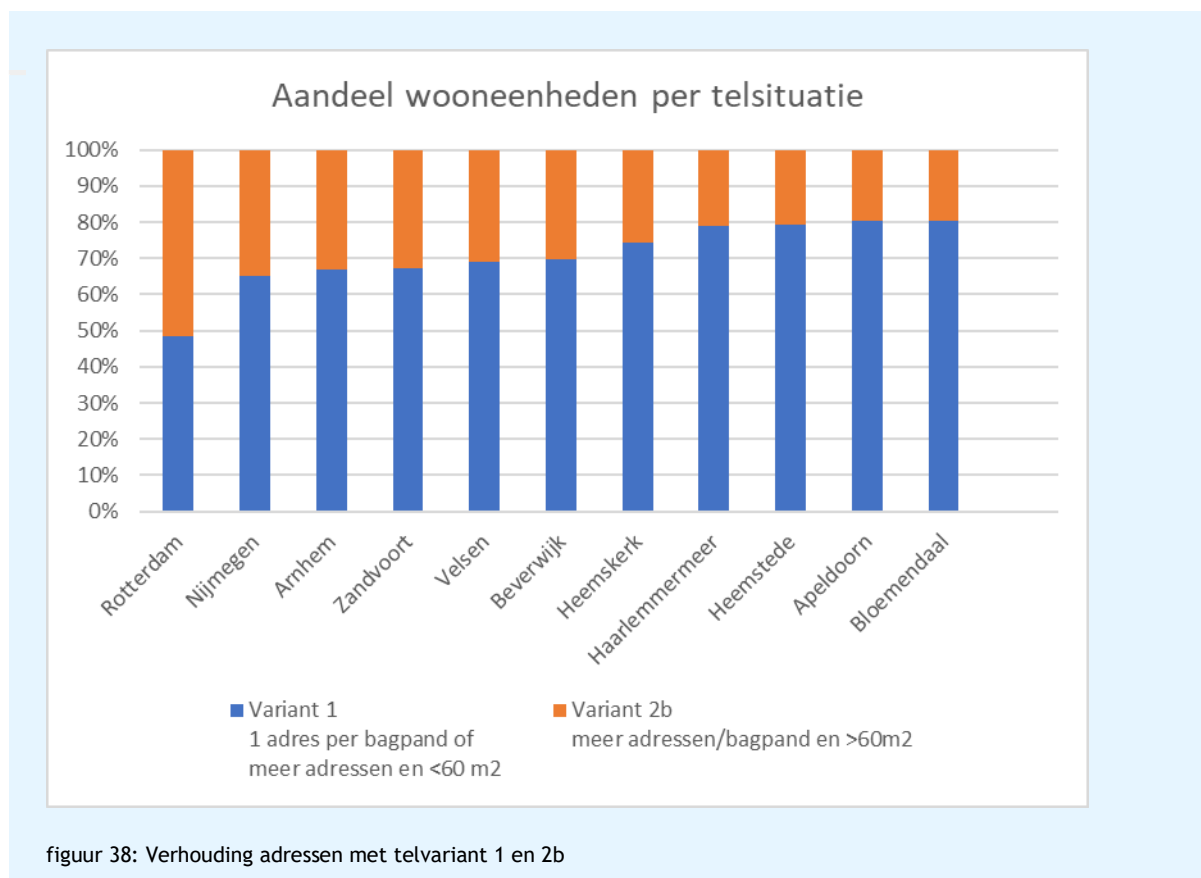
Wijk zo nodig af als bekend is dat er veel eenzijdig georiënteerde bebouwing is (methode 2a).

6.3.1 Verschillen

Het toekennen van geluidsbelastingen volgens situatie 1 is vergelijkbaar met de telmethode uit de vorige rondes, waarbij de maximale waarde aan de woning toegekend wordt, tenzij in eerdere rondes is geteld op basis van de contouren.

Met situatie 2b krijgen niet alle adressen de maximale geluidsbelasting toegekend. Afhankelijk van de oriëntatie van het gebouw ten opzichte van de geluidsbronnen zal het effect groter zijn.

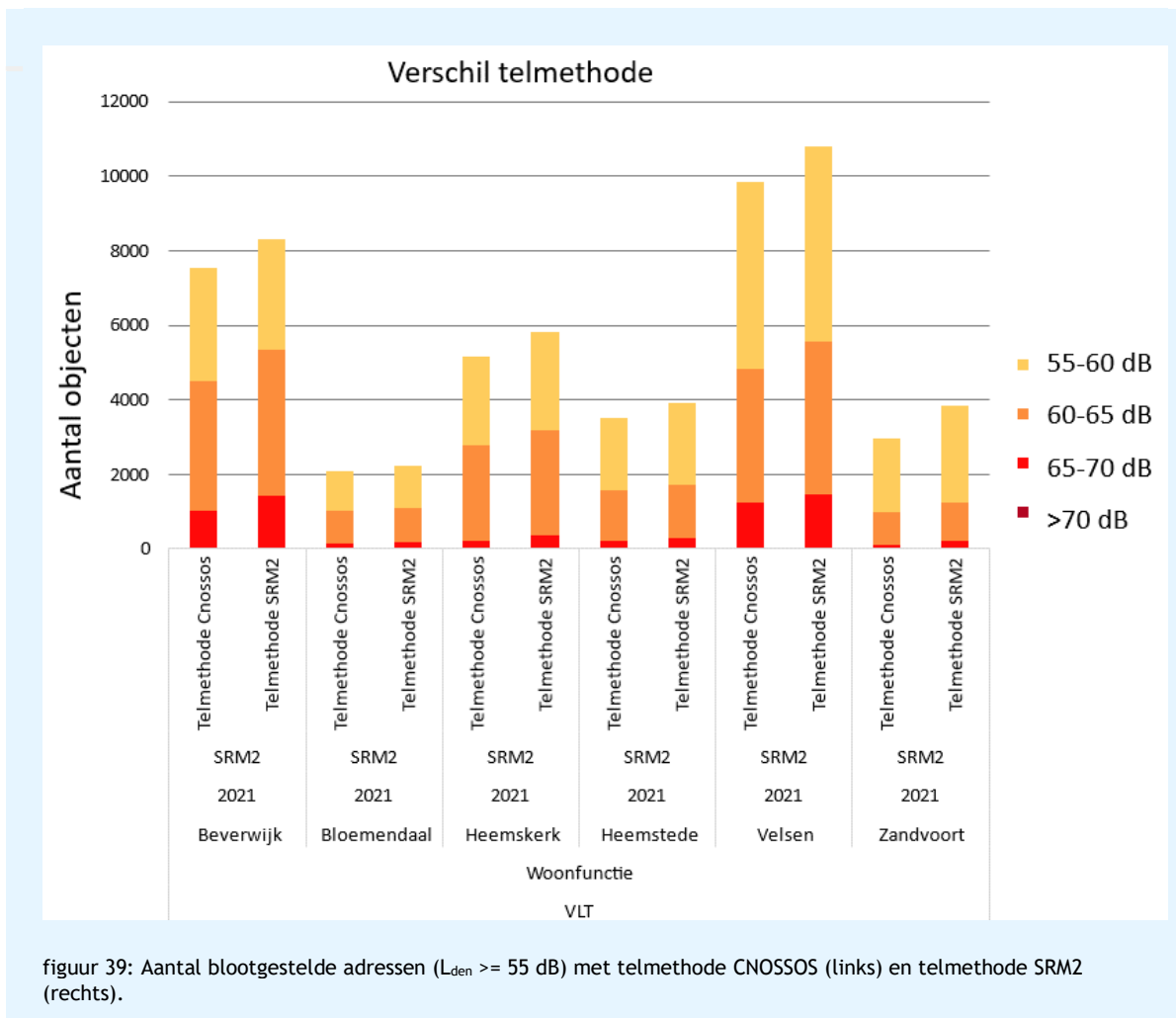
Afhankelijk van het aantal gebouwen met meer adressen in een gemeente, wordt het effect van het gebruiken van de maximale geluidsbelasting of de bovenste helft van de geluidsbelastingen groter. In onderstaande figuur is voor een tiental gemeentes de verhouding tussen beide telsituaties weergegeven. Meer stedelijke gemeentes hebben een groter aandeel gebouwen met meer adressen per pand, waar telmethode 2b toegepast zal worden.

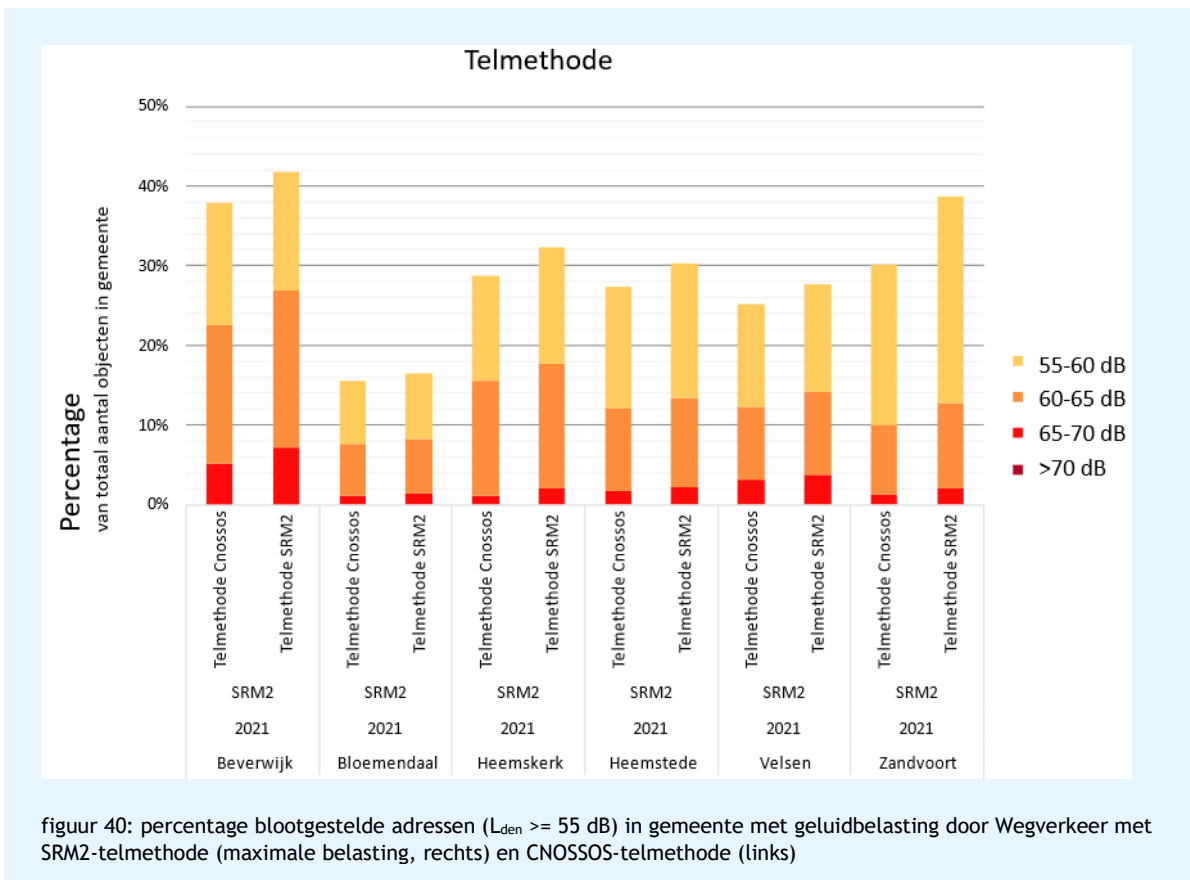


figuur 38: Verhouding adressen met telvariant 1 en 2b

Voor een zestal gemeentes is in onderstaande figuren het verschil in aantal geluidbelaste adressen door het totale wegverkeer naast elkaar gezet (berekend met SRM2). In de rechter kolom is het aantal objecten met de maximale geluidbelasting weergegeven (oude methode), in de linker kolom

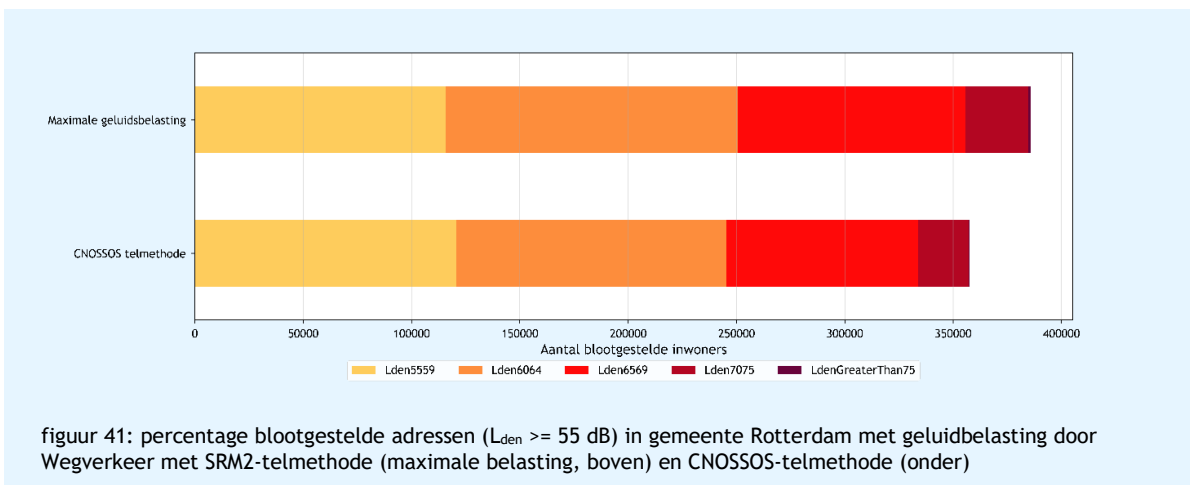
het aantal objecten met geluidbelasting op basis van de CNOSSOS-telmethode. In de volgende figuur is ook de verhouding van het aantal geluidbelaste objecten ten opzichte van het totaal aantal woonfuncties in die gemeente uitgezet.





Uit de figuren volgt dat met het toepassen van de CNOSSOS-telmethode het aantal geluidsbelaste woonfuncties afneemt met 1-8%-punt. Voor Zandvoort, met relatief veel appartementencomplexen en flats is het verschil groter dan voor Bloemendaal, waar relatief meer grondgebonden woningen staan.

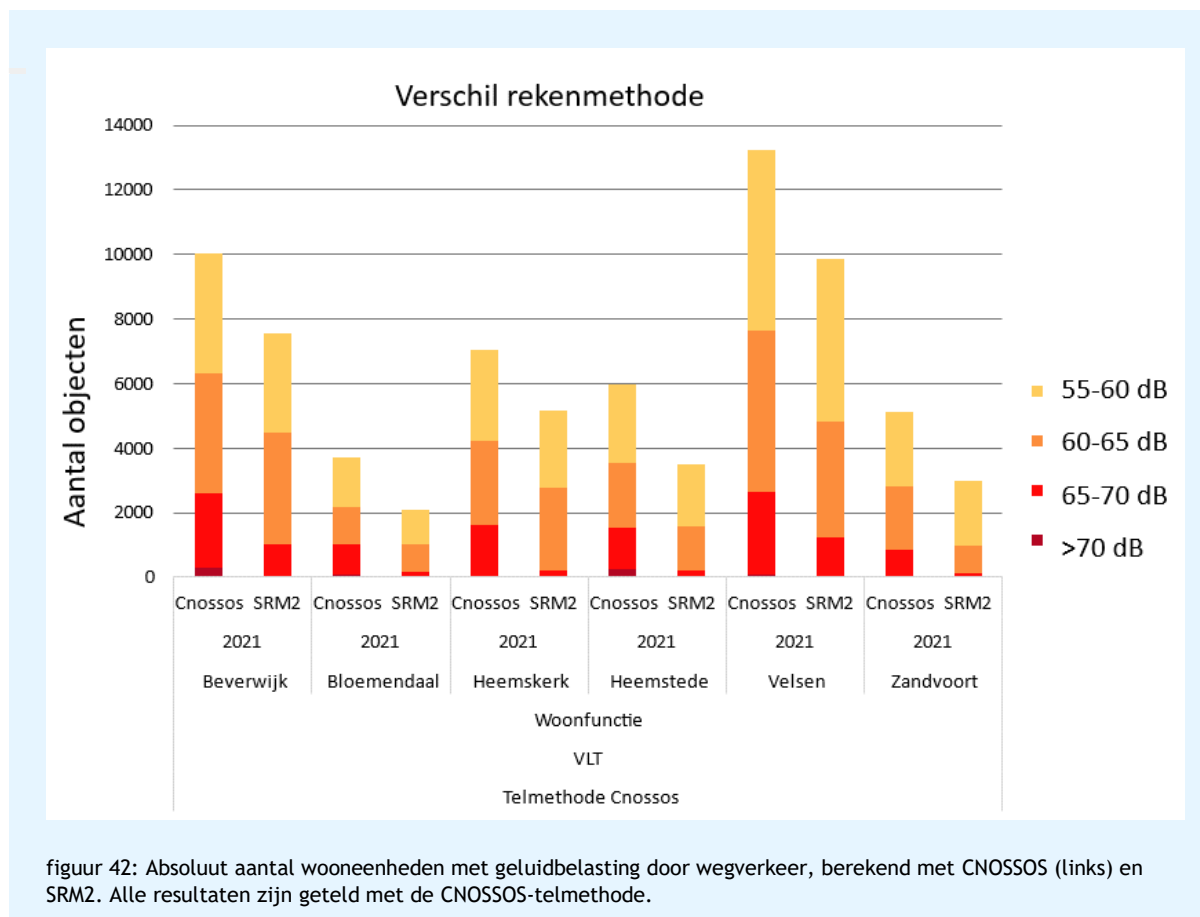
Aanvullend is dezelfde analyse voor gemeente Rotterdam uitgevoerd. Hierbij zijn, afwijkend van de voorgaande analyses, de berekeningsresultaten van de CNOSSOS-rekenmethode gebruikt. Het verschil tussen de twee telmethodes geeft een verschil van 28.320 inwoners, met name in de hoogste geluidsbelastingsklassen.



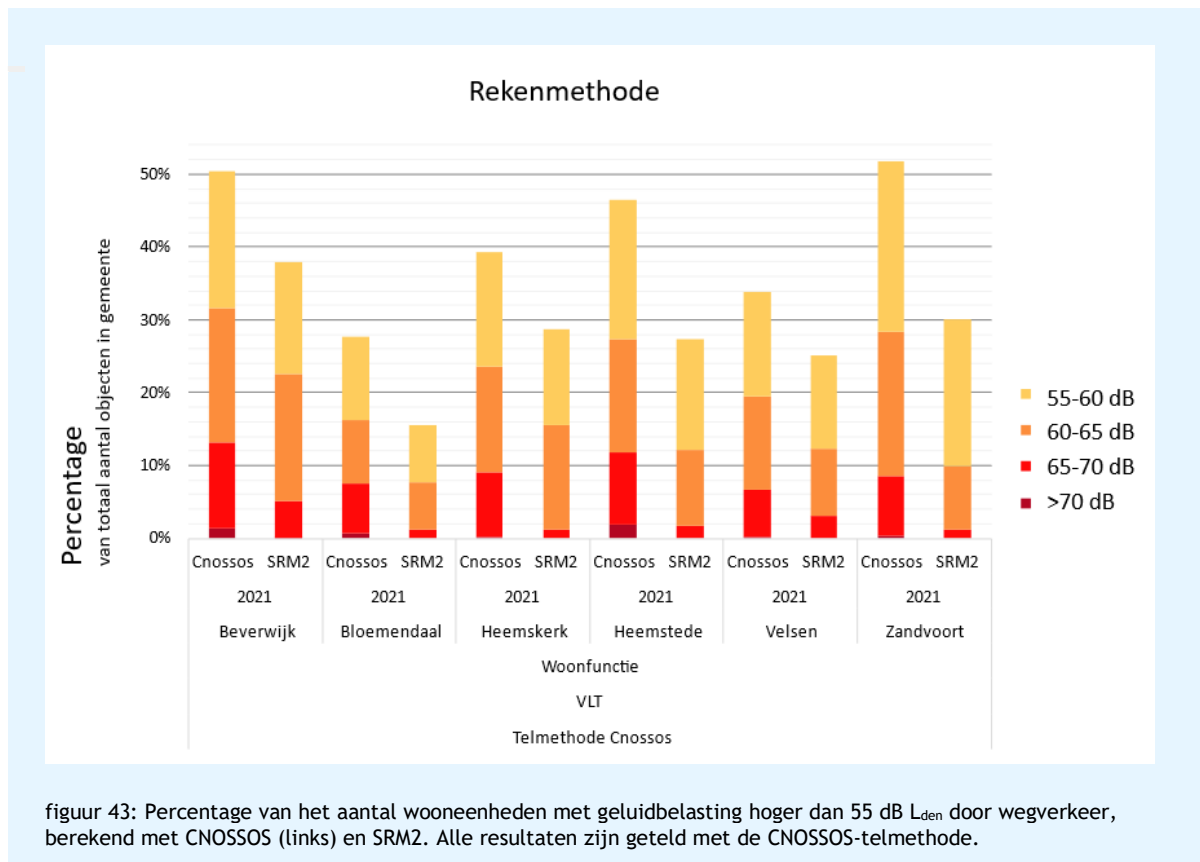
In totaal zijn door het verschil in de telmethode in de gemeente Rotterdam 5% minder inwoners toegekend aan geluidsbelastingen hoger dan 55 dB L_{den} . Daarnaast is te zien dat met name bij de hogere geluidbelastingsklasse met de CNOSSOS-telmethode veel minder inwoners aan hogere geluidsbelastingsklassen toegekend worden. Alleen aan de klasse 55 tot 60 dB worden met de CNOSSOS-telmethode juist meer inwoners toegekend.

6.4 Verschil rekenmethode

In voorgaande hoofdstukken zijn de verschillen tussen de beide rekenmethoden al uitgebreid toegelicht. In voorgaande paragrafen is het effect van de wijzigingen van de telmethode weergegeven. In deze paragraaf wordt het effect van de verschillende rekenmethoden op het aantal geluidbelaste adressen weergegeven. Hierbij zijn de resultaten op de rekenpunten bepaald met de SRM2- en CNOSSOS-rekenmethode. Hierna zijn de resultaten op de rekenpunten voor beide rekenmethoden met de CNOSSOS-telmethode geteld. Hierdoor is het zuivere verschil in aantal geluidbelaste wooneenheden door het verschil in rekenmethode zichtbaar. Deze paragraaf betreft een steekproef van gemeenten, een uitgebreidere analyse van de totale verschillen is in het rapport van dBvision [9] opgenomen.



figuur 42: Absoluut aantal wooneenheden met geluidbelasting door wegverkeer, berekend met CNOSSOS (links) en SRM2. Alle resultaten zijn geteld met de CNOSSOS-telmethode.



Uit bovenstaande figuren volgt dat het percentage geluidsbelaste objecten (ten opzichte van het totaal) in de gemeente met 9 tot 22 %-punt toeneemt. Bij de gemeenten Zandvoort (+22 %-punt) en Heemstede (19%-punt) is de relatieve toename groot. Voor gemeente Velsen is de toename juist relatief beperkt (9%-punt).

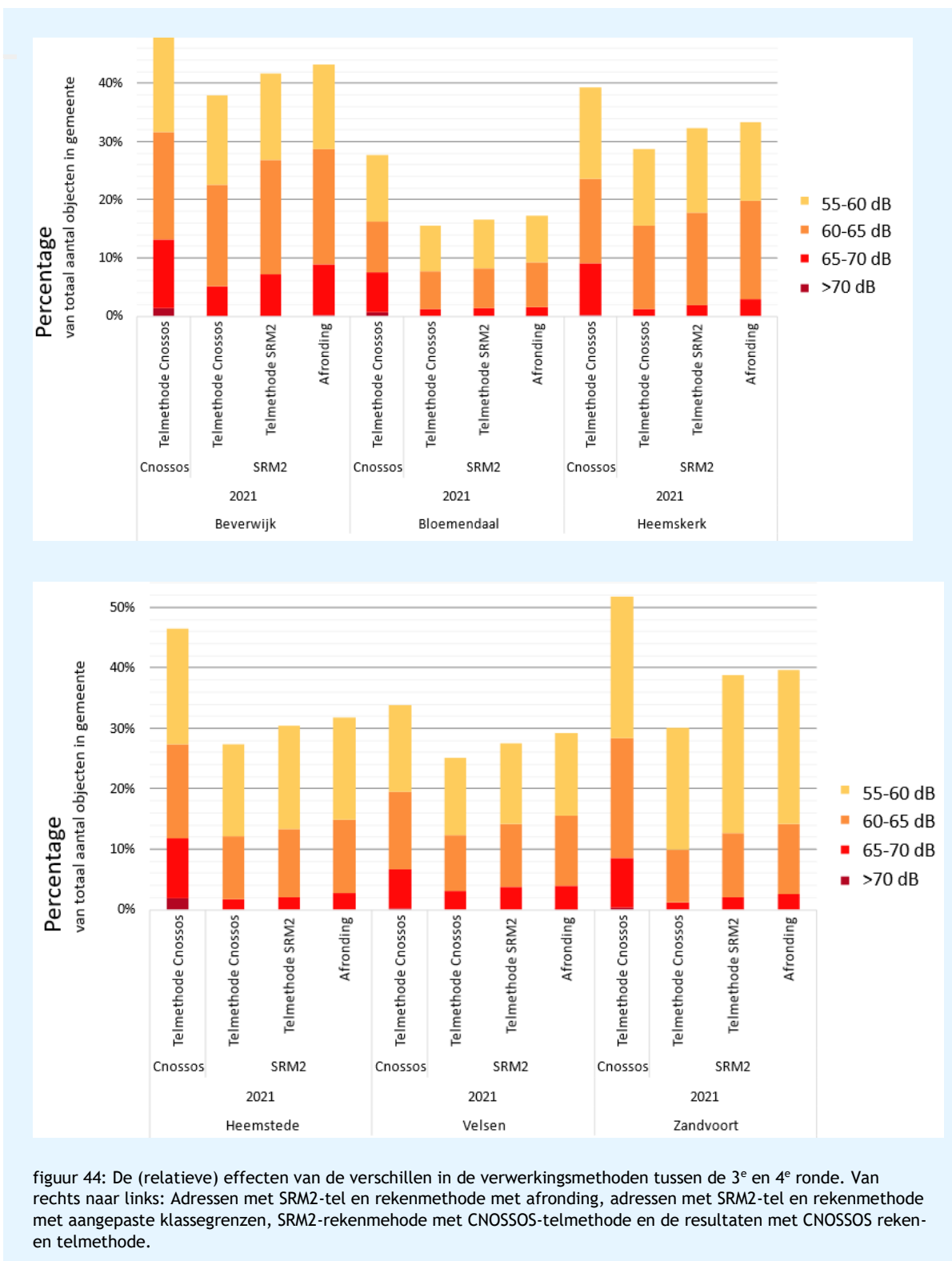
6.5 Samenvattend

Uit de voorgaande paragrafen volgt dat de verandering in telmethode een vermindering van het aantal blootgestelden tot gevolg heeft. Dit effect verschilt per gemeente maar zal ongeveer 1 tot 8%-punt als gevolg hebben. Over het algemeen geldt hoe meer appartementen en flats de gemeente kent des te groter het effect is. De afname door de verschillen in de telmethode dempt de effecten van het verschil in rekenmethode.

In onderstaande figuren wordt voor een aantal gemeentes een overzicht gegeven waarin de verschillende stappen in de analyse worden weergegeven.

- Rechts staan de resultaten met de SRM2-rekenmethode en SRM2-telmethode, [SRM2/max belasting iso-afrounding]
- vervolgens wordt het effect van de klassedefinities toegevoegd, [SRM2/max belasting]
- daarna de CNOSSOS-telmethode [SRM2/ CNOSSOS_meth_1_2b]
- helemaal links de CNOSSOS reken- en telmethode [CNOSSOS/CNOSSOS_meth_1_2b]

Onderzoek verschillen CNOSSOS en SRM2



figuur 44: De (relatieve) effecten van de verschillen in de verwerkingsmethoden tussen de 3^e en 4^e ronde. Van rechts naar links: Adressen met SRM2-tel en rekenmethode met afronding, adressen met SRM2-tel en rekenmethode met aangepaste klassegrenzen, SRM2-rekenmethode met CNOSSOS-telmethode en de resultaten met CNOSSOS reken- en telmethode.

Voor elke gemeente in het bovenstaande figuur is te zien dat elke wijziging in de telmethodiek tot een lager aantal blootgestelde adressen leidt. Voor gemeente Zandvoort is te zien dat de telmethodiek tot 9%-punt minder blootgestelde adressen leidt. Voor gemeente Bloemendaal bedraagt de afname van het aantal blootgestelde adressen maar 2%-punt. Voor gemeente Velzen leidt de telmethodiek tot een afname van 4%-punt.

De wijziging van rekenmethodiek leidt juist tot toenames van het aantal blootgestelde adressen. Voor gemeente Zandvoort neemt door de rekenmethodiek alleen het aantal blootgestelde adressen met 22%-punt toe, dit is een netto 9%-punt toename als deze ronde met SRM2 uitgevoerd zou zijn. Voor gemeente Bloemendaal heeft de rekenmethodiek 12%-punt toename ten gevolg, in vergelijking met de SRM2-methoden neemt het aantal blootgestelde adressen met 10%-punt toe.

Voor gemeente Velzen neemt door de rekenmethodiek het aantal blootgestelde adressen met 9%-punt toe. In vergelijking met de SRM2-rekenmethode neemt het aantal blootgestelde adressen met 5%-punt toe.

7. Conclusie

De CNOSSOS-rekenmethode verschilt op een aantal vlakken aanzienlijk van de SRM2 rekenmethodiek. De belangrijkste verschillen zijn te vinden in de bronmodellen en de bodemdemping. Ook de schermwerkingsmethodiek is sterk veranderd, maar dit leidt bij binnenstedelijke situaties vaak niet tot aanzienlijke verschillen in het aantal blootgestelden boven 55 dB L_{den} .

Emissieverschillen

De emissie van wegverkeer onder CNOSSOS is ongeveer 2 dB hoger dan de emissie onder SRM2. Bij 30 km/u wegen is de emissie onder CNOSSOS circa 3 dB hoger dan onder SRM2. Bij railverkeer zijn de emissies van intercity's ongeveer gelijk aan SRM2, voor overige treintypes zoals HSL, goederen en sprinters zijn de emissies 2 dB lager dan bij SRM2. Bij trams zijn de emissieverschillen afhankelijk van het type tram. Voor trams uit categorie 10 komen de emissiecijfers bij de twee rekenmethoden met elkaar overeen. De generieke trams zijn opnieuw ingemeten, hierdoor is de emissie onder CNOSSOS 6 dB lager dan onder SRM2. Trams kunnen niet met categorie 7 gemodelleerd worden, deze categorie is uitsluitend bruikbaar voor metromaterieel.

Bodemeffect

De grootste verschillen tussen de rekenmethoden worden veroorzaakt door de verschillen in bodemeffect. Voor binnenstedelijk wegverkeer zal doorgaans het overdrachtspad (bijna) volledig hard zijn. Dit leidt op korte afstand tot ongeveer 1 dB toename in CNOSSOS ten opzichte van SRM2. Bij railverkeer is vaak sprake van een significant zacht overdrachtsgebied. Bij railverkeer over een volledig zacht overdrachtspad berekent CNOSSOS 4 dB minder bodemdemping dan SRM2. Voor binnenstedelijk wegverkeer over een hard overdrachtspad wordt tot 50 meter afstand in CNOSSOS 1 dB meer bodemreflecties berekend. Op afstanden van 100 meter wordt 3 dB meer bodemdemping berekend dan in SRM2.

Schermwering

Bij wegverkeer neemt de schermwerking van lage geluidsschermen door de lagere bronhoogte toe. Bij hogere geluidsschermen neemt de afscherming af door de hogere straalkromming in gunstige overdrachtscondities. Ook is bij totale afscherming (d.w.z. $\epsilon \rightarrow \infty$) de uiteindelijke afscherming lager. In SRM2 wordt in deze gevallen wel maximaal 23-25 dB schermwerking+bodemeffect berekend. Onder CNOSSOS wordt op harde bodem maximaal 19 dB schermwerking+bodemeffect berekend, op zachte bodem is het gecombineerde effect 22 dB.

Totale effecten

Over de meet genomen nemen de geluidsniveaus ten gevolge van wegverkeer in binnenstedelijke situaties toe met 0-6 dB ten opzichte van SRM2 bij niet afgeschermden situaties. Het zwaartepunt van de toename ligt rond 2,7 dB. Met name bij klinkerwegen neemt het met CNOSSOS berekende geluidsniveau ten opzichte van SRM2 als gevolg van de hogere emissie toe. Over het algemeen zal door de afscherming het niveau op de 2^e-lijnsbebouwing en verder niet boven 55 dB L_{den} uitkomen. Op grotere afstand kunnen de geluidsniveaus nog verder toenemen ten opzichte van SRM2.

Bij Rijkswegen lijkt het verschil met name bij wegen met een verharding van tweelaagszoab of enkellaagszoab verwaarloosbaar klein. Op zachte bodem, aan de zuidzijde van de weg, worden gelijke niveaus berekend als in SRM2. In sterk afgeschermdesituaties zal CNOSSOS minder afscherming geven dan SRM2, ondanks de verlaagde bronhoogte. Door de grotere stralkromme en verminderde afscherming bij zachte bodem neemt de berekende geluidsbelasting toe. Bij lage schermen of wallen berekent CNOSSOS juist wel afscherming door de verlaagde bronhoogte. Hierdoor zullen bij zoab-wegen de berekende geluidsbelastingen ongeveer overeenkomen met SRM2. Bij wegen met een tweelaagszoab of fijntweelaagszoab verharding worden ten opzichte van SRM2 afnames berekend.

Bij railverkeer neemt het geluidsniveau op korte afstand af doordat de emissieverschillen en het bodemeffect elkaar opheffen. Op grotere afstand óf wanneer hoge schermen langs het spoor staan kunnen de geluidsniveaus juist toenemen.

Tellingen

Door de bijstelling van de huishoudgrootte van het CBS van 2,2 naar 2,14 inwoners per huishouden neemt het aantal blootgestelden met 2,7% af. Deze afname is niet significant ten opzichte van de fout die met deze aannames gemaakt wordt.

Door het bijstellen van de klassegrenzen wordt, als in de 3^e karteringsronde afronding toegepast is, het aantal blootgestelde woonobjecten met gemiddeld maximaal 0,8%-punt verlaagd. De invloed van de telmethode heeft voor een aantal gemeenten een significante invloed op het percentage blootgestelde woonobjecten. Met name voor gemeenten met veel hoogbouw kan het aantal blootgestelde woonobjecten met 8%-punt afnemen. Voor gemeenten met veel grondgebonden woningen wordt een afname van 1%-punt gevonden. Door de telmethode wordt het percentage blootgestelde woonobjecten lager.

De wijziging van de rekenmethode zorgt juist voor een toename van het percentage blootgestelde woonobjecten. In de door ons onderzochte gemeenten neemt het percentage blootgestelde woonobjecten met 9 tot 22%-punt toe. Er is geen duidelijk verband te vinden waardoor de toename bij de ene gemeente groter is dan de andere gemeente. Mogelijk speelt de dichtheid en hoogte van de eerstelijnsbebouwing hier een rol in.

Dit resulteert dit in de door ons onderzochte gemeenten in een toename van 5% tot 10%-punt van het percentage blootgestelde woonobjecten.

Belangrijkste oorzaak toenames

De belangrijkste oorzaak van de toename van het aantal blootgestelde inwoners en woningen zijn de toegenomen emissies voor wegverkeer, met name wegverkeer met een snelheid lager dan 80 km/u en op wegen met een referentiewegdek of elementenverharding. Voor railverkeer is met name een toename te zien bij intercity materiaal (categorie 10) en op niet-doorgelast spoor.

Een andere factor welke voor significante toenames zorgt is het veranderde bodemeffect. Dit is met name significant bij wegverkeer op een harde bodem (stedelijke situaties). Op korte afstand neemt het geluid door bodemreflecties met 1 dB toe. Vanaf 50 meter tot 100 meter neemt het effect van bodemreflecties toe tot 4 dB. Voor railverkeer geldt dat op korte afstand de geluidsniveaus overeenkomen met SRM2. Op afstanden van 50 tot 600 meter bedraagt het effect van bodemdemping 4 dB en worden met CNOSSOS hogere niveaus berekend.

ir. M.H.J. (Mark) Bakermans
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

8. Verwijzingen

- [1] European parliament, *Directive 2002/49/EC*, 2021.
- [2] Rijksoverheid, „Reken- en meetvoorschrift Geluid 2012,” 01 03 2022. [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0031722/2022-03-01>. [Geopend 15 2023].
- [3] Eionet, „Environmental Noise Directive Reporting guidelines (DF4_8 Strategic noise maps),” 2023.
- [4] Dutilleux, „NMPB-Routes-2008: The revision of the Frech Method for Road Traffic Noise Prediction,” *Acta Acustica*, vol. 2010, pp. 452-462, Mei 2010.
- [5] A. K. (RIVM), *Handreiking modelleren volgens CNOSSOS-EU*, 2022.
- [6] M+P, „Onderzoeksrapportages CNOSSOS-EU emissiemodel wegverkeer,” 2017.
- [7] v. L. e. a. DGMR, „CNOSSOS evaluatie en validatie,” DGMR.
- [8] dBvision, „Bronkentallen en adviezen voor implementatie van rekenmethode CNOSSOS voor railverkeer in Nederland,” 14 december 2017.
- [9] dBvision - Sander Buitelaar, „Verschillen END-kartering 2007-2022,” dBvision, Utrecht, 2023.

Bijlage 1

Titel Fouten in formules RMG2012

Formule 2.3.14

In RMG2012:

$$\Delta L_{W,dir,hor,i} = 10 \lg(0,01 + 0,99 \cdot \sin 2\phi)$$

Moet zijn:

$$\Delta L_{W,dir,hor,i} = 10 \cdot \lg(0,01 + 0,99 \cdot \sin^2 \phi)$$