

7. Wegdekken

7.1. Overzicht van de meest gebruikte types wegdekken

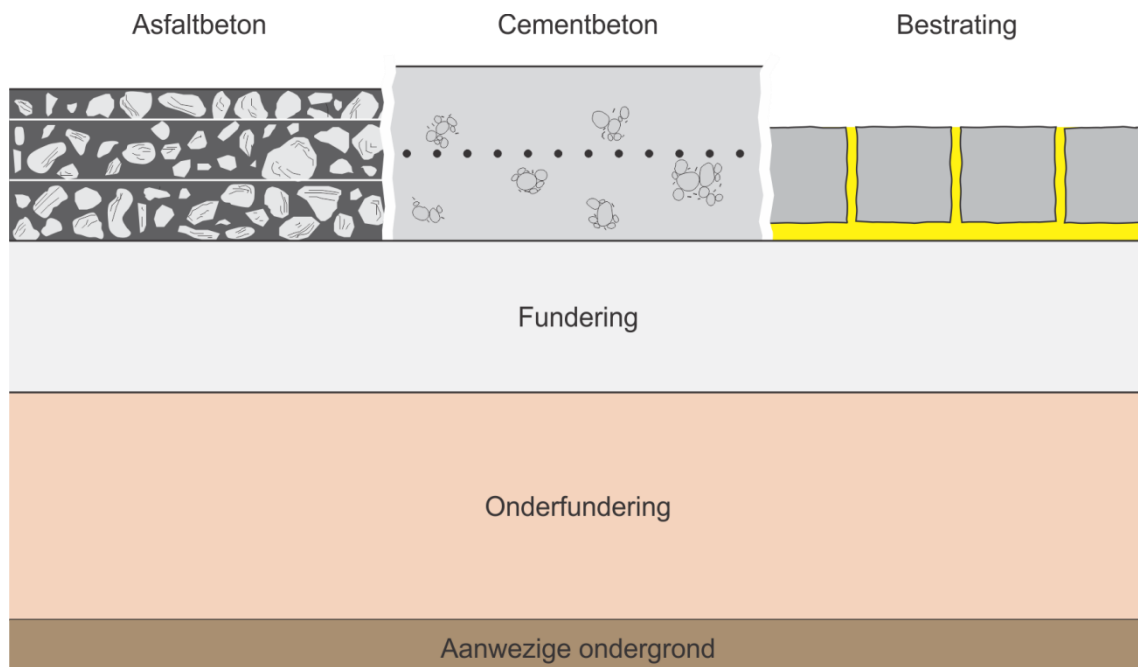
7.1.1. Inleiding

Voor de verharding van een weg wordt onderscheid gemaakt tussen 3 types: bitumineuze verhardingen, betonverhardingen en kleinschalige elementen. Daarnaast zijn er ook halfverhardingen, maar deze zijn minder geschikt voor verkeer. Een aanvullende techniek bestaat erin een oppervlaktecoating aan te brengen op een bestaande verharding.

Een goede kwaliteit van het oppervlak van de weg is belangrijk om veilig en comfortabel te kunnen rijden. Waar de structuur (verharding, samen met fundering en onderfundering) zorgt voor een goede lastenverdeling van de verkeersbelasting verzekert het oppervlak de nodige stroefheid om veilig te kunnen rijden. De textuur van het oppervlak zorgt ook voor een comfortabel rijoppervlak. Zeker bij hogere snelheden draagt de textuur van het oppervlak bij om het rolgeluid te verminderen.

De opbouw van de weg varieert in functie van het type verharding. Zo wordt een betonverharding meestal aangelegd in één laag. In het geval van gekleurd beton of bij wegen met hoge snelheid kan overgegaan worden naar een tweelaagse, nat-in-nat aangelegde, betonverharding. Een gedeeltelijke vervanging van de verharding is hier niet mogelijk, wel kan een oppervlakbehandeling toegepast worden of kan overlaagd worden met een bitumineuze verharding om een verbetering van vlakheid, stroefheid of rolgeluid te bekomen.

In het geval van een asfaltverharding, maar ook bij een beton- of elementenverharding, wordt in verschillende lagen gewerkt. Een asfaltverharding bestaat steeds uit een toplaag en één of meerdere onderlagen. De onderlagen zorgen voor de structurele duurzaamheid, de toplaag voorziet in de oppervlakttextuur en zorgt bijgevolg voor de goede stroefheid en lage geluidsproductie. De toplaag dient gedurende de voorziene levensduur vervangen te worden. De typische opbouw van een weg met een asfalt-, beton- of elementenverharding wordt getoond in Figuur 1.



Figuur 1 - typische opbouw van een weg.

Een bijzondere verharding is het experimentele poro-elastische wegdek. Dit type verharding bevat naast klassieke granulaten ook rubberkorrels en men gebruikt polyurethaan als bindmiddel. Het wordt gekenmerkt door sterk geluidsreducerende eigenschappen. Momenteel wordt de duurzaamheid geoptimaliseerd en worden reële toepassingen uitgetest.

Kleinschalige elementen bestaan uit straatstenen (betonnen, natuurlijke of gebakken kleistraatstenen), geplaatst op een straatlaag. De textuur van de straatsteen zorgt voor de nodige stroefheid. Het legpatroon en de grote van de kleinschalige elementen bepalen in belangrijke mate samen met de textuur het uiteindelijke geluidsniveau van het wegdek.

7.1.2. Soorten verhardingen

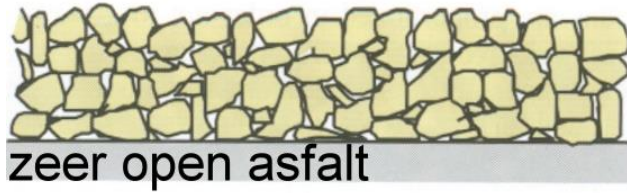
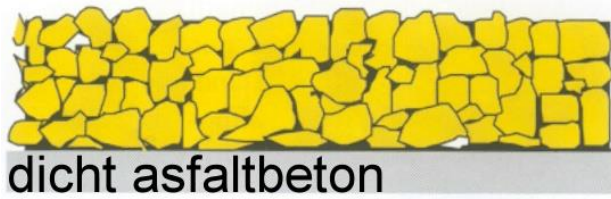
1. BITUMINEUZE VERHARDINGEN

Dit bestaat uit een mengsel van granulaten, zand, vulmateriaal en bindmiddel. Voor toplagen wordt de korrelmaat van het grof granulaat beperkt tot 10 mm, voor onderlagen gaat deze tot 20 mm. De grove granulaten nemen 40 à 50 % van het gewicht in beslag. De korrelgrootte van het zand varieert tussen 0 mm en 2 mm. Het gewicht van het zand kan dat van de grove granulaten evenaren. Bitumineuze mengsels bevatten steeds een hoeveelheid filler. Dit zijn kleine deeltjes met korrel diameter kleiner dan 0.063 mm. Als bindmiddel wordt meestal bitumen (asfalt) gebruikt maar ook andere bindmiddelen zoals kunsthars worden toegepast. Het gehalte aan bindmiddel varieert van 4 tot 8 % van het gewicht (dit is méér bij poro-elastische wegdekken). De functie van het bindmiddel is dubbel: enerzijds de ingrediënten van de toplaag onderling binden en anderzijds een goede binding verzekeren van de toplaag aan de grondlaag.

In Figuur 2 zijn schematisch conventioneel asfaltbeton en zeer open asfaltbeton voorgesteld. Er zijn grotere en kleinere steentjes gebruikt. De kleinere steentjes vullen samen met het bindmiddel de meeste holtes op tussen de grotere steentjes. Er zijn typisch 3 tot 5 % holtes, die niet met elkaar in verbinding staan. Een dergelijk asfaltbeton noemt men dicht asfaltbeton (DAB, Figuur 3). De afbeelding eronder stelt zeer open asfaltbeton (ZOAB) voor: er zijn enkel "grotere" steentjes gebruikt en het gebruikte bitumen vult de ruimtes tussen de steentjes niet op. Er blijven veel holle ruimtes over (20 tot 25 %), die met elkaar in verbinding staan (Figuur 4).

Wanneer wel/geen DAB gebruiken?

Conventioneel wegdektype met goede prijs/kwaliteitverhouding en gemiddelde akoestische kwaliteit. Weerstand tegen spoorvorming op plaatsen met druk zwaar verkeer (buslijnen, busstopplaatsen) is eerder beperkt en af te raden. Ook af te raden op wegen met hogere snelheid (> 90 km/u) wegens gevaar voor aquaplaning.



Figuur 2 - schematische voorstelling dicht asfaltbeton (DAB) en zeer open asfaltbeton (ZOAB).



Figuur 3 - dicht asfaltbeton (DAB).



Figuur 4 - zeer open asfaltbeton (ZOAB).

Men kan inzien dat om de open structuur van ZOAB te verkrijgen, er een aangepast mengsel (korrelverdeling) van steentjes moet worden gebruikt, waarvan de afmetingen binnen nauwe grenzen liggen. Het is een wijd verspreide misvatting dat ZOAB minder sterk zou zijn dan DAB. Het is wel niet voldoende om aggregaat te gebruiken met de gepaste afmetingen, het ZOAB moet na het aanleggen nog worden verdicht door trillen of rollen. Ook moet onder de toplaag die in ZOAB wordt uitgevoerd een ondoordringbare laag worden voorzien om de grondlagen van de weg te beschermen tegen waterindringing. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door een ondoordringbare folie te gebruiken of met behulp van een laag DAB.

Wanneer wel/geen ZOAB gebruiken?

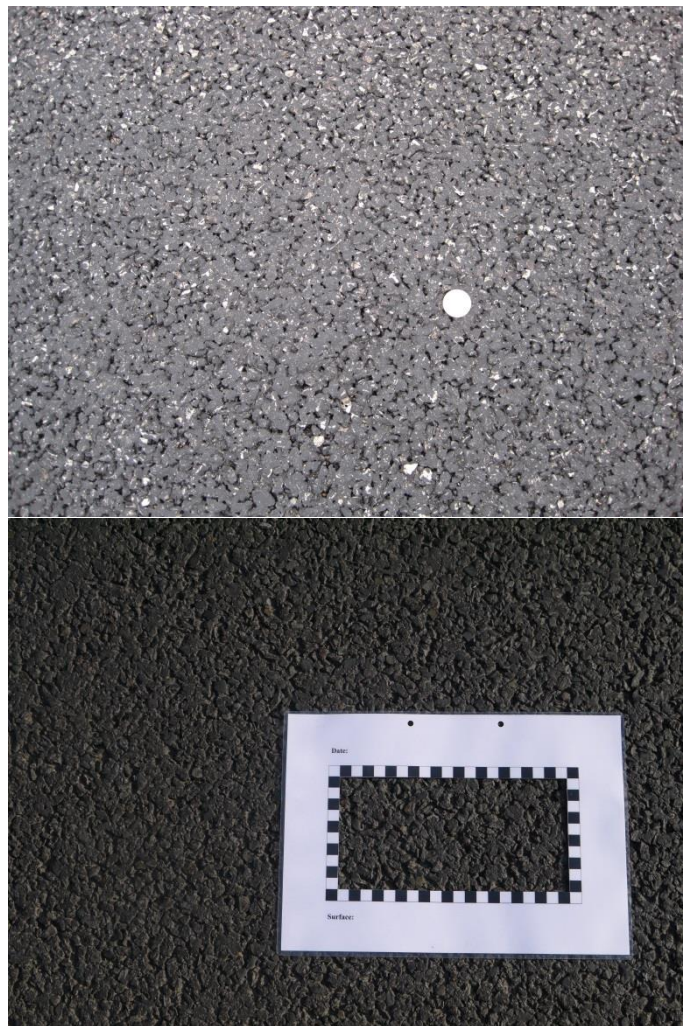
In België nog zelden gebruikt wegdektype wegens moeilijk(er) winteronderhoud en is ook duurder tot véél duurder (tweelaags ZOAB), terwijl de levensduur lager ligt dan DAB. Goede weerstand tegen spoorvorming, maar gevoeliger voor rafeling. Interessante initiële geluidsreductie, zeker bij de tweelaags versie. Af te raden op wegen met lage snelheid en/of laag verkeersvolume wegens snel verstopping van de holttes en dito afname van de geluidsreductie. Kan interessant zijn op wegen met hogere snelheid wegens geluidsreductie, maar ook wegens efficiënte reductie van spatwater en risico op aquaplaning bij zware regenval. Enkel aan te brengen op lange rechte stukken omdat handwerk moeilijk is. Ook af te raden op plaatsen met wringend verkeer.

Naast DAB en ZOAB zijn er nog tal van andere soorten asfaltbeton in gebruik. Enkele voorbeelden zijn:

- SMA vormt een compromis tussen DAB en ZOAB. Aggregaat en vulmiddel worden zodanig gekozen dat het materiaal niet poreus is, maar de toplaag ziet er van boven wel hetzelfde uit als ZOAB (zie Figuur 4). Er is veel ruimte rond de relatief grote steentjes aan het oppervlak, maar door de vrij grote hoeveelheid vulmiddel zijn er nauwelijks poriën. SMA is beter bestand tegen slijtage en sterker dan DAB, maar vereist meer zorg bij de aanleg.

Wanneer wel/geen SMA gebruiken?

Degelijk wegdektype dat iets duurder is dan DAB. Versies met kleine korrelmaat (< 10 mm) kunnen geluidsreducerend zijn. Wegens zijn steenskelet biedt SMA een betere weerstand tegen spoorvorming dan DAB. Voor de meeste wegen geschikt, behalve onder zwaar verkeer dat 90 km/u of sneller rijdt. Niet aan te raden voor weggedeelten met een ingewikkelde geometrie die handwerk nodig maakt, noch voor verhardingen die vooral voor lichte weggebruikers (voetgangers, fietsers) bestemd zijn.



Figuur 5 – steenmastiek asfalt.

- Begrind asfalt is DAB waarover men in warme toestand steentjes strooit en inrolt (Figuur 6). Hierdoor verhoogt de slijtweerstand van het wegdek en verbetert de initiële stroefheid.

Wanneer wel/geen begrind asfalt gebruiken?

Begrind asfalt levert een betere stroefheid dan conventioneel DAB, maar is helemaal in onbruik geraakt wegens de slechte akoestische kwaliteit. Even gevoelig voor spoorvorming als DAB. Gebruik is af te raden, zowel in de stedelijke omgeving, op secundaire wegen als op snelwegen.



Figuur 6 – begrind asfaltbeton.

- Dunne asfaltlagen, ook wel dunne deklagen genoemd. Deze techniek kan gebruikt ter reparatie van een oud wegdek op bepaalde plekken of over het gehele oppervlak, maar evengoed aangewend worden als nieuw wegdek. Deze techniek is goedkoop en kan worden toegepast op wegen met niet al te grote verkeersintensiteit. Men gebruikt doorgaans steentjes van een kleiner kaliber om de dunne laag te kunnen realiseren. Zelfs poreuze dunne laagjes zijn mogelijk. Men onderscheidt drie subcategorieën:
 - o Dunne laag (20 - 30 mm dik) (zie Figuur 7)
 - o Ultra dunne laag (12 -18 mm)
 - o Microlaag (6 –12 mm)

Wanneer wel/geen dunne asfaltlagen gebruiken?

Dunne asfaltlagen zijn in veel gevallen een interessante en kostenefficiënte manier om het verkeerslawaai te reduceren, zelfs aan lage snelheden (> 30 km/u). Ze bieden doorgaans een goede stroefheid en zijn niet veel duurder dan DAB. De initiële geluidsreductie is goed tot uitstekend, maar men dient er rekening mee te houden dat de types met de beste geluidsreductie ook het snelste hun goede akoestische eigenschappen verliezen. De levensduur is ook korter (7 à 9 jaar) en ze zijn gevoeliger voor slijtage en beschadiging. Ze zijn af te raden op plaatsen met veel wringend verkeer (drukke kruispunten, busstops,...) en op hellingen. Meest voorkomende schadebeelden zijn rafeling en loskomen van de onderlaag. Men legt ze best aan op stukken weg met een regelmatige, rechthoekige vorm, want handwerk (rond verkeerseilanden bijvoorbeeld) is moeilijk. Dunne deklagen kunnen toegepast worden in de stedelijke omgeving, op secundaire wegen en op snelwegen.



Figuur 7 – dunne deklaag.

2. CEMENTBETONVERHARDINGEN

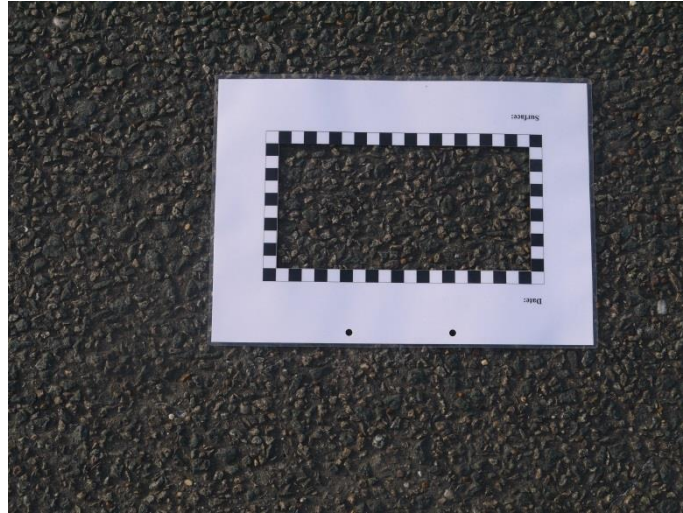
Cementbetonverhardingen worden gekenmerkt door een grote stijfheid en een lange levensduur. Het is dan ook cruciaal van bij het begin een goede samenstelling te kiezen, aangepast aan de omgeving. Wegenisbeton bestaat uit grove granulaten, zand, cement, water en een aantal hulpstoffen zoals luchtbelvormer en (super)plastificeerder. Een goede korrelverdeling van het minerale skelet maar ook een voldoende kwaliteit van de granulaten zijn naast een aangepaste samenstelling belangrijk voor het bekomen van een duurzame weg. Om een goede oppervlakttextuur te bekomen wordt de betonverharding hetzij chemisch uitgewassen (zeker aan te raden bij hogere snelheden), hetzij gebezemd voor de minder belaste rijwegen waar trager gereden wordt.

De eerste betonwegen werden aangelegd met granulaten met grote korrelafmetingen (32 tot 40 mm). Vaak werden ook dwarsgroeven aangebracht in het verse beton. Deze zorgden voor een stroef en veilig wegdek met een goede waterafvoer maar ook met bijzonder hoge geluidsproductie. Eind de jaren 70 is overgegaan naar chemisch uitwassen van het oppervlak. Hierdoor werd ook een goede stroefheid bekomen maar verdwenen de hoge piektonen die bij de dwarsgegroefde wegdekken hoorbaar waren.

Een optimalisatie van de uitwastechniek (zie Figuur 8) heeft voor een belangrijke vermindering van het rolgeluid gezorgd (z. Het huidige concept van uitwassen bestaat erin de korrelgrootte van de granulaten aan het oppervlak te beperken, hetzij door te werken in twee lagen, nat-in-nat aangebracht, hetzij door een overmaat te voorzien aan granulaten tussen 4 en 6,3 mm (of 8 mm). De bedoeling is om het aandeel steentjes tussen 4 en 6,3 mm te verhogen tot 20 à 25 % van het minerale skelet (mengsel van zand en steenslag). Tijdens de verdichting komen deze granulaten aan het oppervlak en worden ze blootgelegd bij het uitwassen. De kwaliteit van deze stenen is primordiaal om een goede stroefheid in de tijd te kunnen garanderen. Door het beperken van de maximale korrelafmeting van het minerale skelet tot 20 mm of zelfs tot 14 mm neemt het rolgeluid verder af.

Wanneer wel/geen fijn beton gebruiken?

Zoals alle betonwegdekken is fijn beton héél duurzaam. De aanleg is wat gecompliceerd/duur maar mits goed aangelegd kan een aanvaardbare akoestische kwaliteit gehaald worden (in het beste geval vergelijkbaar met DAB). Bij een goede materiaalkeuze is de stroefheid levenslang gegarandeerd. Goede keus voor een duurzaam wegdek op secundaire en snelwegen als er geen al te hoge akoestische eisen worden gesteld. In principe ook voor straten en pleinen in de stedelijke omgeving, maar werken aan nutsleidingen kunnen een probleem vormen.



Figuur 8 – fijn beton.

In het geval van minder snel bereiden wegen wordt het bezemen als oppervlaketechniek toegepast (zie Figuur 9). Onmiddellijk na aanleg wordt het oppervlak met een bezem afgestroken. Deze bezems hebben aaneengesloten staaldraden of PVC-draden. Voor de wegen is enkel dwarsbezemen toegelaten¹. In het geval van fietspaden en landbouwwegen kan ook in langsrichting gebezemd worden.

Wanneer wel/geen gebezemd beton gebruiken?

Zelfde overwegingen als bij fijn beton, maar de aanleg is wat eenvoudiger/goedkoper. De akoestische kwaliteit is dan weer wat minder dan fijn beton.



Figuur 9 – gebezemd beton.

Een speciale oppervlakafwerking is het figureren of printen van het betonⁱⁱ (zie Figuur 10). Hierbij worden speciale motieven in het oppervlak ingebracht. Afhankelijk van de mal die gebruikt wordt kan hierdoor het uitzicht van kasseien of straatstenen of natuursteen verkregen worden. Het printen gaat gepaard met een antislipbehandeling door het instrooien van kwartszand. Het rolgeluid zal in dit geval mede bepaald worden door het aangebrachte patroon en de snelheid die gereden wordt. Vaak wordt bij deze prints moedwillig gestreefd naar een hoger rolgeluid om zo het verkeer te vertragen.

Wanneer wel/geen gefigureerd beton gebruiken?

Aangewezen op plaatsen waar het om esthetische redenen gewenst is om een wegdek met het uitzicht van een straatsteen- of kasseiverharding te hebben, waar het extra rolgeluid geen probleem is en waar er een zware belasting is door zwaar verkeer (bijvoorbeeld door frequente passage van bussen).



Figuur 10 – gefigureerd beton.

Betonverhardingen hebben het voordeel dat ze weinig onderhoud vragen. In het geval van platenbeton beperkt het onderhoud zich tot het gevuld houden van de voegen. Het kan evenwel nodig zijn de oppervlakkenmerken te verbeteren omwille van het intens gebruik, de hoge leeftijd van de verharding of omwille van het gebruik van niet aangepaste granulaten met een te lage polijstingsweerstand. Ook afschilfering ten gevolge van de inwerking van vorst-dooizouten ten gevolge van bijvoorbeeld een slechte bescherming tijdens uitvoering kan een oppervlakbehandeling noodzakelijk maken.

In de typebestekken zijn verschillende methodes aangegeven om de oppervlakttextuur te herstellen of te verbeteren eens het beton aangelegd is. De oppervlakbehandeling zal naast een verbetering van de stroefheid en de vlakheid vaak ook zorgen voor een verbetering van het rolgeluid, zeker in het geval het gaat over de behandeling van oude betonwegen.

- Het afslijpen met een diamantschijfⁱⁱⁱ bestaat erin kleine groefjes, 3 à 4 mm breed met een tussenafstand van 1,5 à 3.2 mm, aan te brengen op het oppervlak. Dit leidt tot een verbeterde vlakheid met het behoud van de stroefheid en tot een verlaging van het rolgeluid. Het afslijpen gebeurt het best in langsrichting (verplicht volgens SB 250).

- Het fijnfrezen gebeurt met behulp van een koudfreesmachine^{iv}, uitgerust met een verhoogde hoeveelheid freesbeitels. Ook deze methode zal leiden tot een verbeterde vlakheid met het behoud van de stroefheid en tot een verlaging van het rolgeluid. Ze is ook geschikt als voorbereiding van het oppervlak voor een verdere overlaging. Het fijnfrezen gebeurt steeds in langsrichting. De tussenafstand van de groefjes bedraagt maximaal 8 mm.
- Andere methodes zijn het boucharderen^v en het staalstralen^{vi}. Het boucharderen wordt lokaal toegepast om een oppervlakkige mortellaag te verwijderen en zal leiden tot een verbetering van de stroefheid met behoud van de vlakheid. Bij het boucharderen wordt met hamers op het oppervlak geklopt. Dit kan mogelijk wel aanleiding geven tot microscheuren aan het oppervlak. Het staalstralen bestaat uit een intensief stralen met stalen kogeltjes aan een hoge snelheid. Door middel van een afzuigstelsel wordt het stof verwijderd en de stalen kogeltjes gerecupereerd. Het stralen kan ook gebeuren met water onder hoge druk maar dit leidt tot een minder diepe inwerking. Het staalstralen geeft eveneens een verbeterde stroefheid als resultaat.
- Het polijsten of schuren van het verhard oppervlak wordt vaak uitgevoerd bij esthetische toepassingen, zowel binnen als buiten. Buiten is het van belang niet te fijn te polijsten om voldoende stroefheid te behouden. Het geluidsniveau speelt hier niet gezien deze behandeling niet op 'bereden' wegen wordt toegepast
- In de Verenigde Staten wordt een geoptimaliseerde vorm van afslijpen met diamantschijven toegepast. Door te werken met een variabel configuratie van de schijven wordt een negatieve textuur bekomen, die zorgt voor een verbeterde stroefheid en een verdere verlaging van het rolgeluid.

Het geluidsniveau van een betonverharding hangt evenwel niet enkel af van de oppervlakttextuur. Het is namelijk zo dat verzakkingen ter hoogte van de voegen kunnen leiden tot trapvorming met trillingen en geluid als gevolg. Om deze verzakkingen en vorming van trapjes te vermijden is het noodzakelijk een goede structuur te kiezen. In het geval van zwaarder belaste wegen en ook op wegen waar veel bussen passeren dienen altijd deuken in de voegen aangebracht te worden. Deze zullen zorgen voor een goede verticale lastoverdracht tussen de platen maar toch niet de werking van de voeg verhinderen. Ook een goede kwalitatieve fundering is van belang om erosie ten gevolge van indringend water en pompeffecten te vermijden. De belangrijkste maatregel hiertegen is het dichthouden van de voegen. Steeds dient een goede voegvulling voorzien te worden om waterindringing via de langsvoeg of dwarsvoeg te vermijden. Bij zeer zwaar belaste wegen kan overgegaan worden naar doorgaand gewapend beton. Hierbij zijn geen dwarsvoegen nodig en dient bijgevolg enkel de langsvoeg onderhouden te worden.

3. BESTRATINGEN

De verharding van bestratingen bestaat uit kleinschalige elementen die in een straatlaag geplaatst worden. De voegen tussen de elementen dienen steeds gevuld te zijn om verschuiven, klikken en uiteindelijk loswrikken van de straatstenen te vermijden. Het legverband dat gebruikt wordt zal in zeer sterke mate het geluid bepalen. Het geluid wordt niet zozeer bepaald door het rolgeluid, mede gezien de lage snelheid die op dit type verhardingen opgelegd wordt, maar meer door trillingen ten gevolge van hoogteverschillen die zeker bij de klassieke kasseien aanwezig zijn. Soms hebben deze verhardingen ook tot doel het geluid te laten toenemen, denk hierbij aan rammelstroken en dergelijke. Het extra geluid en de extra trilling zal een vertragend effect met zich meebrengen.

Het is echter ook mogelijk om met kleinschalige elementen geluidsluwe verhardingen aan te leggen. Belangrijk is het dan om een goede vlakheid te hebben, wat zeker met straatstenen goed haalbaar is.

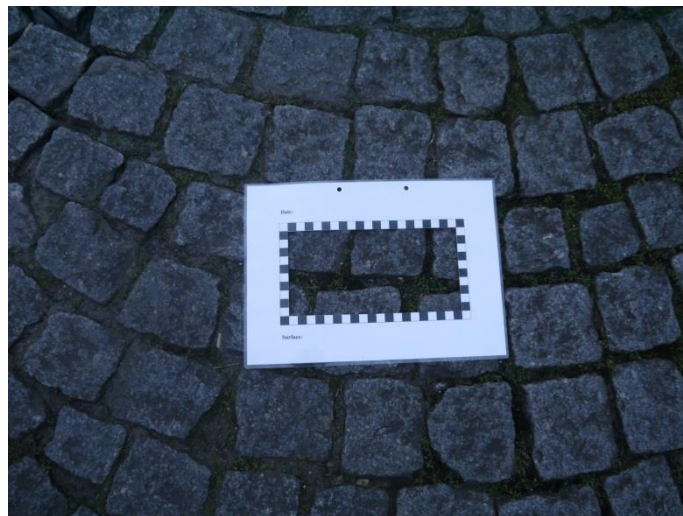
Om dit type verharding duurzaam te maken en ook de vlakheid in de tijd te behouden is een goede opbouw cruciaal. Hiermee wordt niet enkel de fundering en onderfundering bedoeld, maar ook de kantopsluitingen en de waterafvoer zijn belangrijke parameters.

Kasseien

Kasseien zijn bestratingselementen van natuursteen zoals porfier, kwartsiet, graniet of van harde zandsteen. Zij worden meestal aangelegd in tonronde zodanig dat ook verticaal een gewelfwerking optreedt. Zij worden het meest toegepast om esthetische en cultuurhistorische redenen en gaan zoals boven vermeld vaak gepaard met extra geluidsproductie omwille van het oneffen oppervlak wat leidt tot extra trillingen (zie Figuur 11).

Wanneer wel/geen kasseien gebruiken?

Kasseien kunnen worden aangelegd op plaatsen waar dat vereist wordt door cultuur/historische en/of esthetische redenen. Kasseien worden sterk afgeraden wanneer de snelheid van het verkeer hoger is dan 50 km/u omwille van de onveiligheid (slipgevaar bij regenweer) en het lawaai. Ook bij snelheden tussen de 20 en 50 km/u is er nog een sterk verhoogd rolgeluid en moet de wegbeheerder er zich van vergewissen dat dat geen probleem zal vormen voor de omgeving. Ideaal worden kasseien aangelegd in straten waar de snelheid beperkt wordt tot 20 km/u of waar er helemaal geen verkeer voorbij komt. Kasseien hebben de neiging om te verzakken waardoor hun lawaaiërigheid nog toeneemt. Ze zijn glad en oncomfortabel voor fietsers en voetgangers (hoge hakken!). Voordeel is dat ze in principe onbeperkt kunnen gerecycleerd worden.



Figuur 11 - wegdek met kasseien.

Straatstenen

Straatstenen kunnen gemaakt worden uit beton (Figuur 12), gebakken klei of natuursteen. Een verharding met straatstenen kan veel vlakker aangelegd worden. Ook hier dient de snelheid beperkt te worden om uitzuigen van de voegen te vermijden wat een positief effect heeft op het rolgeluid. Het legpatroon kan er echter voor zorgen dat tonale geluiden ontstaan. Dit is mogelijks zo indien vormstenen gebruikt worden.

De stroefheid bij betonstraatstenen wordt bekomen door het inbrengen van een slijtlaag aan het oppervlak tijdens productie. De betonstraatstenen kunnen ook uitgewassen worden indien gewenst. Bij straatstenen uit natuursteen dient soms een opruwing van de steen te gebeuren om voldoende stroefheid te bekomen.

Wanneer wel/geen straatstenen gebruiken?

Aangewezen in straten in stedelijke omgeving (max. 50 km/u). De aanleg is arbeidsintensief en gaat traag en is daardoor duur. Voordeel is dat het wegdek opgebroken kan worden voor werken aan de nutsleidingen en weer hersteld in de oorspronkelijke toestand. Akoestisch kan het niveau van DAB gehaald worden.



Figuur 12 – betonstraatstenen.

Waterdoorlatende verhardingen^{vii}

Waterdoorlatende verhardingen (Figuur 13) spelen een belangrijke rol in het kader van een integraal waterbeleid, waarbij het gevaar op overstroming zoveel mogelijk dient te worden beperkt - onder meer door het water zolang mogelijk ter plaatse te houden. Dankzij een totaal concept van doorlatendheid, vanaf het oppervlak tot de bodem, wordt regenwater gebufferd, bij voorkeur in de onderfundering, waarna men het indien mogelijk in de ondergrond laat infiltreren. Waterdoorlatende bestratingen worden toegepast als buffer- en infiltratiesysteem op parkings, pleinen, wegen met beperkt verkeer, fietspaden, enz.

Toepassing van waterdoorlatende bestratingen heeft niet alleen het voordeel dat vermeden wordt dat water dat van het oppervlak afstroomt onmiddellijk in de riolering of de waterloop terecht komt, maar zorgt ook voor een verhoging van het grondwaterniveau. Wanneer geen infiltratie mogelijk is, zal het water tijdelijk in de structuur worden opgeslagen en vertraagd worden afgevoerd naar een nabijgelegen infiltratiebekken of sloot.

De doorlatendheid van de straatstenen wordt verkregen door de poreuze structuur van de steen zelf of door de aanwezigheid van verbrede voegen of drainageopeningen tussen de stenen. Ook grastegels kunnen als waterdoorlatende verharding worden gebruikt, op voorwaarde dat ze gevuld zijn met granulaten of volledig met gras begroeid zijn.

Het algemene werkingsprincipe van het waterdoorlatende verhardingssysteem met betonstraatstenen is als volgt:

- Het hemelwater infiltreert via de waterdoorlatende betonstraatstenen, de voegvulling en de straatlaag naar de fundering. De straatstenen laten het water door en vermijden zo afstroming aan het oppervlak.
- Het hemelwater wordt bij voorkeur in de onderfundering gebufferd; de fundering dient als extra veiligheid en verschaft de nodige draagkracht voor het aanwezige verkeer.

- Het hemelwater infiltreert in de ondergrond, afhankelijk van de doorlatendheid van de ondergrond.
- Het hemelwater dat niet in de ondergrond infiltreert, wordt via een knijpleiding vertraagd afgevoerd naar nabijgelegen sloten of infiltratiesystemen of naar het rioleringsstelsel.

Er zijn standaardstructuren vastgelegd als functie van de verkeersintensiteit en de doorlatendheid van de ondergrond.

Toepassing:

- Op plaatsen waar het verkeer beperkt blijft, gezien het verminderde draagvermogen van de fundering (in waterverzadigde toestand). Dit zijn bijvoorbeeld (bedrijfs)parkings voor personenwagens, winkelcentra, woonstraten, parkeerplaatsen, pleinen en wandelstraten, fiets- en voetpaden, opritten en terrassen.
- Niet op winplaatsen voor grondwater, tenzij specifieke maatregelen ter bescherming van de ondergrond worden getroffen.
- Liefst niet in zones waar veelvuldig dooizouten worden gebruikt, om het grondwater niet te verontreinigen.
- Qua comfort zijn betonstraatstenen met verbrede voegen of met drainageopeningen minder geschikt voor voet- en fietspaden. Poreuze betonstraatstenen met kleine afschuining (of vlak) en met smalle voegen zijn hiervoor meer aangewezen.

Voordelen:

- Geen slokkers noodzakelijk
- Geen regenwaterafvoer noodzakelijk, zeker interessant als huizen op eigen perceel infiltreren
- Geen extra bufferingssysteem en/of bufferingvolume nodig voor de oppervlakte van de weg
- Beperkte helling kan toegepast worden
- Variaties in kleur en legpatroon kunnen de zones voor de verschillende gebruikers zeer goed afbakenen en zo de veiligheid verhogen
- Geen plasvorming, zelfs niet bij hevige regen

Nadelen:

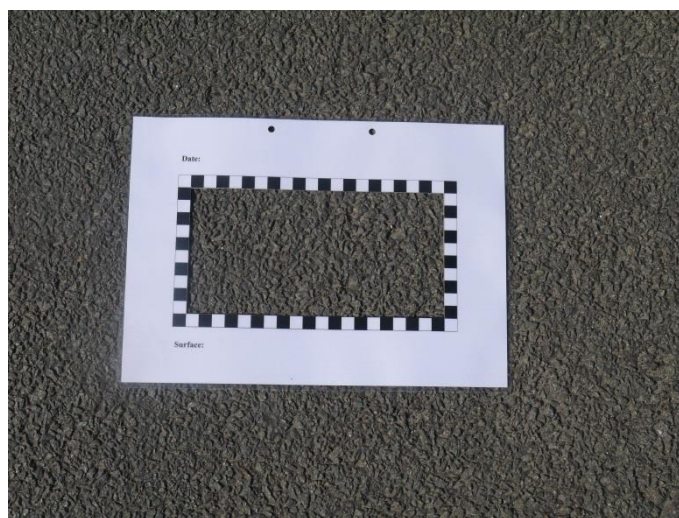
- Vermijden dat water kan indringen in huizen: voetpaden niet in waterdoorlatende bestrating aanleggen, maar water wel laten aflopen op parkeerzone of weg
- Plaatsing van nutsleidingen: bij voorkeur onder voetpad met niet doorlatende verharding want herstellingen zijn moeilijk op te volgen en kunnen fundering ondoorlatend maken indien niet geopteerd wordt voor juiste materiaal



Figuur 13 – waterdoorlatende bestrating.

4. BESTRIJINGEN EN SLEMLAGEN

Een bestrijking heeft een dikte van 5 tot 15 mm. Men spreidt een laag bindmiddel uit over de onderliggende grondlaag, die vlak moet zijn en in goede conditie. In de laag bindmiddel, die als “lijm” fungeert, wordt vervolgens een laag steentjes aangebracht (Figuur 14). Dit noemt men een éénlaagse bestrijking met enkelvoudige begrinding. Zij vormt een aangewezen oplossing voor wegen met gering verkeer. De steenslag kan ook in twee fasen worden gestrooid: eerst een laag middelgrof steenslag en meteen daarna een laag fijner steenslag. Dit is een éénlaagse bestrijking met dubbele begrinding. Deze beoogt een hoge stroefheid en is vooral voor wegen met snel verkeer bestemd. Men kan ook op een bestrijking een tweede aanbrengen door opnieuw een laag bindmiddel uit te spreiden en hierin een tweede laag steentjes te fixeren. Dit is een tweelaagse bestrijking. Deze is geschikt voor wegen met druk en/of zwaar verkeer die al een zware verhardingsconstructie bezitten. Het is perfect mogelijk om de bestrijking te combineren met een ander wegdektype en bijvoorbeeld op een cementbetonoppervlak een bestrijking aan te brengen.



Figuur 14 – bestrijking.

Een zogenaamde “slurry seal” laag of slemlaag (koud gegoten asfalt) wordt verkregen door een vloeibaar mengsel van aggregaten, bitumenemulsie met eventueel enkele additieven en vezels uit te gieten. Slembehandelingen zijn heel gevoelig voor de weersomstandigheden. In de praktijk wordt de uitvoeringsperiode beperkt van midden april tot eind september. Men kan er één of twee lagen mee aanleggen en het wordt gecompacteerd met een roller. De korrelmaten zijn 0/2, 0/4, 0/6,3 of 0/10.

Wanneer wel/geen bestrijkingen/slemlagen gebruiken?

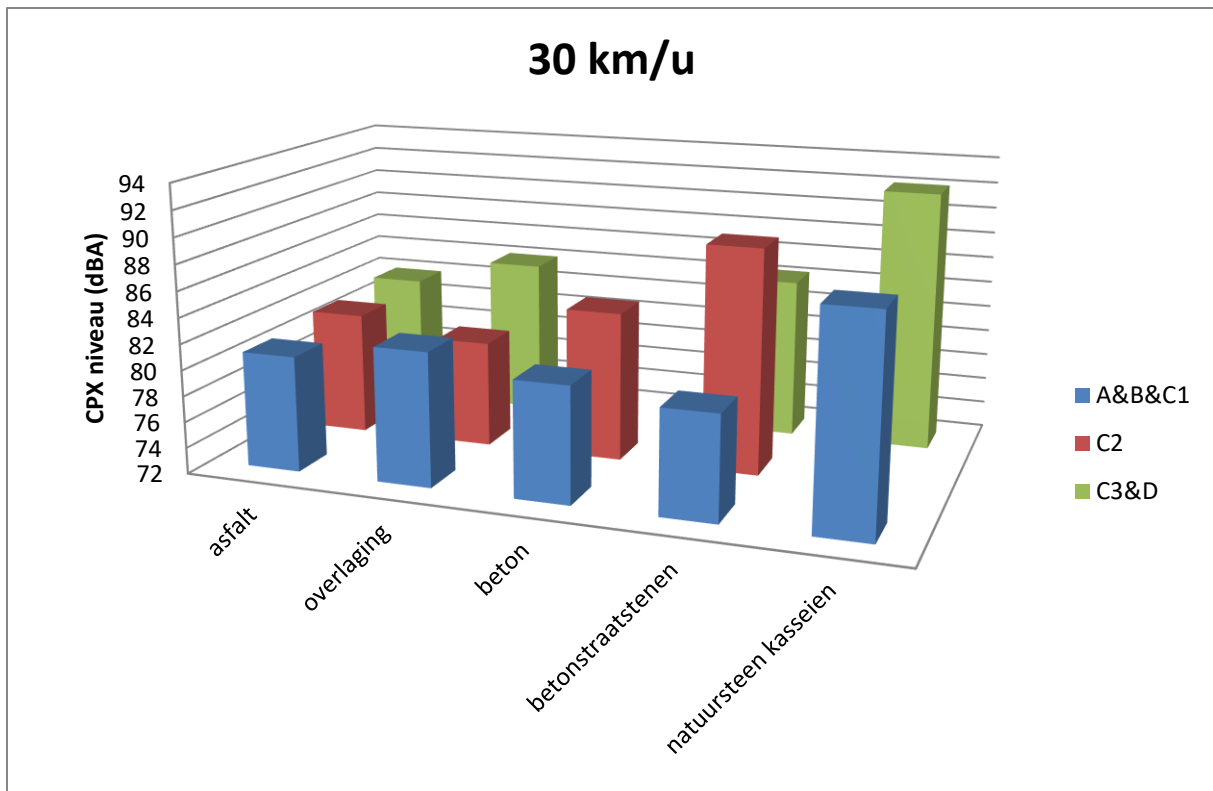
Deze wegdektypes kunnen aangewezen zijn voor verhardingen die nog in goede staat zijn, maar waarvan de textuur te wensen overlaat, zoals oude betonwegen. Op onstabiele wegdekken (betonstraatstenen, kasseien) zijn ze niet aangewezen omdat de oorspronkelijke textuur zich al heel gauw aan het nieuwe oppervlak manifesteert en er ook heel snel vermoeiingsscheuren optreden. Er kan een vergelijkbare akoestische kwaliteit worden gehaald als DAB. Bestrijkingen mogen niet tussen half oktober en midden april worden aangebracht. Slemlagen mogen alleen in de gunstige periode (lente, zomer) worden aangebracht. Ze zijn gevoelig voor de weersomstandigheden bij het aanbrengen.

7.1.3. Akoestische eigenschappen van enkele typische wegdekken in de stedelijke omgeving

In juni 2015 werd door het OCW in Gent een meetcampagne uitgevoerd om de akoestische kwaliteiten van enkele typische wegdekken te bepalen met de CPX-trailer (zie 7.4.3). Er werden een reeks wegdekken geselecteerd in de binnenstad van diverse types (dicht asfaltbeton, bestrijking, beton, betonstraatstenen en kasseien) met diverse graden van slijtage (A-B: uitstekend tot goed; C1-C3: matig tot slecht en D: zeer slecht). In de meeste straten bedroeg de maximumsnelheid 30 km/u.

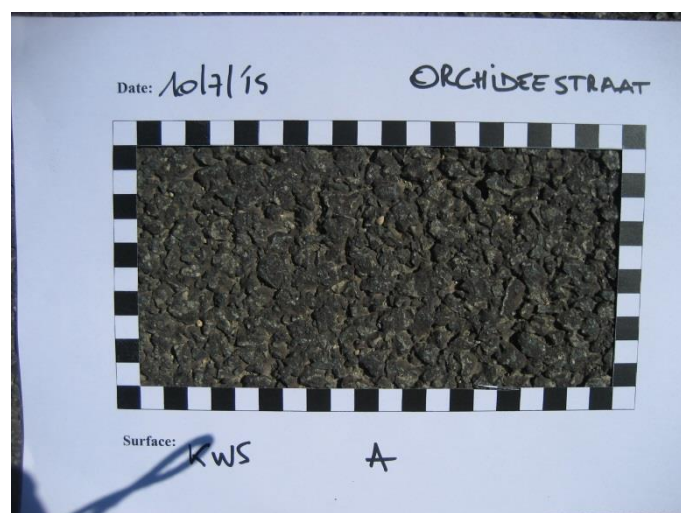
De resultaten voor 30 km/u, gemeten met de SRTT referentieband, worden gegeven in Figuur 15. Hoewel het een beperkte meetcampagne betrof - wat noopt tot voorzichtigheid bij de interpretatie van de meetresultaten – zijn toch een aantal trends duidelijk:

- Dicht asfaltbeton, bestrijkingen, beton en betonstraatstenen in goede staat hebben bij 30 km/u een geluidsemissie die in dezelfde grootte-orde ligt
- Er is een zekere trend zichtbaar dat hoe meer het wegdek versleten is, des te lawaaiiger het wordt. Dit fenomeen zou duidelijker kunnen gemaakt worden door op méér wegdekken (in goede en in slechte staat) te meten
- Kasseistenen zijn ook al in goede staat lawaaiiger en worden ook al bij 30 km/u extreem lawaaiiger wanneer ze beginnen te verzakken



Figuur 15 - CPX geluidsniveau van enkele courante wegdekken gebruikt in de stedelijke omgeving met diverse graden van slijtage.

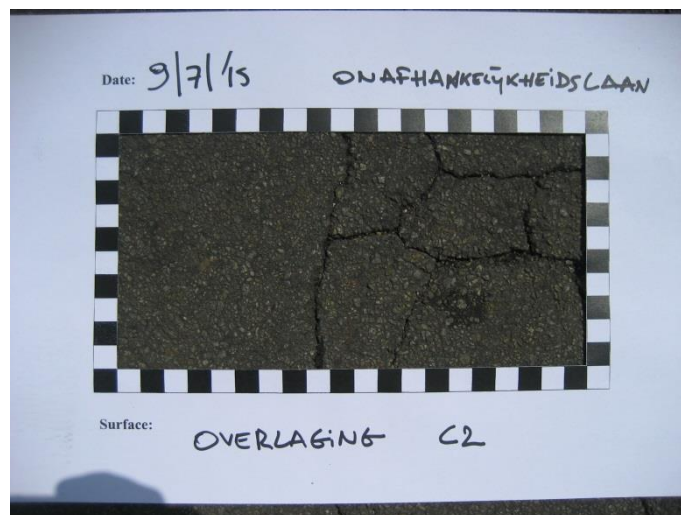
Figuur 16 tot en met Figuur 25 tonen een aantal typisch wegdekken in diverse slijtage-toestanden waarop metingen werden uitgevoerd.



Figuur 16 - Orchideestraat, Gent (asfalt, A).



Figuur 17 - Achterkouterstraat, Gent (asfalt, C2)



Figuur 18 - Onafhankelijkheidslaan, Gent (overlaging, C2)



Figuur 19 - Koopvaardijlaan, Gent (overlaging, D)



Figuur 20 - Kerselaarstraat, Gent (beton, C1)



Figuur 21 - Alfons Braeckmanlaan, Gent (beton, C2)



Figuur 22 - Duifhuisstraat, Gent (betonstraatstenen, B)



Figuur 23 - Narcisstraat, Gent (betonstraatstenen, C3)



Figuur 24 - Driemasterstraat, Gent (natuursteen kasseien, B)



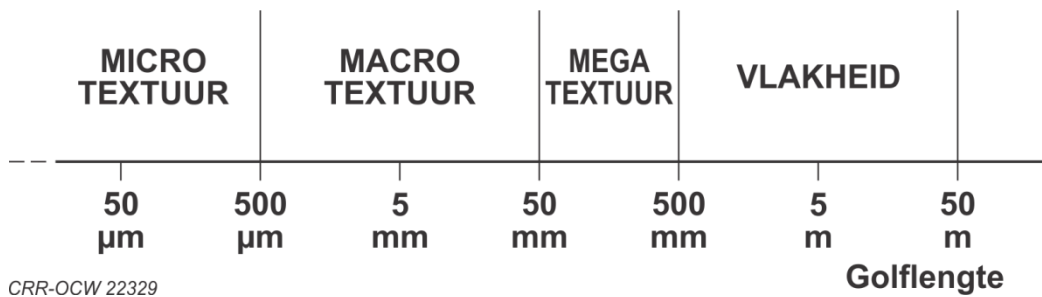
Figuur 25 - Koningsdonkstraat, Gent (natuursteen kasseien, D)

7.2. Eigenschappen van het wegdek relevant voor lawaaiproductie

7.2.1. Onregelmatigheden van het wegdek

TEXTUUR EN TEXTUURSPECTRUM^{viii}

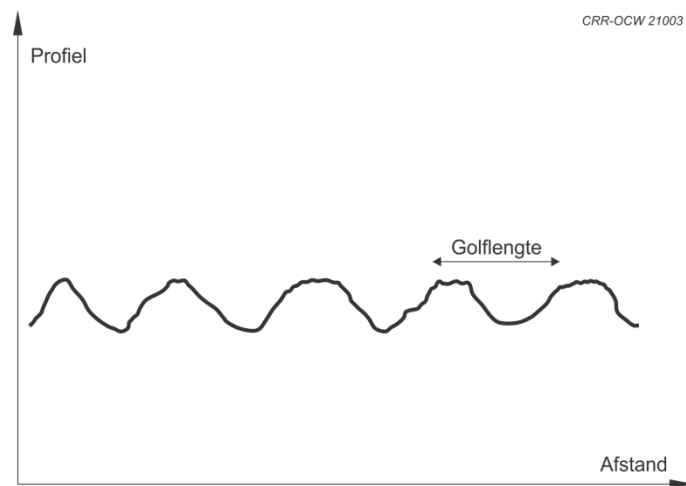
Oorspronkelijk deelde men de afwijkingen van het perfecte vlak van het wegdek in, in drie klassen: microtextuur, macrottextuur en onvlakheden. Toen de mechanismen bekend raakten die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van rolgeluiden, werd een vierde klasse toegevoegd: de megatextuur, die zich situeert tussen macrottextuur en onvlakheden (zie ook fiche 5). De grenzen van de vier klassen worden weergegeven in Figuur 26.



CRR-OCW 22329

Figuur 26 – de grenzen van de vier textuurklassen.

Op een manier die analoog is aan de frequentieanalyse van een tijdsafhankelijk signaal (bijvoorbeeld de geluidsdruk), kan men op een gegeven wegdekprofiel (zie Figuur 27) een spectrale analyse toepassen en aldus het textuur- of profielspectrum ervan bepalen.



Figuur 27 - voorbeeld van een textuurprofiel.

Langs de horizontale as wordt dan de ruimtelijke frequentie uitgezet (uitgedrukt in m^{-1}) en langs de verticale as het profiel- of textuurniveau L_{Tx} (uitgedrukt in dB).

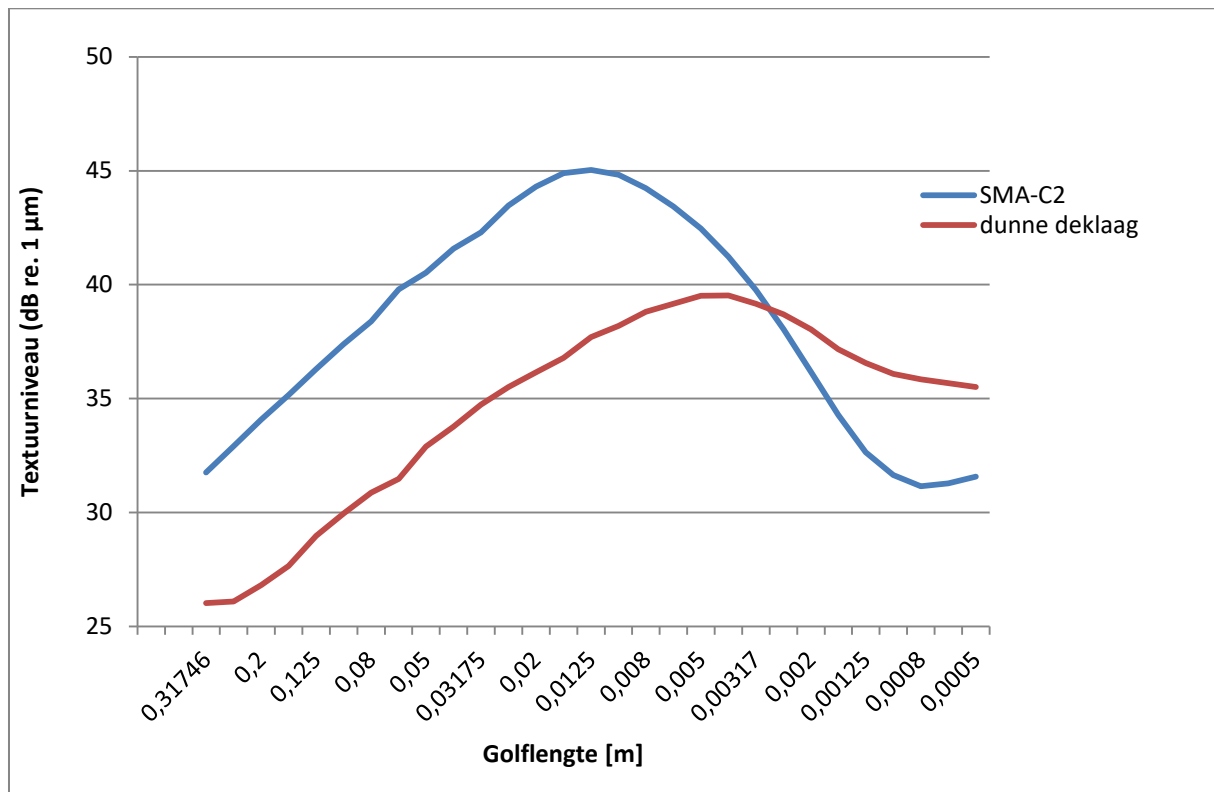
Het textuurniveau wordt gegeven door de uitdrukking:

$$L_{Tx} = 20 \log (a_x/a_{ref}) \quad (\text{vergelijking 1})$$

Met:

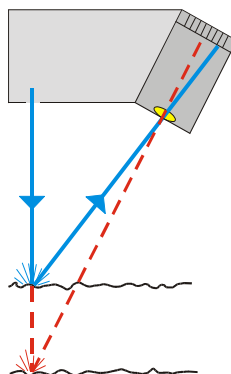
- x een index van een textuurgolflengte of een band van textuurgolflengtes (zie infra).
- L_{Tx} het textuur- of profielniveau (t.o.v. 10^{-6} m)
- a_x rms-waarde van het profiel in m
- a_{ref} een referentiewaarde voor het rms-profiel (m), vastgelegd bij conventie op 10^{-6} m

Helemaal analoog aan een geluidsspectrum groepeert men de bijdragen van verschillende naburige ruimtelijke frequenties in octaaf- of tertsbanden. Een voorbeeld van een dergelijk textuurspectrum is weergegeven in Figuur 28. Macrotextuurniveaus situeren zich doorgaans tussen de 20 en de 80 dB, wat in de praktijk een handige schaal is.



Figuur 28 - textuurspectra van SMA en van een dunne deklaag.

Textuurspectra worden gemeten met een profilmeter. Verschillende principes zijn mogelijk. Bij de laserprofilometer laat men een laserstraal over het te bemonsteren oppervlak glijden en kijkt men met een camera onder een bepaalde hoek naar de laserlichtvlek op het wegdek. Uit de hoek waaronder de camera de vlek "ziet" kan de verticale positie van de lichtvlek worden bepaald. Wanneer het systeem wordt verplaatst en er wordt een meting gedaan op regelmatige afstanden kan, het profiel van het wegdek worden gereconstrueerd (Figuur 29). In Figuur 30 wordt de laserprofilometer van het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (O.C.W.) afgebeeld. Nadere informatie over profilmeters kan worden gevonden in de betreffende ISO norm (ISO 13473-2 en -3)



Figuur 29 - schematische voorstelling van de werking van een laserprofilometer.



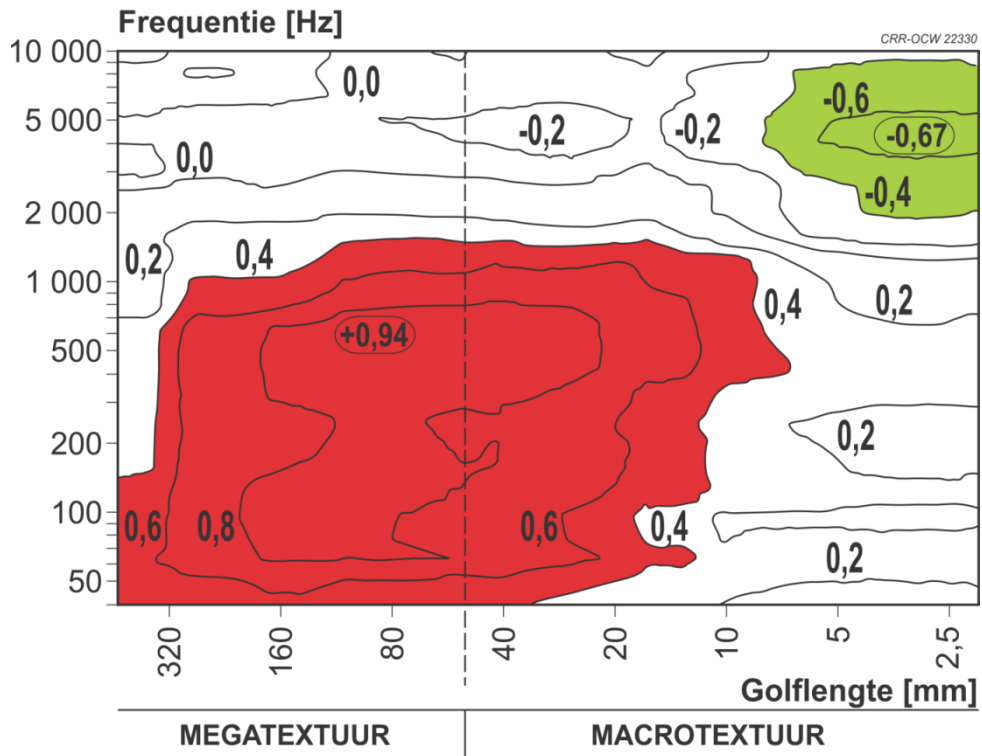
Figuur 30 - de laserprofilometer van het O.C.W.

INVLOED VAN DE TEXTUUR OP DE LAWAAIPRODUCTIE

Er kan a priori gesteld worden dat microtextuur en onvlakheden geen invloed hebben op de productie van rolgeluiden. Onvlakheden kunnen wel ladingen of laadbakken van vrachtwagens doen rammelen. Zij kunnen ook trillingen veroorzaken bij passages van zware voertuigen, waardoor in omliggende gebouwen secundair lawaai kan ontstaan door afstraling van trillende muren, vloeren,... e.d.

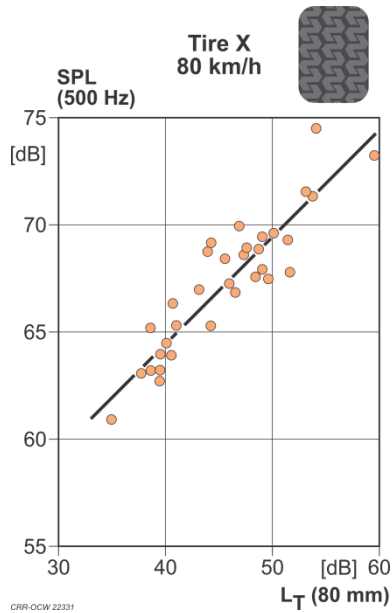
Begin van de jaren '80^x werd een link gelegd tussen het spectrum van het rolgeluid en het spectrum van het profiel van het wegoppervak (zie Figuur 31). Twee zeer significante gebieden van correlatie werden ontdekt: laagfrequent geluid (< 1 kHz) is positief gecorreleerd met de lange textuurgolf lengten (> 10 mm). Zoals verder zal worden uitgelegd is dit gerelateerd aan het aan het trillen brengen van de banden. Hoge frequenties in het rolgeluid spectrum (2000 – 8000 Hz) zijn negatief gecorreleerd met de korte textuurgolf lengten. Dit heeft te maken met het vermijden van het samendrukken van lucht tussen wegdek en band (luchtpompen). Gelijkaardige correlaties werden overigens gevonden tussen het rolgeluid spectrum en het profielspectrum van de banden.

BUITEN LAWAAI vs. PROFIEL SPECTRUM

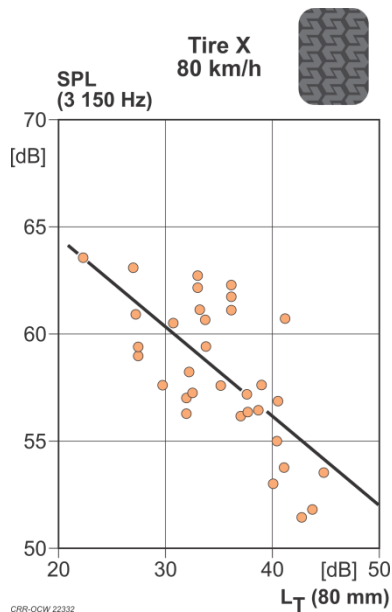


Figuur 31 - correlatiecoëfficiënten tussen textuurgolflengten en rolgeluidfrequenties.

Wanneer de punten (textuurgolflengte, geluidsniveau) worden bepaald bij de maximale positieve respectievelijk negatieve correlatie en worden uitgezet in een grafiek, vindt men een lineair verband zoals getoond in Figuur 32 en in Figuur 33.



Figuur 32 - positieve correlatie tussen megatextuur bij 80 mm en het rolgeluid bij 500 Hz



Figuur 33 - negatieve correlatie tussen macrottextuur bij 5 mm en het rolgeluid bij 3150 Hz

De tegelijkertijd gunstige en ongunstige invloed (afhankelijk van de textuurgolfenlengte) van textuur op het geproduceerde geluidsniveau van het rolgeluid toont aan dat testmethodes die als maat voor de textuur één cijfer geven nooit kunnen gebruikt worden om de lawaaiproductie van een gegeven wegooppervlak te beoordelen.

Omdat het positieve en negatieve correlatiemaximum zich steeds dicht bij respectievelijk de textuurgolfenlengten 80 mm en 5 mm situeren, kan de lawaaierigheid van een gegeven wegooppervlak geschat worden aan de hand van de textuurniveaus bij deze twee textuurgolfenlengten L_{T80} en L_{T5} . Volgende betrekking werd voorgesteld voor de “Estimated Road Noisiness Level” (ERNL^x):

$$\text{ERNL} = 60 + 0,39 L_{T80} - 0,13 L_{T5} \quad (\text{vergelijking 2})$$

Deze grootte wordt uitgedrukt in dB(A). De constante “60” werd arbitrair gekozen om waarden te verkrijgen die vergelijkbaar zijn met geluidsniveaus gemeten met de CPB-methode (zie verder). ERNL heeft echter geen betekenis als absoluut geluidsniveau. Het kan enkel gebruikt worden om de akoestische eigenschappen van verschillende wegdekken te vergelijken. De formule weerspiegelt op een eenvoudige manier het feit dat hoe meer megatextuur een wegdek vertoont des te lawaaiiger het is. Precies het omgekeerde geldt voor macrottextuur: hoe meer macrottextuur, hoe stiller het oppervlak. Men merkt op dat de coëfficiënt van de megatextuurterm in de uitdrukking driemaal zo groot is als de macrottextuurterm. Lawaai wordt dus veel efficiënter gegenereerd door megatextuur dan dat het wordt teniet gedaan door macrottextuur. Megatextuur dient dus zoveel mogelijk te worden vermeden bij de aanleg en het onderhoud van wegen. Er dient opgemerkt te worden dat het absorptie niet in rekening brengt en dus enkel kan gebruikt worden voor dichte wegdekken. Het is duidelijk dat ERNL enkel een ruwe schatting is.

Talrijke pogingen werden reeds ondernomen om de productie van geluid preciezer te modelleren^{xi}. Tot nu toe waren deze echter nog niet echt succesvol. Validaties van de meest geavanceerde modellen tonen verschillen aan tussen de voorspelde en gemeten geluidsniveaus van meerdere dB(A), wat niet goed genoeg is om echt bruikbaar te zijn^{xii}.

MEGATEXTUUR IN DE PRAKTIJK

Hoe ziet megatextuur eruit in de praktijk?

- Megatextuur kan een defect zijn veroorzaakt door een fout bij de aanleg van het wegdek. Een voorbeeld hiervan zijn de golvingen die soms kunnen waargenomen worden op het oppervlak van een betonnen wegdek (Figuur 34). Tijdens het machinaal plaatsen van het beton door middel van een slipformpaver kunnen mogelijk langse golven ontstaan aan het betonoppervlak. De mate waarin deze golven ontstaan wordt bepaald door onder andere de manier waarop het beton door de glijbekistingsmachine verdicht wordt en in de verharding geplaatst wordt, door de snelheid waarmee de glijbekistingsmachine vordert en door het gewicht en de flexibiliteit van de glijbekistingsmachine. Te grote snelheden zijn af te raden. Zeker bij de smallere fietspaden dient hierop gelet te worden. Naast een juiste keuze van machine en snelheid is het ook aan te raden een supersmoother te gebruiken (zie Figuur 35). Deze supersmoother is een langse strijspaan die achteraan de machine wordt gemonteerd en tegelijk een heen-en-weergaande beweging in de langsrichting en een verplaatsing in de dwarsrichting maakt. De supersmoother dient gevolgd te worden door een sleepplaat om de ontstane mortelranden weg te werken. Bij het voorschrijven van betonverhardingen is het belangrijk de typebestekken te volgen gezien hierin eisen opgelegd worden om grote golvingen te vermijden. Deze eisen zijn nu ook uitgebreid voor vrijliggende fietspaden. De meting gebeurt met een aangepaste APL ("Analyseur de Profil en Long).



Figuur 34 - ongewenste golvingen in een betonoppervlak in het megatextuurgebied ten gevolge van het gebruik van een transversale balk bij de aanleg.



Figuur 35 - een "supersmoother" maakt transversale ook draaiende bewegingen om oneffenheden te vermijden.

- Megatextuur kan zich manifesteren na verloop van tijd ten gevolge van slijtage of vermoeidheidseffecten van de toplaag van de weg (Figuur 36). Tijdelijke reparaties, bijvoorbeeld met gietasfalt, kunnen de megatextuur nog verergeren.



Figuur 36 - megatextuur ten gevolge van vermoeiingsscheuren in asfalt.

- Niet-homogene macrottextuur kan ook megatextuur met zich meebrengen. Een voorbeeld is de onregelmatige verdeling van grof aggregaat aan het oppervlak van een begrind asfalt wegdek (Figuur 37).



Figuur 37 - megatextuur door niet homogene macrottextuur: niet homogene spreiding van aggregaat op een begrind asfaltwegdek.

- Sommige types wegbekleding vertonen intrinsiek een megatextuur, dikwijls in combinatie met weinig macrottextuur. Een voorbeeld van een wegdektype met intrinsieke megatextuur en weinig macrottextuur zijn kasseien (Figuur 38). Porfiertegels vertonen eveneens intrinsieke megatextuur, en weinig macrottextuur, waardoor deze wegbekleding tegelijk lawaaierig en glad is.

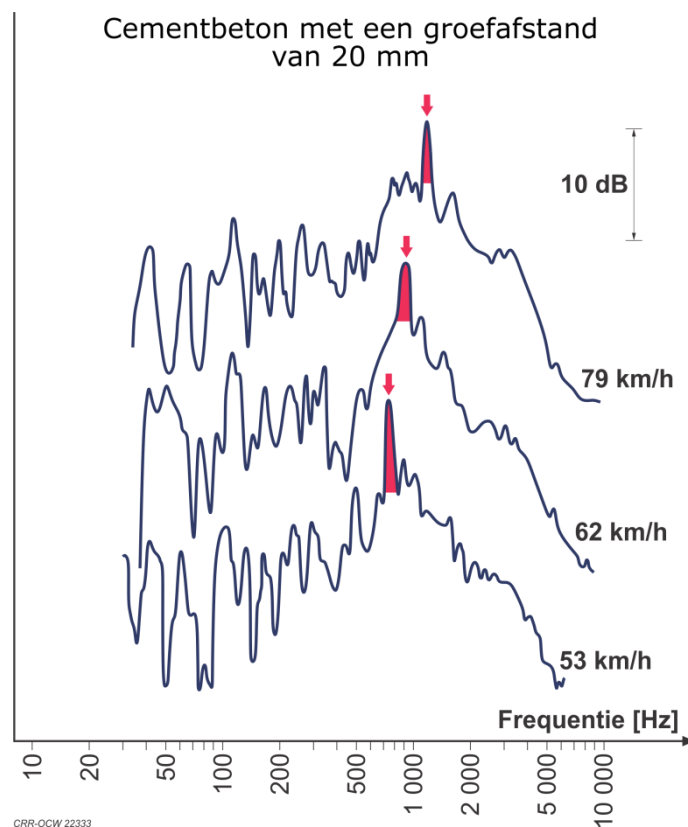


Figuur 38 - intrinsieke megatextuur bij een wegdek in kasseien.

MACROTEXTUUR

Vaak wordt aangenomen dat macrottextuur enkel kan worden bekomen met aggregaat aan het oppervlak van de weg. Macrottextuur kan echter ook worden aangebracht door het wegdek (bijvoorbeeld cementbetonverhardingen) te behandelen: boucharderen, inslijpen van groeven in of schuren van beton na uitharding, maar ook door bijvoorbeeld het indrukken van een patroon onmiddellijk na het leggen van beton of asfalt,...

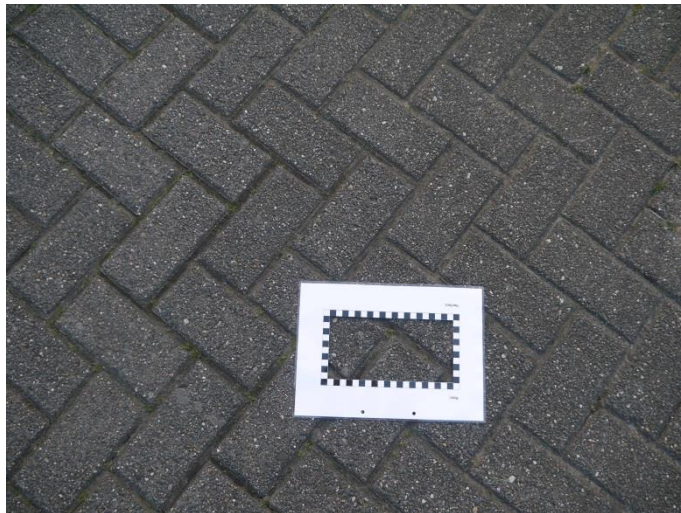
Wanneer de macrotextuur een periodiek patroon vertoont, bijvoorbeeld bij groeven loodrecht op de as van de weg, vertoont het spectrum van het rolgeluid één of meerdere zuivere tonen (tonaal geluid, zie Figuur 39). Dit typisch “jankend” lawaai wordt als extra hinderlijk ervaren. Om de hierdoor gegenereerde hinder uit te drukken, beschrijft men trouwens in de milieu-akoestiek het lawaai van een geluidsbron aan de hand van een geluidsindicator die wordt verhoogd met enkele dB(A) ten opzichte van degene die effectief wordt gemeten om het extra-hinderlijke karakter van een tonale bron in rekening te brengen. Hetzelfde fenomeen doet zich voor bij een bestrating waarbij voegen tussen betonstraatstenen loodrecht op de rijrichting georiënteerd zijn (Figuur 40). Een oplossing van dit probleem is het leggen van de betonstraatstenen in een visgraat- (Figuur 41) of keperverband (Figuur 42). Een schematische voorstelling van de meest courante straatsteenverbanden wordt gegeven in Figuur 43.



Figuur 39 - rolgeluidsspectrum met tonale, snelheidsafhankelijke componenten bij een transversaal gegroefd beton wegdek.



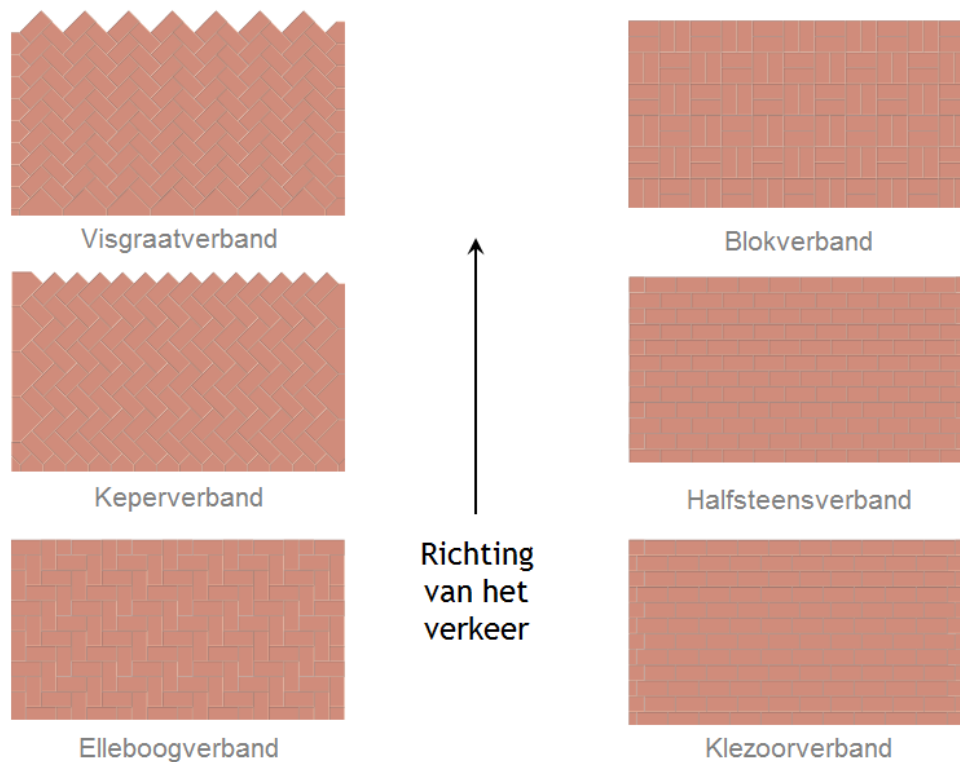
Figuur 40 - een transversaal gegroefd beton wegdek.



Figuur 41 - straatstenen in visgraatmotief.



Figuur 42 - straatstenen in keperverband.



Figuur 43 - courante straatsteenverbanden.

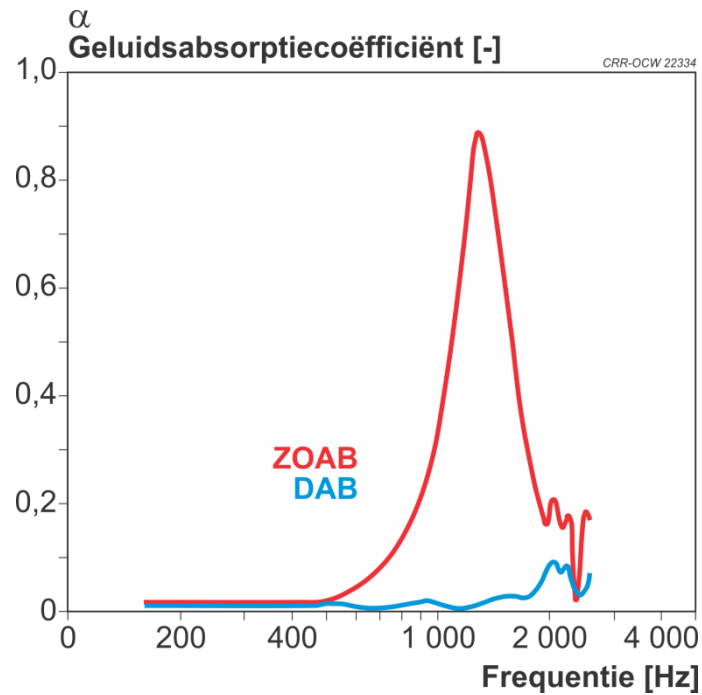
Wanneer er in het oppervlak putjes aanwezig zijn die tijdelijk helemaal afgesloten worden wanneer er een band over rolt (ook luchtzakken genoemd), krijgt men een versterking van het luchtpompen. Dit fenomeen doet zich normaliter alleen voor in de holtes van het profiel van de band. Een wegdek met luchtzakken is extra lawaaierig zonder dat dit aan de hand van het textuurspectrum kan voorspeld worden.

Indien er geen andere oneffenheden aanwezig zijn, is de maat van de grootste steentjes aan het oppervlak bepalend voor het rolgeluid. Met eenzelfde maat voor de grootste steentjes is het echter perfect mogelijk geheel verschillende texturen te creëren. Zoals al vermeld kan megatextuur ontstaan door een onregelmatige verdeling van de steentjes aan het oppervlak of wanneer een deel van deze steentjes losgekomen zijn door slijtage.

7.2.2. Absorptie van geluid

Het typische verloop van de geluidsabsorptiecoëfficiënt in functie van de frequentie wordt getoond in Figuur 44. De geluidsabsorptiecurves van een DAB en een ZOAB zijn weergegeven. De technologische variabelen waarvan a priori kan verwacht worden dat zij van belang zijn voor de geluidsabsorberende eigenschappen van een wegdek zijn^{xiii}:

- dikte van het wegdek
- percentage holtes
- de verdeling van de afmetingen van de steentjes, zand en vulmiddel
- aard en hoeveelheid van het bindmiddel

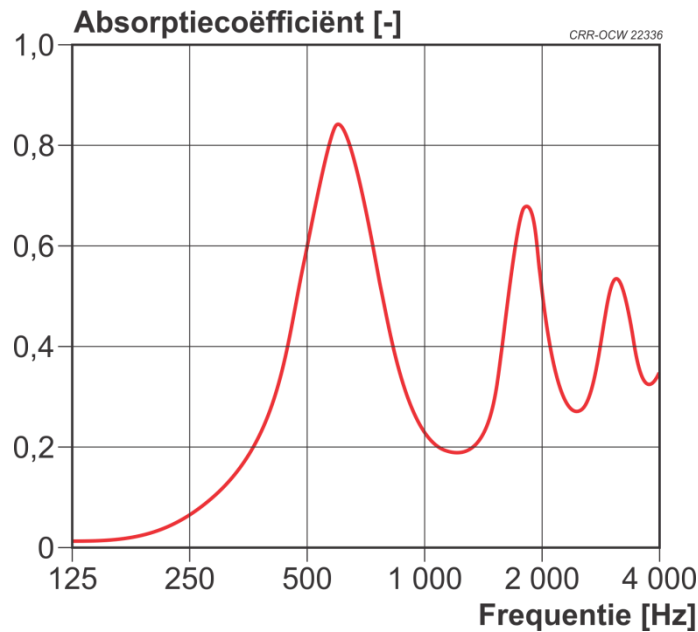


Figuur 44 - typische absorptiecurves van DAB en ZOAB.

Hoe dichter de absorptiecoëfficiënt bij 1 ligt, hoe hoger de geluidabsorptiecapaciteit van het wegdek in dat frequentiegebied. De horizontale positie, de hoogte en de breedte van de eerste absorptiepiek zijn van belang voor de absorptiecapaciteit. De positie van de piek is gerelateerd aan de dikte van de poreuze laag. De hoogte en de breedte van de piek zijn gerelateerd aan de korrelverdeling en het percentage holle ruimten.

Geluidsabsorptie is één van de verklaringen waarom zeer open asfaltbeton goed scoort op akoestisch gebied. Andere mogelijke verklaringen zijn de reductie van het luchtpompeffect, minder bandentrillingen door een betere oppervlakttextuur en andere. Er wordt getracht de geluidsabsorptie bij poreuze wegdekken te optimaliseren. Hierbij tracht men een maximale absorptie te verkrijgen in relevante delen van het geluidsspectrum.

De absorptiecurve voor ZOAB in Figuur 45 toont de typische opeenvolging van absorptiepieken en – dalen voor een granulair materiaal. Bij de optimalisatie tracht men de eerste absorptiepiek “af te stemmen” op de gewenste plaats in het spectrum. Dit is dan vooral het laagfrequente gebied van het voertuiglawaaispectrum (rond 500 Hz). Tevens wenst men uiteraard een zo hoog en zo breed mogelijke absorptiepiek.



Figuur 45 - pieken en dalen in een absorptiecurve van ZOAB.

Optimalisatie van ZOAB leidt tot de aanbeveling om steentjes met kleinere afmetingen aan te wenden, wat het wegdek minder doordringbaar maakt en op termijn dus gevoeliger voor verstopping van de holtes. Als antwoord hierop werd het dubbellaags ZOAB ontwikkeld, waarbij beide lagen samengesteld worden uit steentjes met verschillende afmetingen: de bovenlaag bestaat dan uit fijnere steentjes. Het dubbellaags ZOAB werd intussen met succes toegepast.

Vergelijking van geluidsspectra van voorbijrijdende auto's aan 120 km/uur op verschillende types wegdek (DAB 0/16 mm, enkellaags ZOAB 6/16 en 4/8 en dubbellaags ZOAB 4/8 op 6/16) toont aan dat de enkellaagse types ZOAB beiden een bijna constante reductie vertonen in het hoogfrequente gebied (630-4000 Hz) ten opzichte van het DAB, met rond 1250-2000 Hz een lichte inzinking, vermoedelijk te wijten aan de aanwezigheid van de primaire absorptiepiek op die plaats. De beide types vertonen een hogere lawaaiproductie in het laagfrequente gebied (piek 600-800 Hz) ten gevolge van een toegenomen megatextuur t.o.v. het DAB. Bij het dubbellaags ZOAB wordt dit extra lawaai door de megatextuur efficiënt geannuleerd door de primaire absorptiepiek die zich bij een lagere frequentie situeert dan bij het enkellaags ZOAB.

Dit betekent dat absorptie enkel een rol speelt indien de absorptiepiek goed gepositioneerd is (voldoende laagfrequent). Indien dit niet het geval is, speelt absorptie een marginale rol en kan de lawaaireductie door het ZOAB worden toegeschreven aan het voorkomen van het pompen van lucht door de banden. Bij een poreus wegdek kan de lucht immers verticaal zijn weg zoeken door de holtes zonder te worden samengedrukt en weer (lawaaierig) te ontsnappen. Bij een niet-poreus wegdek maar met voldoende macrottextuur kan de lucht horizontaal ontsnappen en treedt het pompen van lucht evenmin op.

In Nederland wordt éénlaags ZOAB algemeen toegepast op autosnelwegen. Waar extra geluidreductie vereist is, gebruikt men dubbellaags ZOAB. ZOAB is geschikt voor wegen waar aan hogere snelheid wordt gereden. Daar treedt een zelfreinigend effect op door de voertuigen die bij regenweer aan hogere snelheid over het wegdek rijden en wordt de verstopping van de holtes en de daarmee gepaard gaande vermindering van geluidreductie vertraagd. Een extra voordeel van dit wegdek is de vermindering van opspattend vocht en de verbetering van de zichtbaarheid bij regenweer.

Een ander type wegdek waarbij soms wordt ingespeeld op geluidabsorptie, zijn open dunne deklagen.

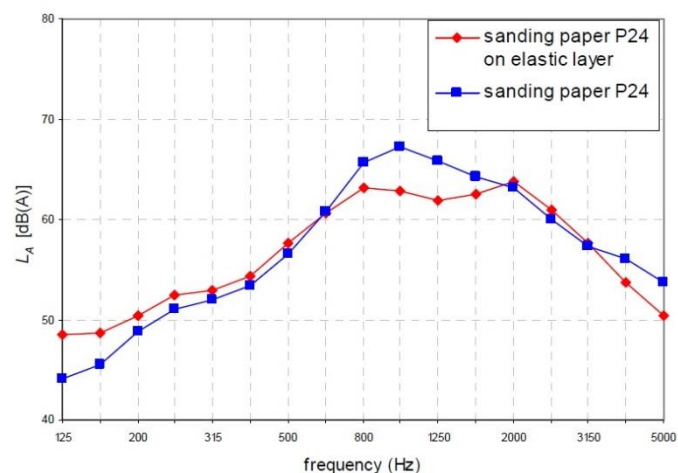
Voor meer info, zie bv ^{xiv}

7.2.3. Mechanische impedantie van het wegdek

De idee werd geopperd dat mogelijk ook de mechanische impedantie (gerelateerd met de stijfheid) van de weg een factor zou kunnen zijn die de lawaaiigheid van een wegdek beïnvloedt. De impedantie wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de uitgeoefende kracht op de veroorzaakte snelheid van de verplaatsing.

Proeven met experimentele soorten asfaltbeton waarbij een deel van de steentjes werd vervangen door rubberkorrels of waarin rubberpoeder werd gemengd, toonden slechts een beperkte geluidreductie van hooguit 1 à 2 dB(A) aan.

Bij onderzoek^{xv} op de Sperenberg testsite in Duitsland werden twee oppervlakken met dezelfde textuur en verschillende mechanische impedantie geconstrueerd: schuurpapier gelijmd op een asfaltbeton en op een elastische laag. Coast-by geluidmetingen werden uitgevoerd bij verschillende snelheden en met verscheidene banden. In de grafiek van de gemiddelde geluidspectra (zie Figuur 46) is een duidelijk verschil te zien tussen 630 en 1600 Hz. Deze geluidreductie wordt duidelijk veroorzaakt door de elasticiteit^{xvi}.



Figuur 46 - de invloed van elasticiteit op het rolgeluid.

Bij wegdekken met rubber als belangrijkste bestanddeel, zoals de zogenaamde poro-elastische wegdekken, wordt eveneens een aanzienlijke lawaaiereductie gemeten ^{xi}. Het O.C.W. leidt een Europees onderzoeksproject, PERSUADE^{xvii}, met als doel de ontwikkeling van het poro-elastische wegdek. Dit experimentele wegdek bestaat uit rubberkorrels en steentjes, gebonden met een elastisch kunsthar. Eerdere tests, vooral in Zweden en Japan, hebben aangetoond dat met dit wegdek extreme geluidreducties, ca. 10 dB(A), kunnen worden gehaald. Het onderzoek spitst zich toe op het ontwikkelen van een type wegdek dat voldoende duurzaam en veilig is. In het kader van het project werden er proefvakken aangelegd in Denemarken, Zweden, Slovenië en België. Daar werd een geluidreductie van ca. 8 tot 10 dB(A) gemeten t.o.v. dicht asfaltbeton. De proefvakken worden nauw opgevolgd om meer informatie te vergaren over de duurzaamheid. Aangezien ze veel duurder zijn dan traditionele wegdekken, zouden ze eerder aangewend kunnen worden als alternatief voor geluidschermen, op plaatsen waar er een probleem heerst rond verkeerslawaai, op

voorwaarde dat de duurzaamheid voldoende verbeterd wordt. Toepassing van dit type wegdek zou significant kunnen bijdragen tot een uitstekend akoestisch klimaat in de steden van de toekomst.

Er bestaat nog geen norm die een meetmethode beschrijft voor het meten van mechanische impedantie. Er zijn wel al verschillende meetopstellingen op de markt, zowel statische als dynamische. De meest eenvoudige bestaat eruit met een hamer een zekere impact uit te oefenen op het wegdek, terwijl een impedantiekop de kracht opmeet op de locatie van de impact en een accelerometer op een bepaalde afstand de trilling registreert.

7.2.4. Nat wegdek

De aanwezigheid van water op het wegdek kan een aanzienlijke invloed hebben op de lawaaiproductie.

Een studie toont aan dat water op het wegdek een grotere toename van het lawaai bij lagere snelheden veroorzaakt dan bij grotere. De hoeveelheid water op het poreuze wegdek speelt nauwelijks een rol.

Bij een poreus oppervlak vond men bij een andere studie een verandering van de absorptiekenmerken. De absorptiepiek verschuift naar de lage frequenties en wordt minder hoog bij een toenemende hoeveelheid water in de holtes.

De invloed van het wegdek werd ook onderzocht door het O.C.W. Hieruit blijkt dat de invloed van water op het wegdek op de lawaaiproductie sterk afhankelijk is van de textuur van het wegdek. Bij gegroefd cementbeton of ZOAB blijkt water nauwelijks voor een verhoging van het geluidsniveau te zorgen. Dit in tegenstelling tot het DAB, dat een aanzienlijke verhoging van de lawaaiproductie vertoont. Bij regenweer wordt DAB even lawaaiër als het (ook al onder droge omstandigheden) zeer lawaaiërige gegroefde beton.

Sandberg en Ejsmont^{xviii} geven benaderend de invloed van vochtigheid op DAB in functie van de hoeveelheid water op het wegdek en de snelheid van het voertuig (Tabel 1).

Tabel 1 :

Hoeveel water op wegdek	0-60 km/uur	61-80 km/uur	81-130 km/uur
Droog	referentie	referentie	referentie
Vochtig (motregen)	+ 2 dB(A)	+ 1 dB(A)	+ 0 dB(A)
Nat (matige regen)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)	+ 2 dB(A)
Nat (Hevige regen)	+ 6 dB(A)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)

Zie ook ^{xix}

7.2.5. Oneffenheden ten gevolge van “vreemde elementen” in het wegdek

PUTDEKSELS

“Vreemde” elementen in een wegdek zoals deksels van rioolputten e.d. zijn niet zelden een lokale onvlakheid (Figuur 47) en hierdoor een lawaaibron. Het is zaak om bij de aanleg van de toplaag de nodige zorg te besteden, zodat het bovenzvlak van deze vreemde elementen een perfect vlak vormt met de rest van het wegdek. In het project SILENCE voerde men metingen uit op verschillende putdeksels^{xx}. De opgemeten geluidtoename bij snelheden tot 60 km/u was 1 tot 5 dB(A). Er dient de voorkeur gegeven te worden aan een fijne textuur voor het putdeksel (zie Figuur 48). Slecht ingewerkte putdeksels zijn absoluut te vermijden.



Figuur 47 - megatextuur door een slecht ingewerkt putdeksel met een ongunstige textuur



Figuur 48 - putdeksel met fijne textuur zonder onvlakheid.

VERLUCHTINGSROOSTER

Een ander voorbeeld van een vreemd element is een verluchttingsrooster van bijvoorbeeld de metro. Een dergelijk rooster vertoont dikwijls een regelmatige structuur waardoor erover rijdend verkeer een hinderlijk, “zingend” geluid voortbrengt, net zoals dit het geval is bij b.v. gegroefd beton. Het verdient aanbeveling de nodige voorzorgen te nemen bij de inplanting van deze roosters om overmatige hinder voor de omwonenden te voorkomen.

TRAMSPOREN

Tramsporen op kruispunten kunnen ook een extra geluidbron betekenen. De beste manier om dit geluid te vermijden is ze onder een hoek van 45° te plaatsen ten opzichte van de rijrichting. De toename in geluid kan oplopen tot 10 dB(A) bij 70 km/u wanneer het tramspoor loodrecht op de rijrichting ligt. Bij typische snelheden in de stad van 30 tot 60 km/u werden er geluidtoenames van 2 tot 9 dB(A) gemeten in het project SILENCE^{xxi}. Er zijn echter allerhande systemen op de markt voor het bekomen van geluid- en trillingdemping bij trambanen (reeds toegepast door De Lijn en STIB-MIVB). Het verschil in geluidproductie tussen een slecht afgewerkt of versleten wegdek langs tramsporen en een goede aansluiting tussen wegdek en tramsporen dankzij een rubberdichting kan oplopen van 2 to 4 dB(A) (zie Figuur 49 en Figuur 50).



Figuur 49 - slecht ingewerkt tramspoor.



Figuur 50 - goed ingewerkt tramspoor met rubber dichting.

VERKEERSDREMPELS

Verkeersdrempels veroorzaken extra geluid. Bij een steile drempel of een drempel met ruwe textuur kan de toename van geluid oplopen met 8 tot 10 dB(A). Wanneer er geopteerd wordt voor een niet te steile drempel met een goede textuur neemt het geluid toe met ca. 1 dB(A) bij snelheden kleiner dan 40 km/u en met 2 à 3 dB(A) bij snelheden groter dan 40 km/u.

Wanneer de verkeersdrempels niet worden aangelegd volgens de voorschriften (bv. niet hoog genoeg), kan het zijn dat ze hun snelheidsvertragend effect missen. Bovendien kunnen verkeersdrempels en rijbaankussens hinderlijke trillingen met zich meebrengen voor de omwonenden (bv. zijkant te hoog wat zorgt voor een grotere impact wanneer er wordt over gereden of zijkant net niet hoog genoeg waardoor het verkeer niet vertraagt en de impact alweer groter is). Het gaat om een heel delicate materie.

Er dient steeds een doordachte keuze gemaakt te worden wanneer snelheidsremmende maatregelen overwogen worden, die rekening houdt met het type verkeer dat erover rijdt (bv. personenwagens, vrachtverkeer, bussen, ...).

7.3. Fysische fenomenen bij het ontstaan van rolgeluid^{xxii}

De diverse fysische fenomenen die lawaai produceren en/of versterken wanneer een band over een wegdek rolt, werden reeds besproken in fiche 4. Hieronder worden zij nog eens kort op een rij gezet.

7.3.1. Bandentrillingen

Bandentrillingen genereren lawaai in het laagfrequent gebied (500 tot 1000 Hz) en worden veroorzaakt door wegdekoneffenheden met golflengten die vergelijkbaar zijn met de afmetingen van de contactzone band-wegdek (50 -100 mm). Deze golflengten situeren zich in het eerder gedefinieerde megatextuurgebied. Hoe groter de amplitude van de megatextuur, des te hoger het geproduceerde geluidsniveau.

Belangrijk is aan te stippen dat de bandentrillingen via de ophanging de wanden en het luchtvolume van het passagierscompartiment van het voertuig aan het trillen brengen. Het lawaai in de auto wordt grotendeels bepaald door de aanwezigheid van megatextuur op het wegdek.

Eén van de verklaringen waarom rijden over bijvoorbeeld ZOAB relatief weinig lawaai maakt, is de geringe aanwezigheid van megatextuur. Bij de aanleg, wanneer het asfaltmegsel nog warm is, kunnen de steentjes nog relatief gemakkelijk bewegen. Door het rollen over het hete oppervlak worden de steentjes aan het oppervlak met hun vlakste kant naar boven gepositioneerd, wat leidt tot een vlak oppervlak met weinig megatextuur.

7.3.2. Pompen van lucht

Interactie van het loopvlak met het wegdek omvat een aantal complexe fenomenen zoals het samendrukken en vervolgens ontsnappen van lucht in holtes in het bandenpatroon. Dit is het eerder al besproken “pompen van lucht”. Dit fenomeen veroorzaakt lawaai met frequenties tussen de 1000 en 1500 Hz. Het kan worden tegengegaan door het aanbrengen van macrottextuur op het wegdek (horizontale evacuatie van de lucht die “dreigt” samengedrukt te worden) of door het aanwenden van een poreus wegdek (verticale evacuatie van de lucht, zoals bij ZOAB).

7.3.3. Plakken-en-slippen en Plakken-en-loslaten

Deze twee fenomenen produceren eveneens lawaai in het frequentiegebied tussen 1000 en 1500 Hz. Beide fenomenen treden op aan de voor- en achterzijde van het contactvlak band-wegdek waar de blokjes van het bandenpatroon tangentieel aan het trillen worden gebracht.

Het lawaai van het pompen van lucht, het plakken-en-slippen en het plakken-en-loslaten kunnen binnen in het voertuig worden waargenomen, maar beïnvloeden er het geluidsdrukniveau niet significant.

7.3.4. Hoorneffect

De amplitude en de directiviteit van het hoogfrequent geluid worden beïnvloed door herhaalde reflecties in de luchtwig (of “hoorn”) gevormd door het wegdek en het loopvlak van de band. Het hoorneffect kan worden tegengegaan door een wegdek aan te brengen met een goede absorptie in het relevante frequentiegebied.

7.3.5. Wegslingeren van waterdruppeltjes

Op een nat wegdek wordt bijkomend lawaai geproduceerd in het frequentiegebied boven de 1000 Hz, waarbij de toename van het geluidsdrukniveau onafhankelijk is van de hoeveelheid water. Het extra lawaai wordt veroorzaakt door het wegslingeren van waterdruppeltjes (zie ook “nat wegdek” in 7.2.1.).

7.4. Relevante methoden om het lawaai te meten

Geluidshinder veroorzaakt door wegverkeer is een complex probleem. Het geluidsniveau wordt beïnvloed door twee belangrijke factoren (zie fiche 4):

1. geluidsvermogen van de voertuigen met zijn spectrum en directiviteit. Dit hangt op zijn beurt af van:

- het voertuigtype
- de rijomstandigheden
- de eigenschappen van de weg

2. de voortplanting van de bron naar de ontvanger

- afstand bron – ontvanger
- aanwezigheid van obstakels
- aard van het terrein
- aanwezigheid van reflecterende oppervlakken
- meteo-condities.

Voor wat betreft de specifieke invloed van het wegdek op de vermelde fenomenen, moet het volgende in gedachten worden gehouden:

- het verband tussen megatextuur en rolgeluid
- vermindering van rolgeluid door absorptie (vermindering hoorneffect)
- vermindering door absorptie van het geluidsniveau van andere lawaaibronnen aan het voertuig (uitlaat, luchtinlaat,...)
- meervoudige reflecties van geluid tussen de onderzijde van het voertuig en het wegdek

De verschillende methoden om diverse aspecten van voorgaande elementen te meten zijn de volgende:

7.4.1. Meting van het omgevingsgeluid

Om de geluidshinder die omwonenden van verkeerswegen effectief ondervinden te kunnen beoordelen, kan men opteren om metingen uit te voeren op de immissieplaats⁷. Veel landen hebben hun eigen standaardmethode hoe deze metingen moeten worden uitgevoerd^{xxiii}. Als beoordelingsgrootte is het gebruik van de $L_{Aeq,T}$ wijd verspreid. De referentieperiode (dagperiode, nachtperiode, week,...) en de meetplaats (binnen, aan de gevel, in het vrije veld) verschillen echter van methode tot methode. Bij het uitvoeren van dergelijke metingen is het van groot belang één norm te volgen, teneinde de resultaten van de metingen te kunnen toetsen aan een bepaalde richtwaarde of norm.

De strijd tegen het wegverkeerslawaai is al geruime tijd een prioriteit voor de Europese Unie, wat onder meer resulteerde in de Europese Richtlijn Omgevingslawaai^{xxiv} van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai. Hierin worden de lidstaten verplicht tot het opmaken van geluidsbelastingskaarten o.a. voor de omgeving van belangrijke verkeersassen en in grote agglomeraties. Om de geluidshinder in probleemgebieden aan te pakken, moeten er vervolgens actieplannen worden opgesteld. In deze Europese Geluidrichtlijn worden ook een aantal geluidindicatoren gedefinieerd. Deze dienen gebruikt te worden voor de geluidbelastingskaarten en actieplannen. De twee voornaamste indicatoren zijn:

1. L_{den} ; de dag-avond-nacht-geluidbelastingsindicator om geluidshinder te evalueren tijdens de etmaalperiode
2. L_{night} : de nacht-geluidbelastingsindicator om slaapverstoringen tijdens de nachtperiode te evalueren

7.4.2. Meting van het totale voertuiglawaai

De meest gebruikte methode is deze beschreven in een paar ISO-normen^{xxv}. De beoordelingsparameter en dus ook het gemeten geluidsniveau is het A-gewogen maximumgeluidsniveau L_{Amax} dat wordt gemeten bij de passage van een voertuig onder welbepaalde rijomstandigheden: er wordt gemeten met de voertuigen in maximale acceleratie en bij een versnelling die voorgeschreven is in functie van het type transmissie en het voertuigtype. Deze ISO-norm wordt gebruikt bij de typekeuring van motorvoertuigen in de E.U. en ligt aan de basis van gelijkaardige standaarden in de V.S. en Japan.

De filosofie van de ISO-norm is om de lawaaiigheid van het voertuig te meten; daarom tracht men de bijdrage van de rolgeluiden te minimaliseren. Hiertoe wordt voorgeschreven dat het testvoertuig moet rijden op een strook met welbepaalde karakteristieken (zoals vastgelegd in^{xxvi}).

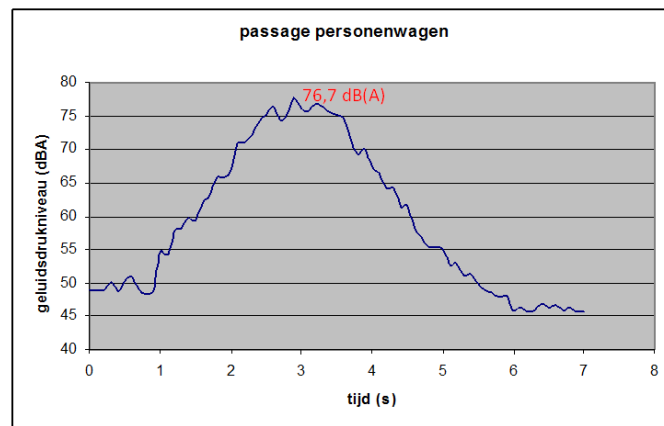
7.4.3. Meting van de lawaaiigheid van een wegdek

STATISTICAL PASS-BY (SPB)^{xxvii}

Bij deze methode wordt het A-gewogen maximumgeluidsdrukkniveau (L_{Amax}) gemeten bij de passage van een voertuig vóór de microfoon. De microfoon bevindt zich op 7,5 m van de as van de rijstrook waarop het voertuig rijdt en op een hoogte van 1,2 m hoogte (Figuur 51). Het typisch verloop van het geluidsdrukkniveau dat door de microfoon wordt geregistreerd wordt getoond in Figuur 52.

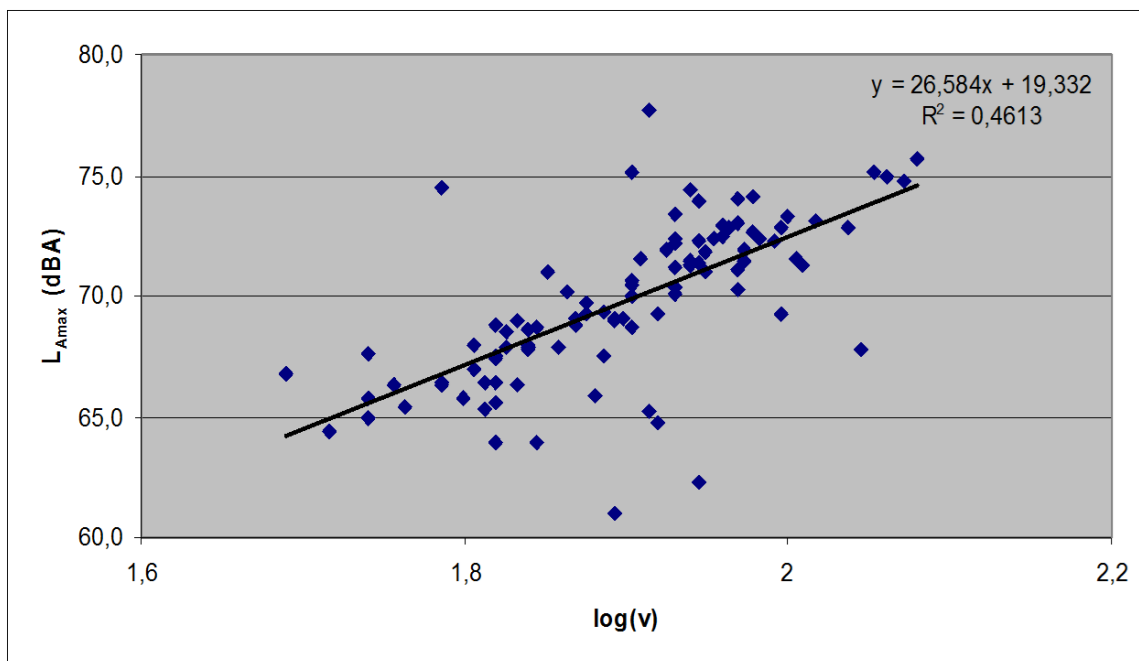


Figuur 51 - meetopstelling voor een statistical pass by meting (SPB).



Figuur 52 - typisch verloop van het geluidsniveau bij passage van een auto.

Er dient een bepaald aantal toevallig voorbijrijdende voertuigen geregistreerd te worden, die deel uitmaken van een ongestoorde verkeersstroom. De snelheid van de bemonsterde voertuigen wordt gemeten met een radartachometer. Er worden voldoende voertuigen bemonsterd om een aanvaardbare statistische nauwkeurigheid te bereiken. De gemeten koppels $(\log(v_i), L_{Amax,i})$ worden uitgezet in een grafiek (Figuur 53). Een regressielijn levert dan voor iedere snelheid de gemiddelde L_{Amax} .



Figuur 53 - maximum geluidsniveau in functie van de logaritme van de snelheid.

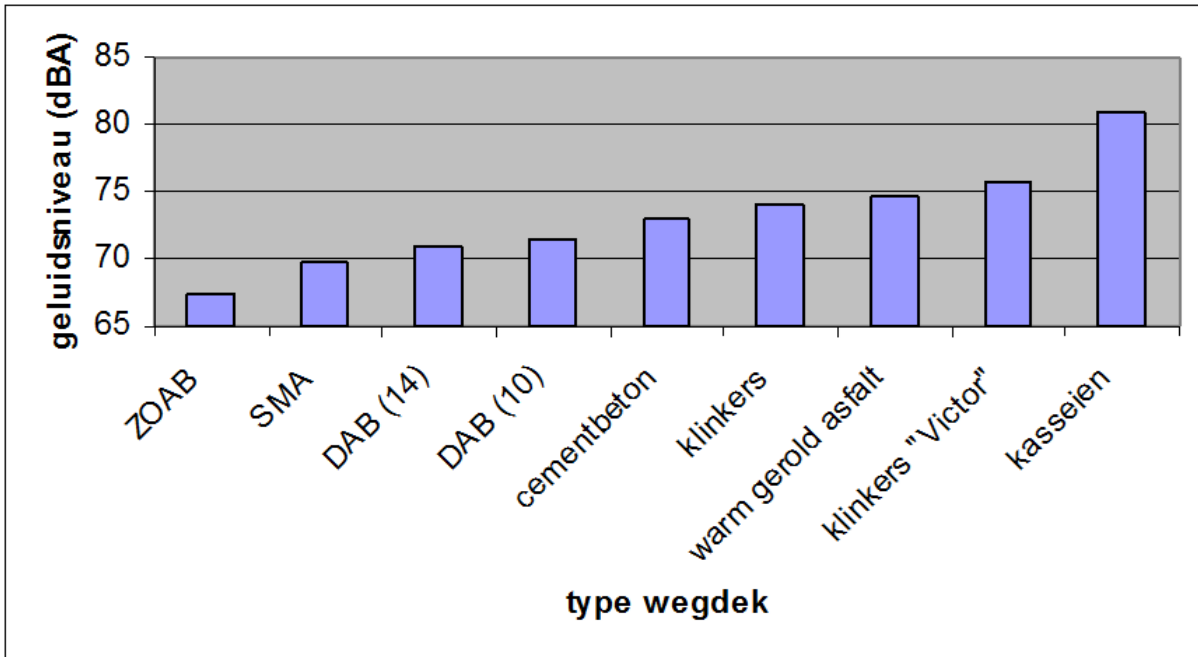
De te bemonsteren voertuigen worden opgedeeld in drie categorieën: auto's, zware voertuigen met 2 assen en zware voertuigen met meer dan 2 assen. Voor elk van deze drie categorieën wordt een minimum aantal te bemonsteren voertuigen voorzien en wordt een $(\log(v_i), L_{Amax,i})$ -grafiek opgesteld. Er wordt dan een gewogen gemiddelde berekend van drie gemiddelde L_{Amax} -waarden die werden bekomen bij referentiesnelheden die typisch zijn voor de voertuigcategorie op de beschouwde weg (L_{veh}). Men bekomt op die manier een globale SPBI-waarde voor de weg. Deze SPBI-waarden kunnen dan worden gebruikt om de akoestische kwaliteit van verschillende wegdekken met elkaar te vergelijken.

CONTROLLED PASS-BY (CPB)

De CPB-methode is een variant van de SPB-methode. Er wordt gebruik gemaakt van een voertuig waarvan de karakteristieken gekend zijn en dat als referentievoertuig moet dienen, vandaar de benaming "gecontroleerd". Afhankelijk van het doel van de metingen kunnen de testomstandigheden sterk variëren. Het voertuig kan met constante snelheid en draaiende motor voor de microfoon passeren (in het Engels aangeduid met "cruising by"), maar de motor kan ook worden uitgeschakeld net voor men langs de microfoon rijdt ("coasting by"). In dit laatste geval meet men uitsluitend het rolgeluid, in het eerste geval het totale geluid van het voertuig. Men kan het wegdek nat maken om de invloed hiervan te bestuderen e.d. Men kan de voertuigsnelheid uitkiezen. Bij de vergelijking van CPB-metresultaten van verschillende wegdekken uitgevoerd bij verschillende voertuigsnelheden dient men uiteraard te compenseren voor de eventuele snelheidsverschillen.

Verschiedende methodes werden voorgesteld, maar er is geen ISO-norm die de CPB-methode vastlegt. Vergelijken van resultaten die werden bekomen volgens de CPB-methode moet dan ook steeds met de nodige omzichtigheid gebeuren.

Metingen van de wegdektypes van het BHG in het kader van vermelde studie (zie 7.1.3) gebeurden bij de snelheden 30, 50 en 70 km/uur. De resultaten worden weergegeven in Figuur 54.



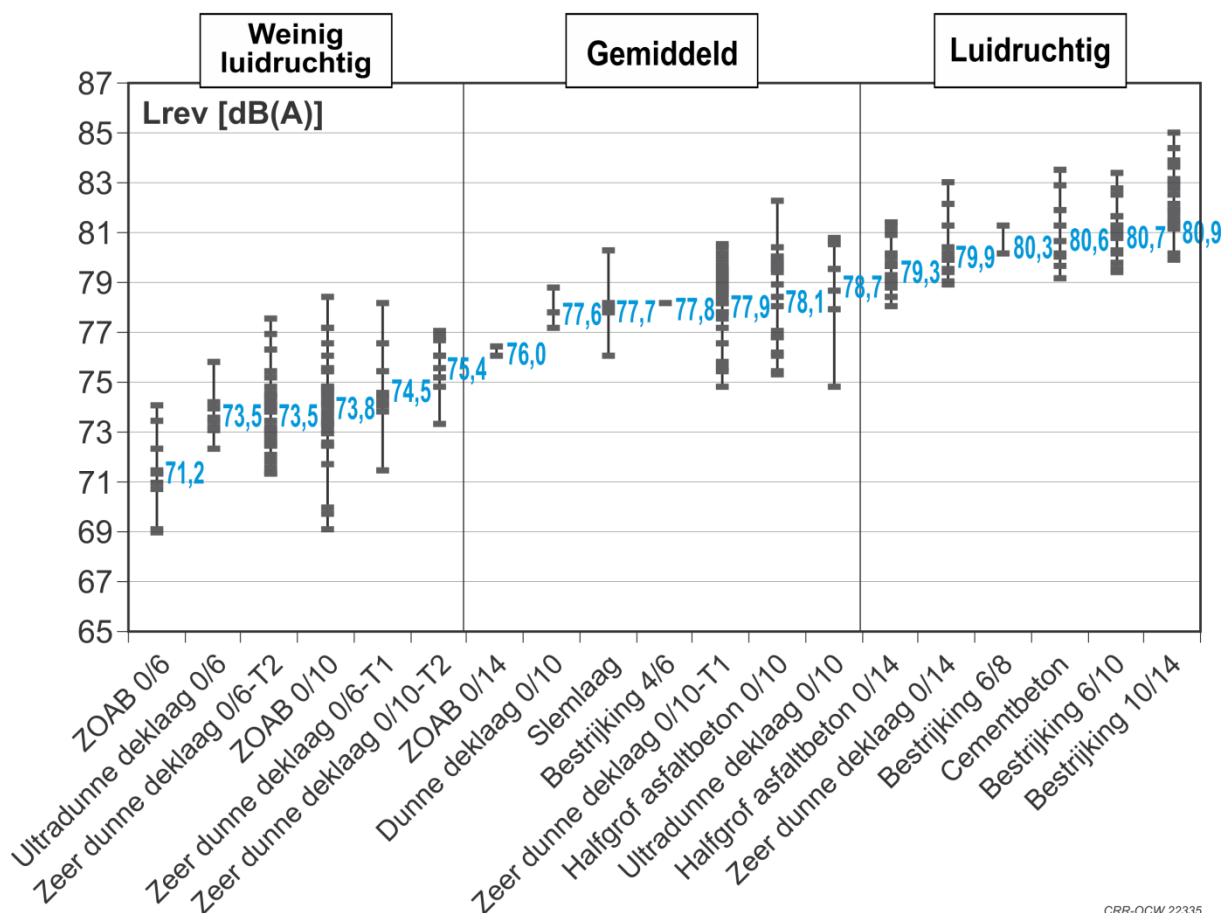
Figuur 54 - resultaten van een CPB meetcampagne op een aantal typische wegdektypes in Brussel.

Uit de metingen blijkt duidelijk dat de bestratingen (kasseien en betonstraatstenen) het lawaaiërgst zijn ten gevolge van de sterke megatextuur die bij deze types wegdekken prominent aanwezig is en die sterke bandentrillingen veroorzaakt. Door de onregelmatige verdeling van de aggregaten aan het oppervlak van het begrind asfalt ontstaat er eveneens een niet te verwaarlozen megatextuur. Dit verklaart het feit dat begrind asfalt nagenoeg even lawaaiërig is als de beide bestratingen. Het cementbeton en de types DAB zijn iets minder lawaaiërig maar door hun gebrek aan macrotextuur is het luchtpompeffect belangrijk. Het ZOAB blijkt de stilste van de in het BHG onderzochte types wegdekken te zijn.

Figuur 55 geeft de resultaten van 255 CPB-metingen met personenwagens bij een snelheid van 90 km/uur, uitgevoerd op alle wegdektypes die in Frankrijk in gebruik zijn.

Men bemerkt dat ZOAB met kleine aggregaat maten 0/6 en 0/10 hier de beste resultaten geven, terwijl cementbeton en asfaltbeton en dunne lagen met grote aggregaat maten (0/14) de meest lawaaiërige blijken te zijn.

255 gemeten geïsoleerde voertuigen / LV
(temperatuur: 20 °C, snelheid 90 km/u)



CRR-OCW 22335

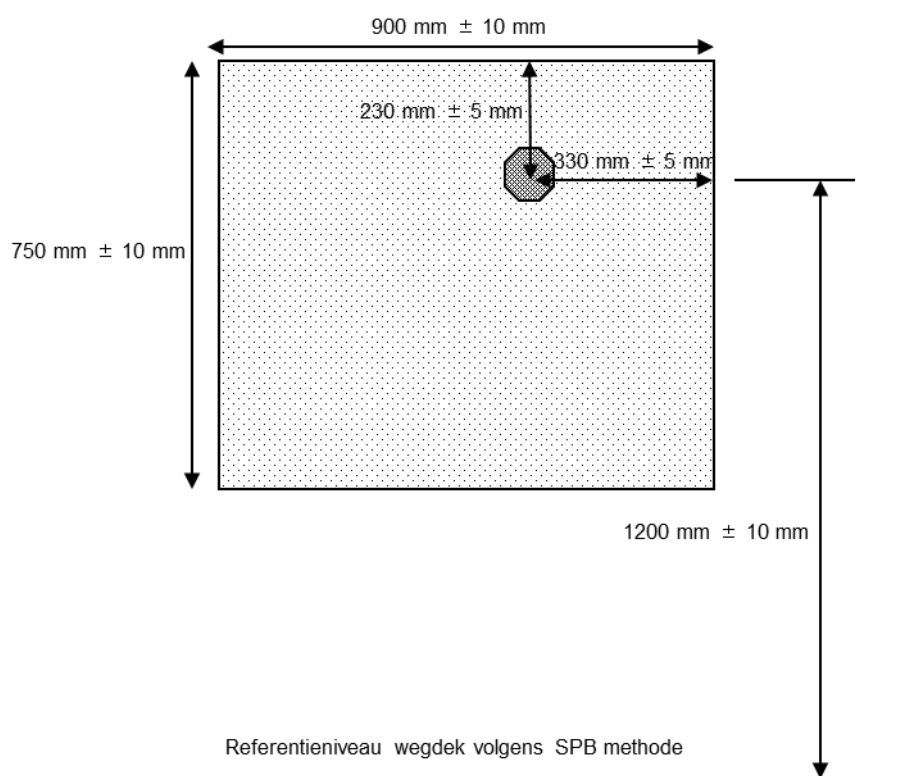
Figuur 55 - resultaten van CPB metingen op een groot aantal wegdekken in Frankrijk.

BACKING BOARD (BB)

Een probleem bij de SPB-methode is dat de omgeving van de meting vrij moet zijn van storende (geluidsreflecterende) objecten. Bij de backing board-methode wordt de SPB-methode toegepast waarbij een plaat wordt geplaatst achter de microfoon (zie Figuur 56). De afmetingen van de plaat en de positie van de microfoon worden weergegeven in Figuur 57. Door deze plaat wordt de invloed van het geluid komende van de achterkant (zoals geluidsreflecties door gebouwen) geëlimineerd. Het geluid komende van de voorkant wordt op gecontroleerde wijze gereflecteerd door de plaat. Het gemeten geluidsniveau stijgt 6 dB(A) door het verdubbelen van de geluidsdruk. Op het resultaat van de analyse wordt dus een correctiefactor toegepast. De methode wordt beschreven in^{xxviii}.



Figuur 56 - een backing board



Figuur 57 - voorgeschreven afmetingen van een backing board.

CLOSE PROXIMITY (CPX)^{xxix}

Bij deze methode stelt men microfoons op dicht bij de band van een wiel dat men over het te testen oppervlak laat rijden. In tegenstelling tot de hierboven beschreven methodes CPB en SPB, waarbij gemeten wordt in het “verre veld”, wordt hier gemeten in het “nabije veld”. Dit wiel kan ofwel verwerkt zitten in een speciaal voor dit doel ontworpen aanhangwagen (Figuur 58), ofwel gewoon deel uitmaken van het testvoertuig. De microfoons worden op een twintigtal cm van de zijkant van de band geplaatst (zie Figuur 59). Bij deze methode moet men de allergrootste zorg besteden om te vermijden dat de meting wordt verstoord door lawaai afkomstig van luchturbulenties, de trailer, de motor of uitlaat van het testvoertuig enz.



Figuur 58 - foto buitenkant van de O.C.W. CPX aanhangwagen.



Figuur 59 - foto binnenkant van de O.C.W. CPX aanhangwagen.

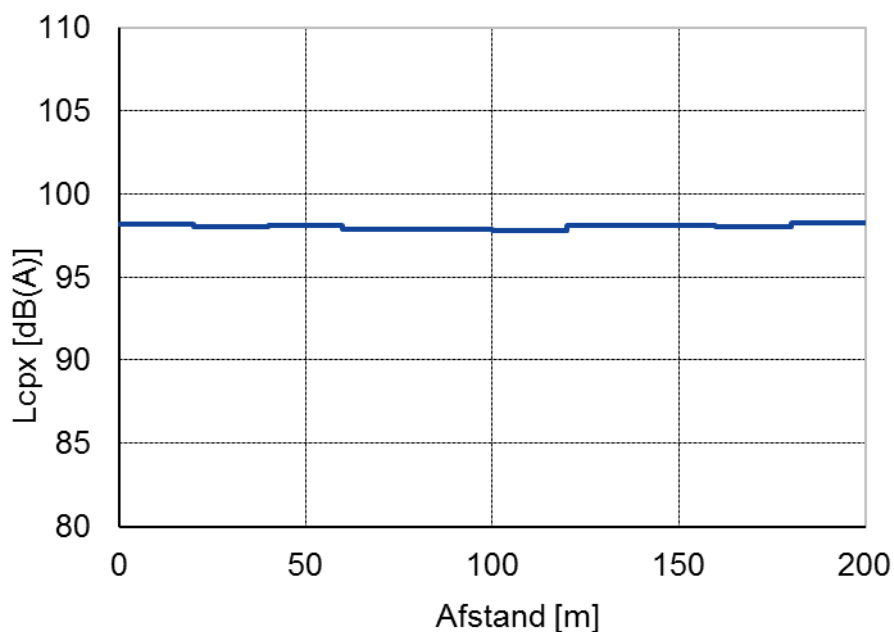
Specificaties omtrent deze methode werden eveneens vastgelegd in een ISO-norm in het bijzonder ook de microfoonposities. Deze blijken immers een grote invloed uit te oefenen op de meetresultaten.

Met de CPX meetaanhangwagen wordt over het te meten wegvak gereden aan een referentiesnelheid van 50 of 80 km/uur. De metingen worden uitgevoerd met twee soorten referentiebanden, de P1 band (SRTT) en de H1 band (AVON AV4), respectievelijk kenmerkend voor personenwagen- en vrachtwagenbanden (zie Figuur 60: links H1; rechts P1). Een technische specificatie over deze referentiebanden is momenteel in de maak^{xxx}.



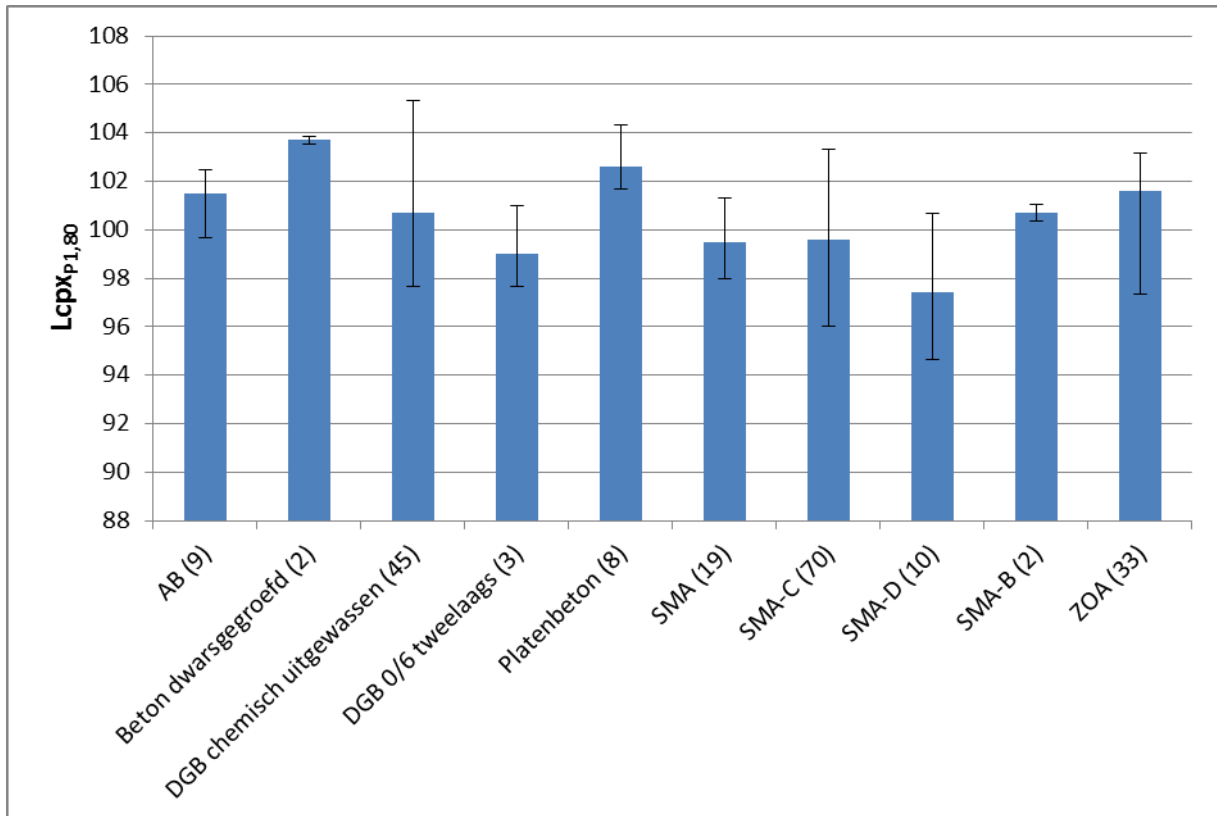
Figuur 60 - SRTT- en Avon AV4-meetbanden.

Als resultaat kan het geluidsniveau per 20 meter weglengte en het spectrum in tertsbanden van het totaal opgemeten wegvak weergegeven worden. De meetmethode geeft dus ook een beeld van de homogeniteit van het wegdek over de lengte. In Figuur 61 wordt het resultaat van een CPX-meting weergegeven van een SMA-C van twee jaar oud (maximale korrelgrootte 10 mm) over een lengte van 200 m gemeten met P1 band bij 80 km/u (met dank aan het Agentschap Wegen & Verkeer).



Figuur 61 - CPX-geluidsniveau per 20 m weglengte.

CPX-meetresultaten op enkele typisch Belgische wegverhardingen worden weergegeven in Figuur 62^{xxxi}. Het betreft metingen met P1 band bij 80 km/u. Het aantal metingen waarop de gemiddelde waarde is gebaseerd wordt weergegeven tussen haakjes na de benaming van de wegverharding. De foutenvlaggen geven de minimum en maximum geluidniveaus weer die werden gemeten bij de meetcampagne. Er dient opgemerkt te worden dat er een grote variatie in loudheid aanwezig is, bv. bij chemisch uitgewassen doorgaand beton (DGB), SMA's en ZOA. Dit duidt erop dat de uitvoering cruciaal is voor het bekomen van een aanvaardbare akoestische kwaliteit, alsook dat de ouderdom van de wegverharding een grote impact heeft op de akoestische kwaliteit.



Figuur 62 - resultaten van een CPX meetcampagne op een aantal typische wegdekken in het Vlaams Gewest.

Men merkt op dat de absolute waarden van de CPX-metingen niet vergeleken kunnen worden met de absolute waarden van de SPB- of CPB-metingen. De CPX-metingen omvatten enkel het lawaai afkomstig van de band-wegdekinteractie, terwijl de CPB-metingen het volledige voertuiglawaai in rekening brengen. De CPX-methode ondervindt minder invloed van de absorberende eigenschappen van het wegdek. De SPB-methode wordt beïnvloed door absorptie- en propagatie-effecten.

TROMMEL-METHODE

Een testband wordt gemonteerd zodat hij rolt op de binnen- of buitenzijde van een draaiende trommel die opgesteld staat in het laboratorium. De trommel van de Technische Universiteit in Gdansk heeft een diameter van 2 m en de band bevindt zich aan de buitenkant van de trommel (zie Figuur 63). Het Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt) in Duitsland heeft bijvoorbeeld een trommel met een diameter van 5.5 m waarbij de band zich aan de binnenkant bevindt (Figuur 64). De gekozen zijde wordt dan bekleed met het te bestuderen type wegbekleding. Er worden in de onmiddellijke nabijheid van de band microfoons opgesteld zoals bij de CPX-methode. De trommel-methode is dus ook een nabije-veldmethode. Men dient er bij deze methode voor te zorgen dat de meting niet beïnvloed wordt door stoorgeluiden afkomstig van de installatie of van galmgeluiden.



Figuur 63 - trommel BAST.



Figuur 64 - trommel TUG.

VERGELIJKING VAN DE NABIJE-VELD- EN DE VERRE-VELDMETHODES

De nabije veldmethodes (CPX) hebben onmiskenbaar een aantal voordelen in vergelijking met de verre veldmethodes (SPB, CPB, BB). Nabije veldmethodes kunnen worden aangewend in een stedelijke omgeving, in tegenstelling tot de verre veldmethodes (wegens de aanwezigheid van reflecterende oppervlakken zoals gevels e.d.). Met nabije veldmethodes kan ook een weg over een grotere lengte worden bemonsterd, dit in tegenstelling tot de verre veldmethodes waarbij per meetpunt slechts lawaai afkomstig van een kort stukje weg (vóór de microfoon) wordt gemeten. De verre veldmethodes zijn bovendien veel tijdrovender.

Anderzijds dient opgemerkt dat de verre veldmethodes het lawaai meten waar het waargenomen wordt door de personen die eraan worden bloot genesteld. Ook kunnen verschillende voertuigcategorieën bemonsterd en statistisch geanalyseerd worden. In tegenstelling tot de nabije veldmethodes wordt het totale voertuiggeluid gemeten (en niet enkel rolgeluid). Eventuele absorptie en reflectie door het wegdek worden in rekening gebracht.

De bovenstaande verschillen tussen beide benaderingen maken het moeilijk om uit de resultaten van een nabije veldmethode waarden voor het verre veld af te leiden en vice versa. Uit experimenten blijkt dat het verschil tussen nabije veld- en verre veldmethodes afhankelijk is van de voertuigsnelheid en het bandentype. De verschillen zijn sterk frequentieafhankelijk en afhankelijk van de absorptie door het oppervlak tussen voertuig en SPB microfoonpositie. Meer informatie over de correlatie tussen SPB- en CPX-methode kan worden gevonden in^{xxxii} De resultaten tonen goede correlaties aan bij 80 km/u. METING VAN DE ABSORPTIE VAN EEN WEGDEK

Naast de eerder beschreven methodes om het rolgeluid of het totaal geluid van een voertuig dat rijdt over een bepaald wegdek te meten, bestaan er ook methodes om na te gaan in welke mate een bepaald wegdek het invallend geluid absorbeert. Men meet met andere woorden de absorptiecoëfficiënt in functie van de frequentie.

Drie methodes zijn voorhanden:

- De impedantiebuisc

Dit is een veelgebruikte methode in de akoestiek. De methode wordt beschreven in ISO-normen^{xxxiii}. Men maakt gebruik van ronde monsters van het wegdek (typische diameter ca. 10 cm) die men ofwel uitboort uit een bestaand wegdek ofwel aanmaakt in het labo. Men plaatst loodrecht op het monster een zogenaamde "buis van Kundt" (Figuur 65) en laat loodrecht geluidsgolven invallen op het monster. Men werkt ofwel met staande golven, waarbij de absorptiecoëfficiënt kan bepaald worden uit de verhouding van de amplitudes in de buiken en de knopen of met de "geluidpuls"-techniek. Bij deze laatste is de absorptiecoëfficiënt afhankelijk van de verhouding van de amplitude van de invallende en gereflecteerde golven.



Figuur 65 - impedantiebus voor het meten van de absorptie van een wegdek (Universiteit Antwerpen).

Het toepassen van deze techniek in situ is in principe mogelijk, maar er moet voor gezorgd worden dat er geen geluidstekken bestaan tussen het uiteinde van de bus en het wegdek, wat niet altijd eenvoudig is.

- De “uitgebreide oppervlakte”-methode

Bij deze methode, die beschreven wordt in ISO 13472-1, maakt men gebruik van geluidspulsen afkomstig van bijvoorbeeld een alarmpistool. Dergelijke pulsen vertonen een breed spectrum en zijn omnidirectioneel. Uit het verschil tussen de amplitude van de directe golf en de golf die na loodrechte inval door het wegdek werd teruggekaatst, is het mogelijk de absorptiecoëfficiënt van het oppervlak te bepalen. Een voorbeeld van dit systeem wordt weergegeven in Figuur 66. De methode wordt toegepast voor in situ metingen.



Figuur 66 - M+P meetsysteem voor absorptiemetingen van een wegdek.

- De “spot”-methode^{xxxiv}

De spotmethode wordt gebruikt voor in situ metingen en wordt beschreven in ISO 13472-2. Er wordt via een verticale impedantiebus een geluidsgolf op het wegdek gezonden. De absorptiewaarde wordt bepaald uit de verhouding tussen reflecterend en invallend geluid. De methode is vergelijkbaar met de impedantiebus meetmethode ISO 10534-2 die eerder werd aangehaald, maar bij de spotmethode wordt er een luchtdichte connectie gemaakt tussen de impedantiebus en het wegdek. De methode is bedoeld voor reflecterende oppervlakken. Het resultaat is geldig van 200 tot 2000 Hz.

- De galmkamer methode

Deze methode wordt beschreven in^{xxxv}. In de praktijk wordt ze echter niet zo vaak gebruikt om de absorptie van wegdekken te meten. Wanneer men een geluid produceert in een gesloten ruimte en het vervolgens abrupt laat ophouden, hoort een waarnemer in de kamer in sommige gevallen ook na het uitschakelen van de geluidsbron nog een zekere tijd geluid. Het (na-)galmen van een ruimte wordt veroorzaakt door het weerkaatsen van geluid tussen de wanden van de kamer. Men definieert de galmtijd T_{60} van een kamer als de tijd die verstrijkt tussen het tijdstip dat de bron wordt uitgeschakeld en het moment dat het geluidsdrumniveau 60 dB is gedaald in de bewuste ruimte. De galmtijd kan benaderd worden met de formule van Sabine:

$$T_{60} = 0,161 V / A_{\text{kamer}}$$

Met V het volume van de kamer en $A_{\text{kamer}} = \alpha_{\text{kamer}} S_{\text{kamer}}$ de totale hoeveelheid absorptie aanwezig in de kamer. Uiteraard kan de galmtijd variëren met de frequentie omdat ook A_{kamer} en α_{kamer} variëren met de frequentie.

Door in een speciaal daartoe ontworpen ruimte (een zogenaamde “galmkamer”) eerst de galmtijd te meten in functie van de frequentie van het brongeluid en vervolgens deze metingen te herhalen nadat in de galmkamer een stuk van het te onderzoeken wegdek is aangebracht, kan men uit het verschil in galmtijd met behulp van onderstaande formule de absorptiecoëfficiënt α_{monster} bepalen:

$$\alpha_{\text{monster}} = 0,161 V / [S_{\text{monster}} (1/T_{60,2} - 1/T_{60,1})]$$

7.5. Geluidreducerende wegdekken

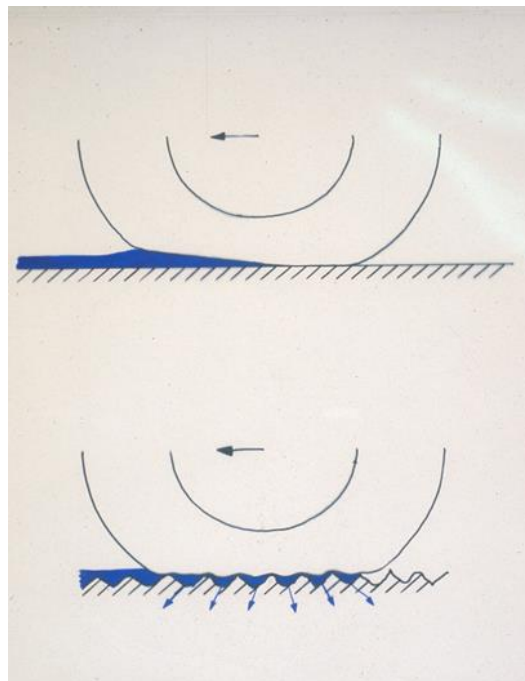
Sandberg en Ejsmont geven in hun standaardwerk volgende definitie aan een “stil wegdek”: “Een geluidsreducerend wegdek is een wegdek dat bij het erover rollen van een band minstens 3 dB(A) minder geluid produceert in vergelijking met algemeen gebruikte wegdektypes”.

Uit voorgaande paragrafen kunnen vier basisregels worden afgeleid om een geluidsreducerend oppervlak te realiseren:

1. Het oppervlak moet voorzien zijn van voldoende diepe macrotextuur (minimum textuurdiepte 0,5 mm). Aggregaten moeten in een willekeurig geordend, dichtgepakt, homogeen rooster zitten en moeten klein tot middelgroot zijn (maximum 10 mm)
2. In plaats van het te voorzien van macrotextuur kan een oppervlak ook poreus (= “zeer open” genoemd) gemaakt worden door gaten te voorzien aan het oppervlak die in verbinding staan met de holttes in de wegdekstructuur (minimum 15 % holttes). Indien de laag dik genoeg is (minimum 40 mm), vertoont een zeer open oppervlak bovendien een goede geluidsabsorptie.

3. Megatextuur moet minimaal gehouden worden door ervoor te zorgen dat de macrottextuur homogeen is.
4. Elasticiteit kan een gunstig effect hebben op geluidreductie. Hier kan echter enkel op ingespeeld worden bij de samenstelling van het mengsel zelf. De ervaring met dergelijke elastische wegdekken is echter eerder nog in een experimentele fase.

Macrottextuur heeft als bijkomend voordeel dat de slipweerstand bij nat weer verbetert. Bij een perfect glad wegdek dat nat is bouwt zich bij toenemende snelheid een steeds dikkere laag water op tussen band en wegdek (Figuur 67), waardoor de grip van de band aanzienlijk kan afnemen of zelfs tot nul kan herleid worden (de zogenaamde "aquaplaning"). Door macrottextuur kan het water tussen band en wegdek worden afgevoerd. De zichtbaarheid bij regenweer wordt aanzienlijk verbeterd door de hoeveelheid opspattend water te verminderen (Figuur 68).



Figuur 67 - het ontstaan van aquaplaning.



Figuur 68 - stuifwater bij een dicht wegdek en de quasi-afwezigheid ervan bij een poreus wegdek.

In de rest van deze paragraaf worden een reeks praktische realisaties van bovenvermelde principes opgesomd. Er wordt telkens een definitie gegeven, de geluidsreducerende eigenschappen en de eventuele nadelen van het type wegdek. De gerealiseerde geluidsreductie wordt – zoals in de definitie van een geluidsreducerend wegdek reeds vermeld – uitgedrukt relatief ten opzichte van een referentie-oppervlak. Als referentie-oppervlak wordt een SMA 0/11 of een DAB 0/10, die beide ongeveer dezelfde akoestische kwaliteiten hebben, gebruikt.

Bestaande geluidsreducerende wegdektypes zijn de volgende:

7.5.1. Bestrijking met als bindmiddel kunsthars

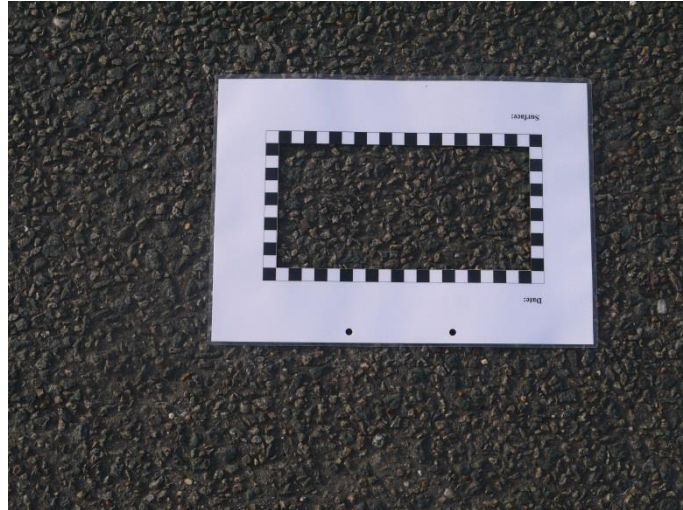
Omschrijving: bestrijking bestaande uit een laag harsachtig bindmiddel, bedekt met aggregaat met zeer kleine afmetingen (typisch maat 2/4).

Eigenschappen: zeer resistent materiaal dat soms gebruikt wordt op kritische punten (scherpe bochten, kruisingen,...). Hoge, duurzame slipweerstand. Eén van de stilste oppervlakken tot dusver gerealiseerd. Geluidsreducties van 7.8 tot 8.4 dB(A) werden gemeten.

Nadelen: duur procédé en daarom beperkt tot bijzondere toepassingen. Mag niet tussen half oktober en midden april worden aangebracht.

7.5.2. Uitgewassen betonverhardingen

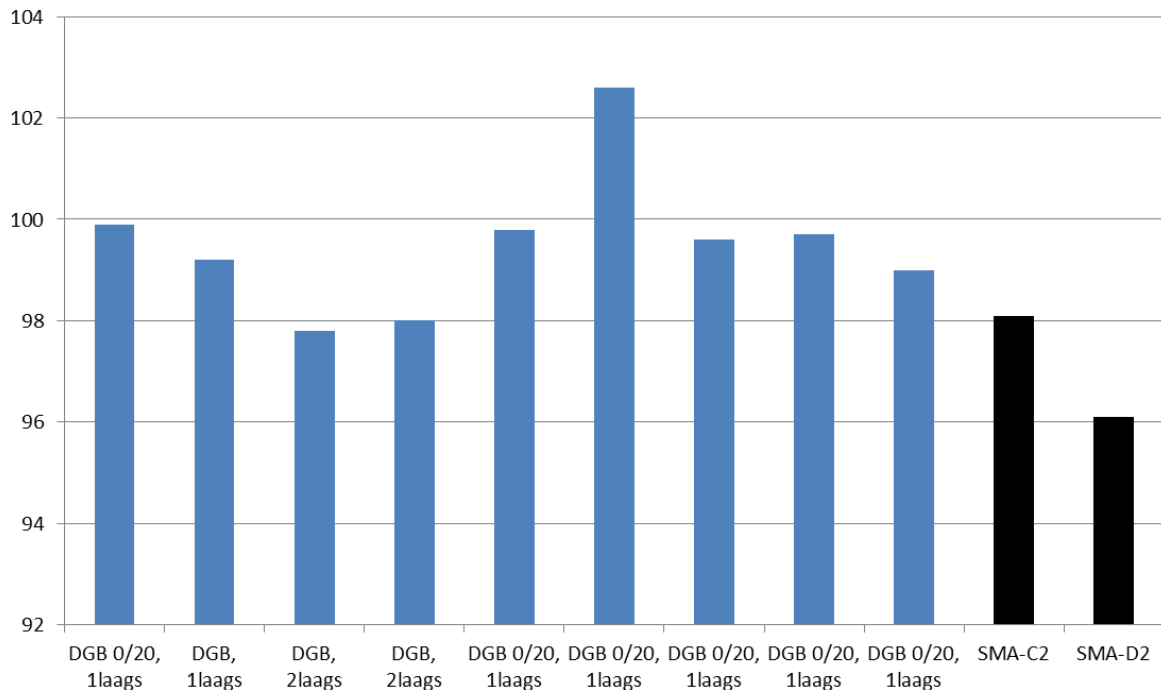
Omschrijving: deze techniek bestaat erin om op het verse betonoppervlak een bindingsvertrager te verstuiven en vervolgens na ongeveer 24 uur, afhankelijk van de omgevingstemperatuur en de samenstelling van het beton, het niet uitgeharde bovenste mortellaagje weg te borstelen. Tussen het aanbrengen van de bindingsvertrager en het uitborstelen dient het beton, meestal door middel van een plasticfolie, beschermd te worden tegen uitdroging. Ook na het uitborstelen dient opnieuw een bescherming aangebracht te worden en dit tot minimaal 72 uur na aanbrengen van het beton. Het uitwassen of uitborstelen gebeurt met een borstelwagen uitgerust met een watersproei-installatie en roterende borstels. In het geval van esthetische verhardingen (gekleurd uitgewassen betonverhardingen) wordt beter gebruik gemaakt van een hogedrukreiniger om de cementmortel egaler te verwijderen. Het type bindingsvertrager dient gekozen te worden in functie van de gewenste uitwasdiepte en van de korrelmaat van het beton. Meestal zijn dit organische bindingsvertragers op basis van een suikeroplossing maar ook chemische bindingsvertragers kunnen toegepast worden. In Figuur 69 wordt een typisch oppervlak getoond van een uitgewassen betonverharding.



Figuur 69 - fijn beton.

Eigenschappen : indien de aanleg gebeurt met de nodige zorg kunnen zeer goede resultaten worden geboekt met deze techniek: gebruik van fijn en homogeen granulaat is noodzakelijk. Geluidreducties tot 2 dB(A) werden opgemeten bij 80 km/u t.o.v. DAB onder deze voorwaarden met CPX-methode, maar gemiddeld kan men van een geluidreductie van ca. 1 dB(A) spreken^{xxxvi}. Belangrijk hierbij is om de goede betonsamenstelling te kiezen met de maximale korrelmaat beperkt tot 20 mm en een overmaat aan steentjes tussen 4 en 6,3 mm (min. 20 tot 25 %). Bij oudere realisaties met grotere maximale korrelmaat is dit effect minder zichtbaar en wordt soms zelfs een toename in geluidsniveau vastgesteld maar met de nieuwe realisaties worden reducties tot 2,5 dB(A) opgemeten in het geval tweelaags gewerkt wordt en tot 2 dB(A) bij éénlaagse betonverhardingen. Een correcte betonsamenstelling is bijgevolg cruciaal om tot een duurzame weg met goede geluidseigenschappen te komen. Een betonverharding wordt gekenmerkt door een zeer lange levensduur en een goede duurzaamheid. Er dient ook weinig onderhoud op toegepast te worden.

In Figuur 70 worden de resultaten van CPX-metingen gegeven bij 80 km/u en P1 band op een aantal stroken éénlaags en tweelaags DGB, samen met een typisch resultaat op een SMA-C (SMA 0/10). Enkel het tweelaags DGB komt in de buurt van het referentie-oppervlak, zo blijkt. De éénlaagse DGB stroken blijken stuk voor stuk 1 à 2 dB(A) lawaaiëriger^{xxxvii}.



Figuur 70 - resultaten van een CPX meetcampagne op een aantal wegdekken uitgevoerd in enkellaags en dubbellaags fijn beton (doorgaand gewapend beton) op snelwegen in Vlaanderen.

Nadeel: hogere aanlegkost.

7.5.3. Oppervlakbehandeling van bestaande betonverhardingen

Fijn frezen van bestaande betonoppervlakken

Omschrijving: bestaand cementbetonoppervlak wordt fijngefreesd door een aangepaste koudfreesmachine, uitgerust met een verhoogde hoeveelheid freesbeitels met het doel een oppervlak te bekomen dat een betere vlakheid heeft met een behoud van de stroefheid en leidt tot een verlaging van het rolgeluid. Het fijnfrezen gebeurt steeds in langsrichting en in evenwijdige stroken. Er dient op gelet te worden dat geen schade optreedt ter hoogte van de voegen. Het fijnfrezen onderscheidt zich van klassiek frezen door de tussenafstand tussen de groefjes. Deze bedraagt maximaal 8 mm. Na het fijnfrezen dient het wegdek met behulp van water onder hoge druk afgespoten te worden. Het water dient onmiddellijk terug opgezogen te worden om zo alle stofrestjes te verwijderen.

Afslipen van betonoppervlak met diamantschijven

Omschrijving: bestaand cementbetonoppervlak wordt afgeslepen met het doel een oppervlak te bekomen dat een betere vlakheid heeft met een behoud van de stroefheid en leidt tot een verlaging van het rolgeluid. Het afslijpen wordt uitgevoerd door een zelfbewegende machine, voorzien van een horizontale trommel met diamantschijven en uitgerust met een precisieophanging. Het afslijpen gebeurt steeds in langsrichting. De overlapping van de verschillende parallelle banen dient beperkt te worden tot 50 à 60 mm.

Eigenschappen: Na uitvoering worden dezelfde eisen naar stroefheid gesteld bij een nieuw aangelegde betonverharding. De eisen voor de langsvlakheidscoëfficiënt $VC10_{i,max}$ worden verhoogd met 10 eenheden. Een grote geluidsreductie kan bekomen worden, zeker als het toegepast wordt op oude betonverhardingen waar bijvoorbeeld nog dwarsgroeven aanwezig zijn (zie Figuur 71). Metingen vóór en ná de behandeling leverde een geluidsreductie op van ca. 5 dB(A).



Figuur 71 - afslijpen van een bestaand betonnen wegdek met diamantschijven.

Nadelen: Vrij duur procédé (ca. 1 € per m² en per mm diepte).

7.5.4. Zeer Open Asfaltbeton

Omschrijving : hoog steengehalte (81-85 %) bijvoorbeeld met maten 0/14 maar dan met uitsluiting van de maten 2/7, wat leidt tot een hoog volume aan holtes (ca. 20 %). De dikte van de oppervlaklaag moet minimum 4 cm bedragen (Figuur 72).

Eigenschappen: levert gemiddeld een reductie van 3 dB(A) ten opzichte van DAB, maar de reductie kan sterk variëren van plaats tot plaats. Deze resultaten werden bekomen met “coast-by” CPB-metingen op ZOAB wegdekken in goede staat.



Figuur 72 - Enkellaags ZOAB.

Een ander voordeel is dat bij regenweer de toename van het lawaai (door wegslingeren van waterdruppels, zie ...) beperkt blijft tot 1 dB(A). Bij DAB loopt deze toename op tot 4 dB(A).

Om tenminste 3 dB(A) reductie te verkrijgen dient ZOAB aan volgende eigenschappen te voldoen:

- Totaal gehalte aan holtes: minstens 20 %
- Maximale aggregaat maat: 14 mm
- Dikte: tenminste 40 mm

Andere voordelen van ZOAB zijn:

- Vermindering van het verblindend effect door de koplampen van tegenliggers bij nacht en regenweer
- Vermindering van het opspattend water bij regenweer
- Hoge weerstand aan spoorvorming

Nadelen : De poriën hebben de neiging om verstopt te raken met modder, stof, olie enz., wat de prestaties die afhangen van de poreusheid en het drainerend vermogen zouden kunnen aantasten. De zeer open textuur veroorzaakt een specifiek wintergedrag (groter gevaar voor ijzelvorming). ZOAB is gevoelig voor rafeling, vooral waar grote tangentiële krachten worden uitgeoefend.

ZOAB is geschikt voor wegen met druk en snel verkeer. Hoe sneller en drukker het verkeer, hoe langzamer de holtes dichtslibben. Er treedt een soort zelfreinigend effect op wanneer voertuigen erover rijden aan hogere snelheid. Het is niet aangewezen voor wegen met langzaam verkeer.

Een variant is het dubbellaags ZOAB, dat in Nederland wordt toegepast. Hierbij brengt men een laag ZOAB met kleine korrelmaat (maximaal 6,3 mm en dikte 2,5 tot 3 cm) aan op een laag ZOAB met grotere korrelmaat (maximaal 14 mm en dikte 4 tot 5 cm) (Figuur 73).



Figuur 73 - Tweelaags ZOAB.

De fijnere textuur van de toplaag brengt een minimum aan bandentrillingen met zich mee. Hierdoor bekomt men een typische geluidreductie van 5 dB(A) t.o.v. DAB. Het aantal holle ruimten is 25 à 30 %.

Het probleem van het dichtslibben doet zich iets minder snel voor. De geluidtoename met de tijd wordt eerder gerelateerd met rafeling. Tweelaags ZOAB is nog gevoeliger voor wringend verkeer. Men dient rekening te houden met een toename van geluid van ca. 0,4 dB(A)/jaar voor personenwagens en 0,3 dB(A)/jaar voor vrachtwagens. Wanneer men het toepast op plaatsen die niet geschikt zijn voor dit wegdek, zoals landbouwwegen bij lagere snelheden, kan de initiële geluidstoename zelfs oplopen tot 1 dB(A)/jaar en meer. Bij éénlaags ZOAB is de akoestische achteruitgang 0,5 dB(A)/jaar voor personenwagens en 0,3 dB(A)/jaar voor vrachtwagens^{xxxviii}. Een probleem met dubbellaags ZOAB is de moeilijke hechting tussen beide lagen. Het aanbrengen van de toplaag vereist veel vakkennis van de uitvoerders.

Winteronderhoud van ZOAB verdient ook een bijzondere aandacht, omdat het andere karakteristieken vertoont onder vries- of dooiweer dan DAB. Een aan het specifieke wegdek aangepaste strategie moet worden gevolgd bij het gebruik van dooizouten^{xxxix}.

7.5.5. Dunne deklagen

Omschrijving: Een wegdek dat geschikt is om aan te leggen op heel veel plaatsen in de stad is de dunne deklaag. Het ontstond uit de vraag in een aantal Europese landen naar wegdekken die goedkoper zijn dan ZOAB en een levensduur hebben die vergelijkbaar is met DAB. Een dunne deklaag is een asfaltverharding met een dikte van maximaal 3 cm, al dan niet met poreuze structuur.

De dunne deklaag combineert een aantal interessante eigenschappen: het is vrij goedkoop (vergelijkbaar met DAB), het is geluidsreducerend en relatief duurzaam. Typische geluidsreducties die gerealiseerd worden bij 40 à 60 km/u voor auto's zijn 1 tot 3 dB(A) bij dichte versies en 2 tot 4 dB(A) bij poreuze versies. De geluidreductie wordt bekomen door de textuur te optimaliseren. Een algemene toepassing van dit type wegdek is een kostenefficiënte, interessante manier om verkeerslawaaï in steden en gemeenten terug te dringen.

Nadelen: Men dient een doordachte keuze te maken rekening houdend met de speciale omstandigheden van de locatie aangezien men het niet zomaar overal kan toepassen. Er moet gezocht worden naar een compromis tussen duurzaamheid en geluid^{xl} afhankelijk van de noden van de locatie. Men dient voldoende aandacht te besteden aan een goede installatie aangezien er anders hoger risico is voor rafeling en loskomen van de ondergrond.

Het O.C.W. werkte mee aan een uitgebreide studie rond dunne deklagen in het project Eranet Road Opthinal: "OPTimization of THIN Asphalt Layers"^{xli}. In dit project worden alle denkbare aspecten belicht: milieu, duurzaamheid en technologie. Ook de voor- en nadelen en de criteria waar een dunne deklaag kan toegepast worden, komen aan bod (zie Tabel 2).

Tabel 2:

	Prioritized property →	Low cost	Low RR	Low noise	Long life	High skid resistance	Low height
Urban and sub-urban areas	Residential streets, low traffic	+++	+++	+++	+++	++	+++
	Streets with stop-and-go traffic	o	o	--	-	+	o
	Streets with much turning traffic	o	+	+	-	+	o
	Streets with high grades	o	o	--	--	o	o
	Medium-volume streets	+++	+++	+++	++	++	++
	High-volume streets, inner-city	++	+	+	+	++	+++
	High-volume streets, arterials	++	++	+++	++	+	+
Extra-urban and rural areas	Low volume country roads	+++	+++	+++	+++	++	+
	Highways, max 80 km/h	+++	+++	+++	+++	++	++
	Highways, over 80 km/h	+++	++	++	++	+	++
	Motorways	+++	+	o	+	+	++
	Mountain roads	+	++	+	--	+	+
Ratings: +++ Highly recommended (best practice), should mean no problem ++ Highly recommended, with caution for certain critical cases + Recommended with caution o Neutral, maybe be feasible and not feasible (high risk of failure) - Not recommended -- To be avoided							

Mogelijke problemen die worden gedefinieerd in het Opthinal project zijn:

Hoog risico:

- Rafeling (Zie Figuur 74):
 - - Vermijden op plaatsen met wringend verkeer (rotondes, kruispunten, uitrit vrachtwagens of bussen, parkings enz.)
 - Installatie niet bij te lage temperatuur
 - Poreuze types gevoeliger dan dichte types



Figuur 74 - rafeling van een dunne deklaag.

- Delaminatie (loskomen van de onderlaag, zie Figuur 75):
 - - Vermijden op plaatsen met wringend verkeer
 - Hoge kwaliteit hechtlaag voorzien
 - Bijzondere aandacht vervuiling onderlaag
 - Hechtlaag of dunne deklaag niet aanbrengen in natte omstandigheden



Figuur 75 - loskomen van een dunne deklaag van de onderlaag (ook delaminatie of scholvorming genoemd).

Middelmatig risico:

- Initiële stroefheid te laag: afstrooien (eerste weken fijn aggregaat 1 à 2 mm strooien op het wegdek tot de bitumenlaag aan de bovenkant weggesleten is en de stroefheid verbeterd is)

Laag tot hoog risico:

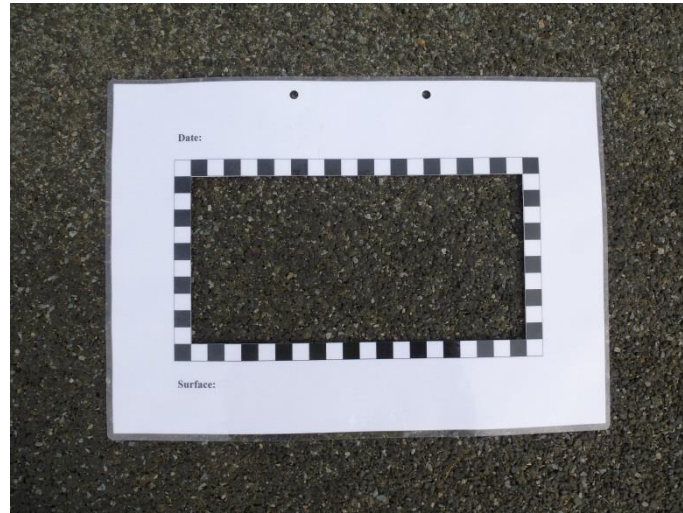
- Scheurvorming door deficiëntie onderlaag: gebruik vermijden op onstabiele onderlagen zoals betonplaten of allerhande bestratingen
- Te hoge transversale of longitudinale oneffenheden: voor een acceptabele effenheid van de onderlaag zorgen
- Te snelle afkoeling mix, slechte duurzaamheid/homogeniteit van compactie:
 - goede weersomstandigheden tijdens installatie (voldoende temperatuur, geen regen)
 - verwarmers gebruiken

7.5.6. Poro-elastisch wegdek

Omschrijving: Een poro-elastisch wegdek bestaat uit rubberkorrels (doorgaans afkomstig van gemalen autobanden), aggregaten en een elastisch kunsthars (meestal polyurethaan) als bindmiddel (zie Figuur 76).

Eigenschappen: Het is aangetoond dat een poro-elastisch wegdek extreem geluiddempende eigenschappen kan hebben: een vermindering van het rolgeluid met 10 dB(A) is mogelijk. In het PERSUADE project werd een geluidreductie van 8 tot 10 dB(A) t.o.v. DAB aangetoond. Een poro-elastisch wegdek is alleen al uit economisch en esthetisch oogpunt een aantrekkelijk alternatief voor geluidsschermen.

Nadelen: Vooraleer het als geluiddempende maatregel kan worden ingezet, moet echter nog een aantal problemen worden overwonnen. De duurzaamheid wordt momenteel (april 2015) getest met 5 proefvakken in vier Europese landen, waaronder België. Het is duurder dan een conventioneel wegdek en kan dus alleen toegepast worden op specifieke zwarte punten waar er problemen zijn met geluidhinder. De initiële stroefheid dient in sommige gevallen verbeterd te worden door het wegdek bij de aanleg af te strooien.



Figuur 76 - Poro-elastisch wegdek.

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de akoestische en de voornaamste niet-akoestische eigenschappen van DAB en enkele courante geluidsarme(re) wegdektypes.

Tabel 3:

	DAB	ZOAB	SMA	Bestrijking met hars	Gewassen	Dunne deklaag
gemiddelde geluidsreductie ten opzichte van DAB in	0	3 (enkellaags) 5 (dubbellaags)	1 tot 3	tot 8	1 tot 3	1 tot 5
weerstand aan permanente vervorming	goed	zeer goed	zeer goed	afhankelijk van onderlaag	zeer goed	afhankelijk van onderlaag
gemiddelde levensduur in jaren	12 tot 15	10 tot 12 (7 – 9 voor tweelaags ZOAB)	12 tot 15	12 tot 13	5 - 3	7 - 10
Stroefheid (μ)	0,35 - 0,55	0,4 – 0,5	0,4 – 0,55	0,85 – 0,9	0,4 – 0,7	0,35 - 0,55
doorlatendheid	waterdicht	doorlatend	waterdicht	waterdicht	waterdicht	waterdicht
opspattend water	minder goed	zeer goed	gemiddeld	minder goed	gemiddeld	gemiddeld
structureel onderhoud	normaal	voegen ¹⁴	normaal	normaal	normaal	normaal
functioneel onderhoud	normaal	moeilijk	normaal	normaal	normaal	normaal
duur aanleg	5 uur tot 1 dag	5 uur tot 1 dag	5 uur tot 1 dag		3 tot 7 dagen	5 uur tot 1 dag

7.5.7. Andere experimentele wegdekken

Diverse andere wegdektypes^{xlii} werden uitgetest in het verleden in de hoop het geluidsniveau verder te kunnen verlagen, o.a. met het eufonisch wegdek (met Helmholtzresonatoren verwerkt in de onderlaag) en wegdekken met poreuze korrels uit geëxpandeerde klei, maar deze bleken niet succesvol.

7.6. Invloed van de slijtage op het geluidsniveau

Over het algemeen veranderen de akoestische kwaliteiten van een wegdek met toenemende levensduur. Deze veranderingen zijn soms drastisch, maar soms ook zeer beperkt. Bepalend voor deze evolutie is het type wegdek. In het CEDR project QUESTIM werd de akoestische veroudering van wegdekken bestudeerd^{xliii}. De veroudering is afhankelijk van klimaatcondities en wegtype. De toename van geluid met de tijd is groter voor personenwagens dan voor vrachtwagens (ongeveer dubbel zo hoog). Algemeen kan de invloed van slijtage als volgt worden samengevat voor centraal- en Zuid-Europa op snelwegen (zie Tabel 4):

Tabel 4:

Wegdektype met maximale korrelmaat	Verlies akoestische kwaliteit dB(A)/jaar: Personenwagens	Verlies akoestische kwaliteit dB(A)/jaar: Zwaar verkeer
Chemisch uitgewassen beton	0,1	0,1
SMA11 en SMA16	0,15	0,1
DAB8, DAB11 en DAB16	0,2	0,1
SMA8 en SMA6	0,2	0,1
Dubbellaags ZOAB8	0,4	0,3
Enkellaags ZOAB8 tot ZOAB16	0,5	0,3
Dunne deklaag 6	0,7	0,5

- Voor DAB met weinig tot geen oppervlakttextuur: de lawaaierigheid neemt de eerste 1 tot 2 jaren wat toe en stabiliseert dan tot het einde van de levensduur, wanneer het wegdek finaal begint kapot te gaan door het loskomen van stukken asfalt, het ontstaan van scheuren e.d.
- Bestrijkingen met grove textuur (bijvoorbeeld met aggregaat maat 10/16 mm) worden de eerste jaren van de levensduur stiller (1 tot 2 dB(A)) omdat de aanvankelijk aanwezige megatextuur door de voertuigen wordt genivelleerd. Vervolgens stabiliseert de lawaaierigheid, om dan naar het einde van de levensduur weer toe te nemen door weer een toename van megatextuur, ten gevolge van steentjes aan het oppervlak die loskomen e.d.
- ZOAB wegdekken verliezen geleidelijk hun akoestische kwaliteiten door verstopping van de holttes (vermindering van de absorptie) en het loskomen van steentjes uit de toplaag (toename van megatextuur). De slijtage gaat in bepaalde gevallen zeer snel, in andere gevallen eerder traag. Men mag uitgaan van een verlies aan geluidreductie van maximum 3 dB(A) gedurende de vier jaar na de aanleg.

- De lawaaierigheid van beton vertoont weinig evolutie gedurende de levensloop. Het einde van de levensduur wordt veroorzaakt door falen van de fundering en scheuren van het oppervlak. Jaarlijkse geluidreductieverliezen van ca. 0,1 dB(A) worden gerapporteerd voor chemisch uitgewassen beton.
- Dunne deklagen: Bij een proefproject van het Agentschap Wegen & Verkeer werden er 8 verschillende dunne deklagen aangelegd op de N19 Turnhout-Kasterlee^{xliv}. De akoestische prestaties werden opgevolgd met de tijd. Twee jaar na aanleg bleken de proefvakken een toename van geluid te vertonen tussen 0,4 en 1,9 dB(A) per jaar (met SPB-methode). Toename in geluid kon duidelijk gelinkt worden aan rafeling. Typisch gerapporteerde waarden in andere projecten zijn 0,3 à 0,8 dB(A) per jaar (projecten QUESTIM, OPTHINAL, Nordic Roads^{xlv}).

Voor een uitgebreid overzicht van de meest courante types wegdek en hun lawaaierigheid in functie van hun leeftijd, de samenstelling van het verkeer (auto's - vrachtwagens) en de voertuigsnelheid, wordt verwezen naar het standaardwerk van Sandberg en Ejsmont en in deliverable D2.2 van het QUESTIM-project^{xlvi}.

7.7. Reparaties

Een wegdek in asfaltbeton heeft als groot voordeel dat plaatselijke beschadigingen hersteld kunnen worden zonder het gehele wegdek te vervangen. Vanuit akoestisch oogpunt is het van het grootste belang dat een dergelijke reparatie volgens de regels van de kunst wordt uitgevoerd. Bij slordige herstellingen vertoont het wegdek putten of bulten (Figuur 77), wat een bijdrage levert aan de megatextuur van het wegdek en het wegdek dus lawaaierig maakt.



Figuur 77 - slordig, met gietasfalt hersteld asfaltwegdek.

Bedekking van kasseien met een laagje DAB geeft een weinig duurzaam resultaat. Na korte tijd scheurt en erodeert het asfaltlaagje, wat aanleiding geeft tot een wegdek met veel megatextuur (en dus veel lawaai) en een weinig esthetisch uitzicht (Figuur 78).



Figuur 78 - overlaging van kasseien met een laag asfalt.

In de praktijk bestaan er twee herstelmethodes voor asfaltbeton: het “koude” procédé voor voorlopige herstellingen en het “warme” procédé voor duurzame reparaties. Deze worden beschreven in hoofdstukken L.4.2 tot L.4.3 van het typebestek van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest^{xlvii}.

Een duurzame herstelling volgens de regels van de kunst wordt uitgevoerd in acht stappen:

1. de reparatieplek afbakenen
2. verticaal insnijden en verwijderen (Figuur 79)
3. schoonmaken en drogen (Figuur 80)
4. een kleefmiddel aanbrengen (Figuur 81)
5. voorgevormde voegband aanbrengen (Figuur 82)
6. het gat vullen met warm gietasfalt
7. de vulspecie verdichten (Figuur 83)
8. het oppervlak afstrooien

Figuur 84 toont het resultaat van dit procédé. Onvermijdelijk is vaak het handwerk, wat voor gevoeliger plekken zorgt aan begin en einde van het vak.



Figuur 79 – insnijden.



Figuur 80 – schoonmaken en drogen.



Figuur 81 – kleefmiddel aanbrenge.



Figuur 82 – voegband aanbrengen.



Figuur 83 – verdichten.



Figuur 84 – eindresultaat.

7.8. Kostenaspecten met betrekking tot de toepassing van stille wegdekken

In deze paragraaf wordt het kostenaspect bekeken vanuit twee invalshoeken:

1. Welke zijn de kosten voor de aanleg van een bepaald wegdek? Hoe met andere woorden een financiële keuze maken wanneer er een wegdek moet aangelegd (vernieuwd) worden? Welke zijn de financiële consequenties om bijvoorbeeld een ZOAB-wegdek te kiezen in plaats van een traditioneel DAB-wegdek?
2. Veronderstellen een probleemsituatie met lawaaihinder bij een aantal omwonenden van een verkeersweg. Hoe een ook financieel verantwoorde keuze te maken tussen de verschillende mogelijke saneringsmaatregelen?

7.8.1. Kosten van aanleg en onderhoud van wegdekken

In de kostprijs van een wegdek zijn in feite drie componenten vervat: de aanlegkosten, de kosten voor een klein onderhoud (bijvoorbeeld reinigen van ZOAB) en de kosten voor een groot onderhoud.

De relatieve aanlegkost (DAB 0/14) van een aantal in dit hoofdstuk besproken wegdektypes worden gegeven in tabel 5^{xlviii};

Tabel 5:

toplaag	relatieve aanlegkost tov AB-1B
referentie AB-1B (DAB 0/14)	1
DAB (allerhande soorten en diktes)	0,5 - 0,9
begrind DAB	1,2
SMA	0,9 - 1,6
ZOA (éénlaags)	0,8 - 0,9
ZOA (tweelaags, 7 cm)	2
dunne deklaag	0,6 – 2
bestrijkingen (bitumen)	0,3 - 0,5
bestrijking (epoxy)	6
Beton (20 cm)	4,6
Beton (1 cm)	0,23
Kasseien (exclusief straatlaag)	5,7 – 6
Betonstraatstenen (exclusief straatlaag)	2,9 – 3,6

Niet enkel het gekozen materiaal en de hoeveelheid bepaalt de prijs van een wegdek, maar ook de gekozen onderhoudsstrategie.

7.8.2. Kosten-batenanalyse van verschillende geluidswerende maatregelen bij sanering

Door de grote verscheidenheid aan kostenbepalende factoren en aan factoren die de geluidsreductie bepalen is het moeilijk een algemene beschrijving te geven van een dergelijke kostenberekening.

Wanneer een probleem van verkeerslawaaï wordt vastgesteld, moeten echter steeds dezelfde vragen worden gesteld en beantwoord:

- Welke geluidsreducerende maatregelen zijn in de gegeven omstandigheden mogelijk?
- Welke zijn de bijkomende, niet-akoestische voor- en nadelen (bijvoorbeeld de blokkering van het gezichtsveld door geluidsschermen) van de mogelijke maatregelen?
- Welke maatregel is de meest efficiënte, met andere woorden: welke maatregel levert de grootste geluidsreductie (in dB(A)) op, onverschillig de kostprijs?
- Welke maatregel is het meest kostenefficiënt, met andere woorden, welke levert de grootste geluidsreductie per uitgegeven €?

Uiteraard dienen deze vragen te worden beantwoord rekening houdend met alle factoren die in voorkomend geval een rol kunnen spelen, zoals:

- Snelheid van het verkeer
- Samenstelling van het verkeer
- Aantal en type van de te beschermen woningen
- Inplanting van de woningen ten opzichte van de verkeersweg (hoogte, afstand, langs één of langs beide zijden van de verkeersweg)
- Kostprijs per m² geluidswerend wegdek (bijvoorbeeld dubbellaags ZOAB)
- Kostprijs per m² scherm
- ...

In tabel 6 hierboven worden de richtprijzen per m² weergegeven voor een aantal courante types wegdek. De richtprijzen voor schermen kunnen gevonden worden in fiche 11.

Eénmaal al deze relevante gegevens bekend, kan men voor het specifieke geval een antwoord zoeken op bovenvermelde vragen. Hoe een dergelijke kosten-batenanalyse kan worden uitgevoerd, wordt duidelijk gemaakt aan de hand van een Deens type-voorbeeld^{xlix}, waarbij men de kostprijs berekende voor de sanering van één kilometer straat in het centrum van de stad (50 km/uur), één kilometer ringweg (70 km/uur) en één kilometer snelweg in een voorstad (110 km/uur).

De specificaties die men aanneemt zijn samengevat in tabel 6.

Tabel 6 :

	Straat in stad	Ringweg	Snelweg
Richtsnelheid (km/uur)	50	70	110
Aantal rijstroken	2 x 1	2 x 2	2 x 3
afstand tussen de gebouwde gevels aan weerszijden van de straat (m)	15	32	30
Aantal voertuigen/dag	12 000	30 000	60 000
% zwaar verkeer	10	10	10
Geluidsniveau bij eerste verdiep (L _{Aeq,24uur} in dBA)	68	73	77
Woningen, type	Aaneengesloten appartementsblokken, 6 verdiepingen met op gelijkvloers winkels	Aaneengesloten appartementsblokken, 3 verdiepingen	Eengezinswoningen
Woningen, aantallen	665	399	435

Men overweegt drie types saneringen:

- het plaatsen van geluidsisolerend glas van het type 6-12-4-9-4 (6 mm glas, 12 mm lucht, 4 mm glas, 9 mm lucht en 4 mm glas) in plaats van het conventionele type 4-12-4. Met het gewone glas heeft men binnen een reductie van 26 dB(A) ten opzichte van buiten. Een goede geluidsisolerende beglazing kan het geluidsniveau tot 34 dB(A) drukken. Nadeel is dat deze maatregel enkel bescherming biedt voor personen die zich binnenshuis bevinden terwijl de ramen gesloten zijn.
- het vervangen van het wegdek door dubbellaags ZOAB (toplaag 25 mm ZOAB met max. aggregaatmaat 8 mm en grondlaag 45 mm ZOAB met max. aggregaat maat 16 mm).

Hiermee bereikt men een geluidsreductie van 5 dB(A) bij 50 km/uur. Bij hogere snelheden zijn reducties van 6-7 dB(A) haalbaar. Er wordt verondersteld dat het ZOAB zijn akoestische eigenschappen kan behouden gedurende zijn gehele levensduur, mits tweemaal per jaar een reiniging met water onder hoge druk. Intussen is gebleken dat dit in een stad geen goede maatregel is wegens de al te snelle verstopping van de holtes, maar er zou kunnen geopteerd worden voor een dunne deklaag met een geluidsreductie die voor sommige types in de buurt komt van tweelaags ZOAB. De reiniging van ZOAB wordt in de praktijk ook niet uitgevoerd.

- het plaatsen van een geluidsscherm van 2,5 m hoog levert een reductie van 12 dB(A) op het gelijkvloers, maar 0 dB(A) op de eerste verdieping en hoger (het effect van een geluidwerend scherm is immers het grootst in zijn geluidsschaduwzone). Een hoger geluidsscherm levert een grotere reductie, maar is uiteraard duurder en geeft meer schaduw en visuele hinder. Het plaatsen van een geluidsscherm in een straat in de stad is meestal onmogelijk om esthetische en praktische redenen. Deze oplossing van het probleem wordt hier dan ook niet weerhouden.

De kosten worden berekend in € over 30 jaar; dit is de levensduur van de schermen de geluidswerende ramen. De onderlaag van de geluidswerende wegbekleding moet om de 15 jaar worden vervangen en de toplaag elke 7-8 jaar.

In tabel 7 worden de kosten/besparingen samengevat per post voor de drie geluidsreducerende maatregelen.

Tabel 7:

Uitgavepost	Kostprijs
<u>Dubbellaags ZOAB</u>	
Toplaag 25 mm ZOAB (8 mm)	5,4 €/m ²
Grondlaag 45 mm ZOAB (16 mm)	9,7 €/m ²
Dicht asfalt dat dunner is dan poreus asfalt (30 mm is overbodig omwille van de grotere draagkracht van ZOAB)	-4,7 €/m ²
Verwijdering toplaag	3,4 €/m ²
Drainagebuizen (nodig bij gebruik ZOAB)	53,6 €/lopende meter
Reiniging poriën ZOAB per beurt	0,07 €/m ²
Reiniging drainagebuizen	1,34 €/lopende meter
Meerkost winteronderhoud ZOAB	1610 €
<u>Isolerend glas</u>	
Gemiddelde kost isolatie appartement	4030 €
Gemiddelde kost isolatie huis	6640 €
<u>Geluidsscherm</u>	
Hoge kwaliteit geluidsscherm 2,5 m hoog	255 €/m ²
Onderhoudskosten scherm	2,2 €/lopende meter/jaar

Rekening houdend met bovenstaande gegevens, bekomt men volgende kostprijzen voor de verschillende opties op de verschillende locaties (Tabel 8).

De berekende kostprijzen zijn de NCW-waarden voor een periode van 30 jaar en een interestvoet van 7 %, berekend met de formulexxxiv:

$$NCW = A + K1/(1+i)^1 + K2/(1+i)^2 + K3/(1+i)^3 + \dots + KN/(1+i)^N$$

met

A de som van de materiaal- en aanschafkosten

Kn de onderhoudskost in het n-de jaar

i de interestvoet die kan bekomen worden op een uitgezet kapitaal

N de levensduur

Tabel 8 : raming van de kosten in euro van de verschillende geluidwerende maatregelen voor 1 km weg

		Straat in stad	Ringweg	Snelweg
ZOAB	Kostprijs over 30 jaar	296.000	360.000	477.000
	Lawaareductie in dB(A)	5	6	7
	Kost/dB(A)/woning	89	150	157
Scherm	Kostprijs over 30 jaar	-	1.335.000	1.590.000
	Lawaareductie in dB(A)	-	0-12 (gemiddeld: 3,9)	4-13 (gemiddeld: 8,5)
	Kost/dB(A)/woning	-	851	430
Isolatie	Kostprijs over 30 jaar	2.685.000	1.607.000	578.000
	Lawaareductie in dB(A)	9	9	9
	Kost/dB(A)/woning	449	448	148

De kostprijs in totaal (NCW) en NCW per dB(A) en per woning valt in deze voorbeelden opvallend gunstig uit voor het ZOAB. De totale geluidsreductie is weliswaar lager bij ZOAB dan bij de andere twee oplossingen, maar deze laatste bieden nadelen die het ZOAB niet heeft (scherm: visuele hinder, schaduw,... en geluidsisolatie ramen: enkel bescherming binnen met ramen gesloten). Uit enquêtes bij de omwonenden vóór en na de ingrepen blijken de hindergevoelens sterker af te nemen bij het aanwenden van een stil wegdek dan bij geluidsschermen. De vermelde secundaire nadelen van schermen kunnen hiervoor een verklaring zijn.

De combinatie van verschillende maatregelen (concreet het aanbrengen van ZOAB én het plaatsen van schermen) wordt toegelicht in fiche 12 van volume I.

Welke oplossing uiteindelijk gekozen wordt, is ook deels een politieke beslissing: welke financiële inspanning wenst men te leveren om het lawaai-probleem te verminderen? Wenst men een oplossing met de gunstigste kosten-baten verhouding of wil men een maximale geluidsreductie en wil men hiervoor een extra financiële inspanning leveren? Welk belang hecht men aan de secundaire nadelen en/of voordelen van de verschillende mogelijke oplossingen?

7.9. Referenties

-
- ⁱ Typebestek 2011: F.1.2.8.1; SB 250: 6-1.4.10.2 Qualiroutes: G. 1.2.8.1
- ⁱⁱ Typebestek 2011: F.1.2.8.3; SB 250: 6-1.4.10.5 Qualiroutes: G. 1.2.8.3
- ⁱⁱⁱ SB 250: 12-1.6.1 en naar Qualiroutes M.2.1
- ^{iv} SB 250 12-1.6.3 – Qualiroutes M.2.2
- ^v Qualiroutes M.2.3
- ^{vi} Qualiroutes M.2.4
- ^{vii} Dossier 5: Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen, Bijlage bij OCW Mededelingen 77, 2008
- ^{viii} ISO 13473 parts -1, -2 and -3
- ^{ix} Sandberg U., Descornet G., Road surface influence on tyre/road noise Part I, INTERNOISE – The international conference on noise control engineering, Miami, Florida USA, 1980
- ^x Descornet, G.; Faure, B.; Hamet, J.-F.; Kestemont, X.; Luminari, M.; Quaresma, L.; Sandulli, D. (2001): „Traffic noise and road surfaces: State of the art“, FP5 SIRUUS project deliverable, O.C.W. (Brussel)
- ^{xi} Dietrich K., Essers U., Huschek S., Köster H., Pohle G., Prickartz R., Springborn M., Schwarz R., Zur Bewertung des Einflusses der Fahrbahnen auf das Reifengeräusch, Strasse und Autobahn, heft 9, 1988; Hamet J.-F., Bruit et nuisances sonores – Relation entre la texture de la chaussée et le bruit rayonné par le pneumatique, Second Carrefour PREDIT, Livre des Communications, pp. 131-135, 23-25 maart 1999 en vele andere, zie voor een overzicht: Goubert, L., Bergiers, A., Karlsson, R., Tan Do, M., Sandberg, U., “State-of-the-art concerning texture influence on skid resistance, noise emission and rolling resistance”, ROSANNE WP4 Deliverable D4.1, 2014
- ^{xii} Goubert, L., Bergiers, A., Karlsson, R., Tan Do, M., Sandberg, U., “State-of-the-art concerning texture influence on skid resistance, noise emission and rolling resistance”, ROSANNE WP4 Deliverable D4.1, 2014
- ^{xiii} Descornet, G.; Faure, B.; Hamet, J.-F.; Kestemont, X.; Luminari, M.; Quaresma, L.; Sandulli, D. (2001): „Traffic noise and road surfaces: State of the art“, FP5 SIRUUS project deliverable, O.C.W. (Brussel)
- ^{xiv} www.silentroads.nl
- ^{xv} BECKENBAUER, T. ET AL, 2001. Einfluss der Fahrbahn-textur auf das Reifen-Fahrbahn-Gerausch, Report FE 03.293/1995/MRB. Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt). Bergisch Gladbach. Duitsland.
- ^{xvi} Kuijpers, A., Van Blokland, G., “SIMULATION TOOL FOR ROAD/TYRE MODELLING: The influence of road parameters on tyre/road noise, SILENCE, C.D2, 2006
- ^{xvii} www.persuadeproject.eu
- ^{xviii} Sandberg U., Ejsmont J.A., “Tyre/road reference book”, INFORMEX, Kisa, Zweden (2002)
- ^{xix} Shima e.a., “The effect of rain on the noise reduction of porous asphalt pavement”, INTERNOISE, Yokohama (1994)
- ^{xx} Bartolomaeus, W., SILENCE, F.D14, Noise classification methods for urban road surfaces: Classification Methodology, 2005
- ^{xxi} Bartolomaeus, W., SILENCE, F.D14, Noise classification methods for urban road surfaces: Classification Methodology, 2005
- ^{xxii} Sandberg U., Ejsmont J.A., “Tyre/road reference book”, INFORMEX, Kisa, Zweden (2002); Descornet G., “A criterion for optimising surface characteristics”, Transportation Research Board, Washington DC, 1215 (1989); Bergmann M., “Geräuschestehung beim rollen ober benetzten oberflächen”, Technische Universität Berlin (1979)
- ^{xxiii} Bijvoorbeeld AFNOR Standard NF 31-085
- ^{xxiv} 2002/49/EC
- ^{xxv} ISO 362-1:2015 en 362-2:2009
- ^{xxvi} ISO 10844:2014
- ^{xxvii} ISO 11819-1
- ^{xxviii} ISO/PAS 11819-4:2013
- ^{xxix} ISO 11819-2
- ^{xxx} ISO/TS 11819-3
- ^{xxxi} <http://www.silentroads.be/>
- ^{xxxii} Kragh, J. “Report on the analysis and comparison of existing noise measurement methods for noise properties of road surfaces”, Deliverable D2.3 van het Europese ROSANNE-project, te downloaden van <http://rosanne-project.eu/>
- ^{xxxiii} ISO 10534-1 en 10534-2

-
- ^{xxxiv} Seyert, A. F., Martinus, F., Measurement of pavement absorption of pass-by tracks based on ISO 13472-2, *Internoise 2009*, 23 – 26 augustus 2009, Ottawa, Canada
- ^{xxxv} ISO 354
- ^{xxxvi} Vanhooreweder, Barbara, “Luidheid bij Belgische wegverhardingen”, presentatie Silentroads Vlaanderen, 14 oktober 2014, downloadbaar via <http://www.silentroads.be/>
- ^{xxxvii} De Clerck, K. (Administratie Wegen en Verkeer), persoonlijke mededeling
- ^{xxxviii} Van Blokland, G., Tollenaar, C., van Loon, R., QUESTIM D2.2: Modelling of Acoustic Aging of Road Surfaces, 2014, downloadbaar op <http://www.questim.org/>
- ^{xxxix} Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Researchverslag: “Proefvak tweelaags zeer open asfalt”, RV41/05, O.C.W., 2005
- ^{xl} Bergiers, A., De Visscher, J., Denolf, K., Destrée, A., Vanhooreweder, B., Vuye, C., “Test sections to study the acoustic quality of thin noise reducing asphalt layers”, ISMA Noise and Vibration Engineering Conference 2014, Leuven, 15-17 september 2014
- ^{xli} Kragh, J., Nielsen, E., Olesen, E., Goubert, L., et al. ,OPHINAL: Optimization of Thin Asphalt Layers, Final Report, 2011, downloadbaar via <http://www.brrc.be/document/ophinal/>
- ^{xlii} Descornet G. e.a., “Traffic Noise and Road Surfaces: State of the Art”, SI.R.U.US PROJECT, uitgave van het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel (2000)
- ^{xliiii} Van Blokland, G., Tollenaar, C., van Loon, R., QUESTIM D2.2: Modelling of Acoustic Aging of Road Surfaces, 2014, downloadbaar op <http://www.questim.org/>
- ^{xliv} Bergiers, A., De Visscher, J., Denolf, K., Destrée, A., Vanhooreweder, B., Vuye, C., “Test sections to study the acoustic quality of thin noise reducing asphalt layers”, ISMA Noise and Vibration Engineering Conference 2014, Leuven, 15-17 september 2014
- ^{xlv} <http://nordicroads.com/>
- ^{xlvi} Van Blokland, G., Tollenaar, C., van Loon, R., QUESTIM D2.2: Modelling of Acoustic Aging of Road Surfaces, 2014, downloadbaar op <http://www.questim.org/>
- ^{xlvii} TB2011, Typebestek
betreffende wegeniswerken
in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest,
downloadbaar via <http://www.mobielbrussel.irisnet.be/partners/professionelen/tb-2011>
- ^{xlviii} “Handleiding voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies”, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, A78/06 (2006), te bestellen via www.ocw.be
Aangevuld met informatie verkregen via communicatie met Margo Briessinck van Agentschap Wegen en Verkeer en Vincent Thibert van Bruxelles Mobilité.
- ^{xlix} Larsen Lars Ellebjerg en Bendtsen, Hans, “Costs and perceived noise reduction of porous asphalt pavements”, *Proceedings Internoise 2001* (Den Haag)