

Invloed van holle ruimte op de geluidsabsorptie van poreuze wegdekken

ir. Bert Peeters
M+P

Samenvatting

Voor geluidreducerende poreuze deklagen, zoals ZOAB, tweelaags ZOAB, dunne geluidreducerende deklagen (DGD), poro-elastische (PERS) wegdektypen en poreuze betonwegdekken, is de geluidsabsorptie sterk bepalend voor de hoogte van de geluidreductie. De geluidsabsorptie is echter een parameter die voor wegdekproducenten moeilijk te beheersen is tijdens het ontwerp en tijdens de aanleg van het wegdek. Bovendien neemt de geluidsabsorptie in de loop der tijd af en de snelheid waarmee dit proces plaatsvindt, varieert per wegdektype en locatie. Voor een betere beheersing van de geluidsabsorptie is meer inzicht nodig in de invloed van gradering, bindmiddel, verdichtingsgraad en andere keuzes tijdens ontwerp en aanleg op de holle ruimte, en daarmee op de geluidsabsorptie. M+P is daarom een onderzoek gestart dat gericht is op de relatie tussen holle ruimte en geluidsabsorptie, specifiek voor poreuze wegdekken.

Met behulp van CT-scans is meer inzicht verkregen in de hoeveelheid holle ruimte, maar ook de vorm van de poriën en het verloop hiervan binnen in het materiaal. Deze parameters hebben invloed op de mate van geluidsabsorptie, maar ook op de geluidfrequenties waarbij de absorptie plaatsvindt. Er wordt uitgelegd waarom het voor reductie van het band/wegdek-geluid van belang is om het geluid bij de juiste frequenties te absorberen. Als voorbeeld wordt voor tweelaags ZOAB aangetoond dat een lager percentage holle ruimte in de bovenlaag, ten opzichte van de onderlaag, leidt tot een verschuiving van geluidsabsorptie naar lagere geluidfrequenties. Dit heeft tot gevolg dat de geluidreductie afneemt.

Bij het ontwerpen van poreuze deklagen is het daarom van belang een weloverwogen keuze te maken voor het holle ruimte percentage in combinatie met de laagdikte. En dan is het van groot belang om een goede en scherpe controle te hebben op het holle ruimte percentage tijdens de aanleg.

Steekwoorden (Times New Roman 12, vet)

Geluidreductie, optimalisatie, absorptie, holle ruimte, hoorn-effect, poreuze wegdekken, tweelaags ZOAB, CT-scan

1. Inleiding

Poreuze deklagen absorberen een deel van het geluid dat door de voertuigen en hun banden wordt geproduceerd. Voor geluidreducerende poreuze deklagen, zoals ZOAB, tweelaags ZOAB, dunne geluidreducerende deklagen (DGD), poro-elastische (PERS) wegdektypen en poreuze betonwegdekken, is de geluidsabsorptie sterk bepalend voor de hoogte van de geluidreductie. De geluidsabsorptie is echter een parameter die voor wegdekproducenten moeilijk te beheersen is tijdens het ontwerp en tijdens de aanleg van het wegdek. Bovendien neemt de geluidsabsorptie in de loop der tijd af, waardoor de geluidreductie vermindert. De snelheid van achteruitgang loopt hierbij voor verschillende wegvakken sterk uiteen.

Geluidsabsorptie is het fenomeen dat wanneer een geluidsgolf zich door een poreus materiaal voortplant, dat dan een deel van de geluidenergie bij de interactie met het materiaal wordt omgezet in andere energie (warmte). Deze interactie bestaat uit viskeuze effecten (wrijving) en thermische effecten. In het geval van een asfaltwegdek gaat een deel van de geluidenergie dus verloren door nauwelijks merkbare opwarming van de stenen en mastiek. De geluidsgolf neemt dan in amplitude af: het geluid is deels ‘geabsorbeerd’ door het materiaal.

De mate van geluidsabsorptie wordt bepaald door de holle ruimte die zich in het poreuze materiaal bevindt. Niet alleen de *hoeveelheid* holle ruimte is hierbij bepalend, maar ook de *vorm* van de holle ruimte. Geluidsabsorberende bouwmaterialen, zoals glaswol of absorptieschuim, worden in een gecontroleerde omgeving gefabriceerd. Het productieproces is dan relatief goed te finetunen op de gewenste hoeveelheid en vorm van de holle ruimte. Voor een poreus wegdek is dat ingewikkelder. De holle ruimte hangt af van keuzes in het ontwerp, zoals de steengradering, de zeefkromme en de hoeveelheid bindmiddel. Ook tijdens het productie- en aanlegproces zijn keuzes te maken die van invloed zijn, zoals de temperatuur en de wijze en mate van verdichting. Maar de buitentemperatuur en hoeveelheid neerslag spelen ook een rol en hebben uiteindelijk invloed op de holle ruimte. En als de deklaag eenmaal is aangebracht, dan speelt de factor ‘tijd’ nog een rol. Afhankelijk van de verkeersintensiteit en –samenstelling wordt het wegdek verder verdicht en raakt de holle ruimte verstopt door vuil en interne afbraak van het materiaal.

Voor een betere beheersing van de geluidsabsorptie is er een behoefte aan meer inzicht in de invloed van steengradering, bindmiddel, laagdikte, verdichting en andere keuzes tijdens ontwerp aanleg op de holle ruimte, en daarmee op de geluidsabsorptie. M+P is daarom een onderzoek gestart dat gericht is op de relatie tussen holle ruimte en geluidsabsorptie, specifiek voor poreuze wegdekken. De uitbreiding van de kennis op dit gebied leidt tot praktische richtlijnen voor de wegdekproducenten ten aanzien van ontwerp, productie en aanleg van poreuze geluidsreducerende deklagen.

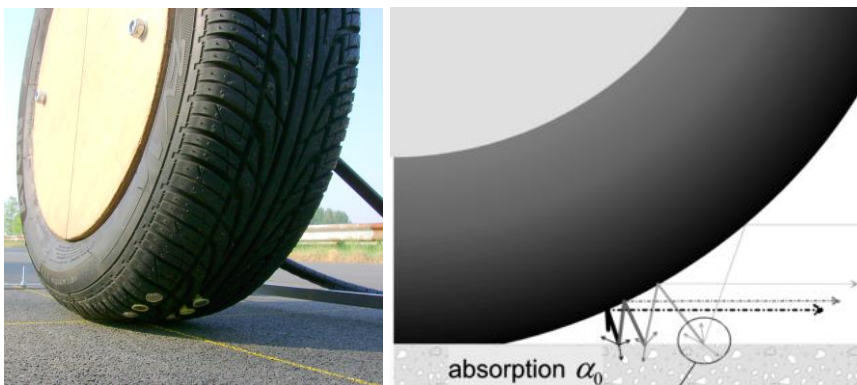
2. Invloed van geluidsabsorptie op wegverkeersgeluid

2.1 Het “hoorn-effect”

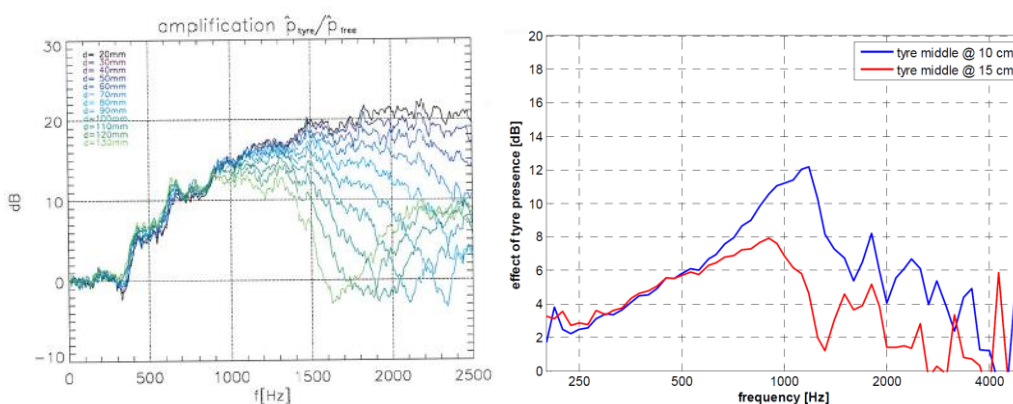
Eén van de redenen waarom een geluidsabsorberend wegdek effectief is, is dat het geluid dat op het wegoppervlak weerkaatst wordt tijdens de voortplanting vanaf de bron (het voertuig) naar de omgeving toe, geabsorbeerd wordt. Een nog belangrijker mechanisme is echter de reductie van het zogenaamde ‘hoorn-effect’.

De voornaamste bron van geluid bij wegvoertuigen is de interactie tussen de banden en het wegdek: het trillende bandoppervlak brengt de lucht in trilling. Het ronde bandoppervlak vormt samen met het wegoppervlak een hoornvormige geometrie (zie figuur 1). Deze ‘hoorn’ zorgt, net als bij de hoorn van een blaasinstrument of van een grammofoon, voor een versterking van het geluid. Een manier om dit inzichtelijk te maken is rechts in figuur 1 weergegeven: de geluidsgolf wordt in de hoorn meerdere malen gereflecteerd, waarbij de verschillende reflecties elkaar versterken. In akoestische termen spreekt men dan van een verhoging van de afstraalefficiëntie: de trillingen van het bandoppervlak worden op meer effectieve wijze omgezet in geluidsenergie, waardoor het geluidvermogen dus toeneemt.

De versterking als gevolg van dit ‘hoorn-effect’ is onderzocht door M+P en door anderen (bijv. [1], [2]) en weergegeven in figuur 2. De linker figuur is gebaseerd op metingen van de geluidsoverdracht in het laboratorium, waarbij een profiellose band gebruikt is; bij de rechter figuur zijn de metingen uitgevoerd met een normale personenwagenband. De verschillende lijnen hebben betrekking op verschillende posities van de geluidbron en –ontvanger ten opzichte van de hoorn. In de werkelijke situatie zal het effect een gemiddelde zijn van deze verschillende lijnen. Afhankelijk van de geluidsfrequentie kan de versterking voor een normale personenwagenband op een normaal, reflecterend wegdek oplopen tot 12 dB. De versterking treedt met name op bij frequenties rond 1000 Hz en is voor lage frequenties (< 500 Hz) aanzienlijk lager, evenals voor hogere frequenties.



figuur 1 – In de hoornvormige geometrie tussen band en wegdek wordt het geluid meerdere malen gereflecteerd

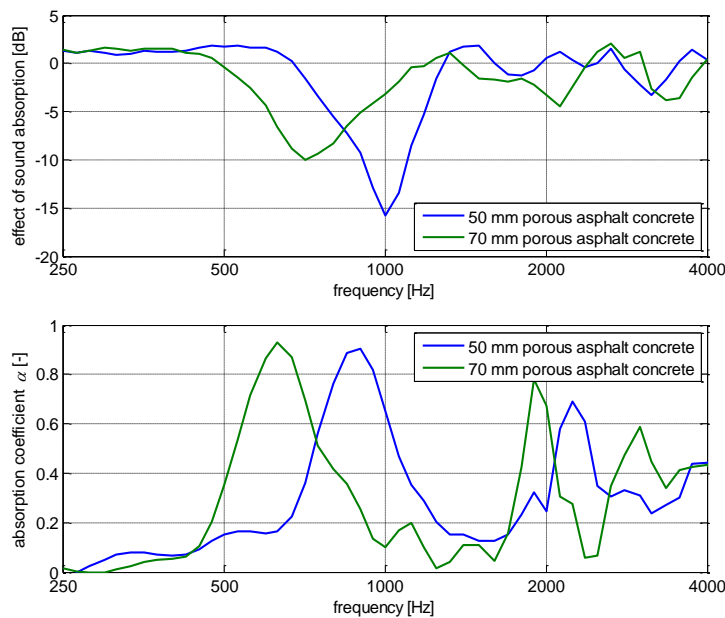


figuur 2 – De versterking van het geluid als gevolg van het hoorneffect als functie van de geluidsfrequentie; links: laboratorium metingen aan een proefopstelling (uit [1]); rechts: in-situ meetresultaten op een glad, reflecterend wegdek (uit [2])

2.2 Reductie van het hoorn-effect door geluidsabsorptie

De versterking van het band/wegdek geluid door het hoorn-effect is tamelijk effectief te reduceren door een geluidsabsorberende deklaag toe te passen. De afstraalefficiëntie van de hoorn wordt drastisch verminderd doordat de reflecties aan één zijde van de hoorn deels wegvallen. Het is dan wel belangrijk om hierbij de sterke frequentieafhankelijkheid van het hoorn-effect mee te wegen.

In figuur 3 is een voorbeeld gegeven van meetresultaten op twee geluidabsorberende deklaagen waaruit dit belang naar voren komt. Het betreft een 50 mm ZOAB deklaag (blauwe lijnen) en een 70 mm tweelaags ZOAB deklaag (groene lijnen). In de onderste grafiek van figuur 3 is het absorptiespectrum weergegeven, ofwel de geluidsabsorptiecoëfficiënt als functie van de frequentie. Uit deze figuur blijkt dat beide wegdekken een uitstekende geluidsabsorptie hebben die oploopt tot zo'n 90%, alleen is de frequentie waarbij de absorptie het hoogst is verschillend. Voor het tweelaags ZOAB vindt geluidsabsorptie plaats bij lagere frequenties (circa 600 Hz) dan voor ZOAB (circa 900 Hz).



figuur 3 – boven: reductie van het geluid door een poreus wegdek (ZOAB/tweelaags ZOAB) als functie van de frequentie, ten opzichte van een reflecterend wegdek; onder: geluidsabsorptiespectrum voor deze wegdekken; opvallend is het verschil in de mate van geluidreductie, terwijl de geluidsabsorptie voor beide wegdekken even hoog is

In de bovenste grafiek van figuur 3 is het geluidreducerend effect van beide absorberende deklaagen weergegeven, ook als functie van de frequentie. Het geluidreducerend effect is bepaald met een stationaire meetopstelling waarmee het hoorneffect bepaald kan worden (zie [3] voor details). In deze grafiek is het verschil weergegeven van de meting op de poreuze deklaag ten opzichte van de meting op een dichte, reflecterende deklaag. Uit de grafiek valt af te lezen dat het geluidreducerende effect als gevolg van de geluidsabsorberende eigenschappen kan oplopen tot 15 dB. Opvallend is echter dat het geluidreducerend effect voor het tweelaags ZOAB lager is (tot -10 dB bij 700 Hz) dan voor het ZOAB (tot -15 dB bij 1000 Hz). De verklaring hiervoor is het feit dat de versterking door het hoorneffect bij 700 Hz aanzienlijk kleiner is (zie figuur 2). Er valt bij lagere frequenties simpelweg minder geluid te reduceren. Daardoor is geluidsabsorptie bij lagere frequenties minder effectief.

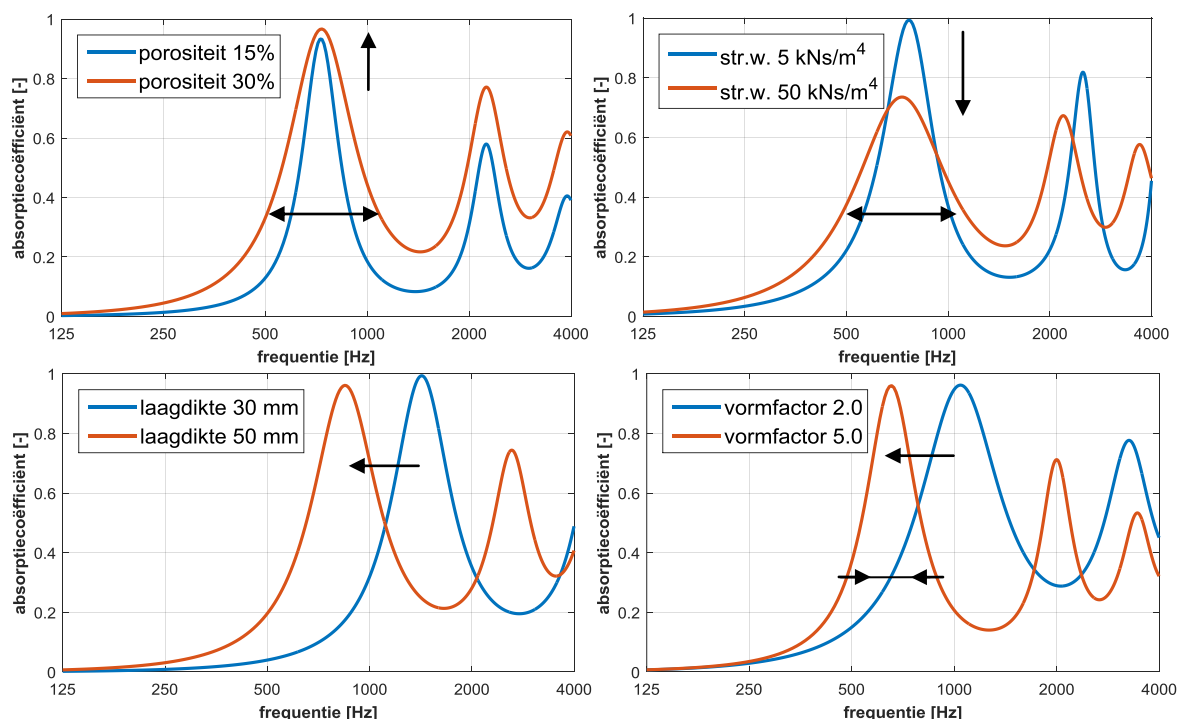
Voor de geluidreductie van een poreuze deklaag is het van belang om een hoge mate van geluidsabsorptie te bereiken, over een breed frequentiegebied. Het is echter inherent aan een granulair materiaal als asfalt dat de geluidsabsorptie sterke pieken en dalen kent, zoals beneden in figuur 3 te zien is. Uit de bovenstaande onderzoeksresultaten blijkt dan dat het minstens net zo belangrijk is, of wellicht nog belangrijker, dat de absorptiepiek op de juiste plek ligt, ofwel dat de hoogste absorptie optreedt bij de juiste frequenties. Bij het ontwerp en de aanleg van een poreuze deklaag kan men de frequentie van de absorptiepiek beïnvloeden door het aanpassen van de laagdikte, maar ook door de eigenschappen van de holle ruimte te wijzigen. Dat geeft de producent dus de mogelijkheid om een hogere geluidreductie te bereiken, door het ontwerp van de deklaag aan te passen aan de optimale frequentiecarakteristiek van de geluidsabsorptie.

3. Relatie tussen holle ruimte en geluidsabsorptie

3.1 Holle ruimte parameters

De geluidsabsorberende eigenschappen van poreuze materialen zijn uitgebreid onderzocht en beschreven (bijv. [4] en [6]). Specifiek voor poreuze deklaagen zijn ook modellen beschikbaar (bijv. [5]) die kunnen worden gebruikt om de geluidsabsorptie te berekenen van een poreuze asfaltlaag, als functie van vier invoerparameters:

- de porositeit, ofwel het percentage holle ruimte;
- de stromingsweerstand, ofwel de mate van weerstand die de bewegende lucht in het materiaal ondervindt als gevolg van viskeuze krachten en thermische eigenschappen;
- de laagdikte;
- de vormfactor of tortuositeit: een dimensieloos getal dat aangeeft in hoeverre de luchtkanaaltjes in het materiaal recht zijn (tortuositeit = 1) of juist kronkelig en krom (tortuositeit > 1); in sommige modellen wordt ook de variatie in breedte van de kanaaltjes of de mate van vertakking meegewogen in de vormfactor.



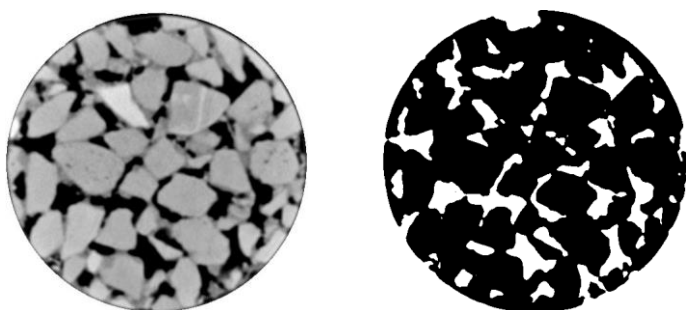
figuur 4 – Invloed van de holle ruimte parameters op de geluidsabsorptie voor een enkellaags poreus wegdek. Absorptiespectra zijn berekend met het model van Hamet [5]. De pijlen geven aan wat er gebeurt als de waarde toeneemt. Linksboven: porositeit; rechtsboven: stromingsweerstand; linksonder: laagdikte; rechtsonder: vormfactor.

Op basis van deze vier getallen kan de geluidsabsorptie van een poreuze deklaag als functie van de frequentie worden berekend. Als de deklaag uit meerdere, verschillende lagen bestaat (zoals bij tweelaags ZOAB het geval is), dan worden deze vier parameters voor elke laag apart ingevoerd. In figuur 4 is voor een enkele asfaltlaag (bijv. ZOAB) weergegeven wat er gebeurt met het absorptiespectrum als de waarde van elke parameter toeneemt.

Deze parameters zijn gerelateerd aan het ontwerp van het asfalt en aan de wijze van aanleg en verdichting. De laagdikte is een directe ontwerpparameter. Het percentage holle ruimte hangt af van de steengradering, het gehalte aan vulmiddel en de zeefkromme, maar ook van de verdichtingsgraad. De relatie tussen asfaltparameters en stromingsweerstand is niet goed bekend, al is het logisch dat de stromingsweerstand vooral bepaald wordt door de breedte van de luchtkanaaltjes (poriën) in het materiaal. Een kleinere steengradering zorgt voor smallere poriën en zal daarmee voor een hogere stromingsweerstand zorgen. De relatie tussen asfaltparameters en de vormfactor is nog vrijwel onbekend.

3.2 Bepalen van de parameters met behulp van CT-scans

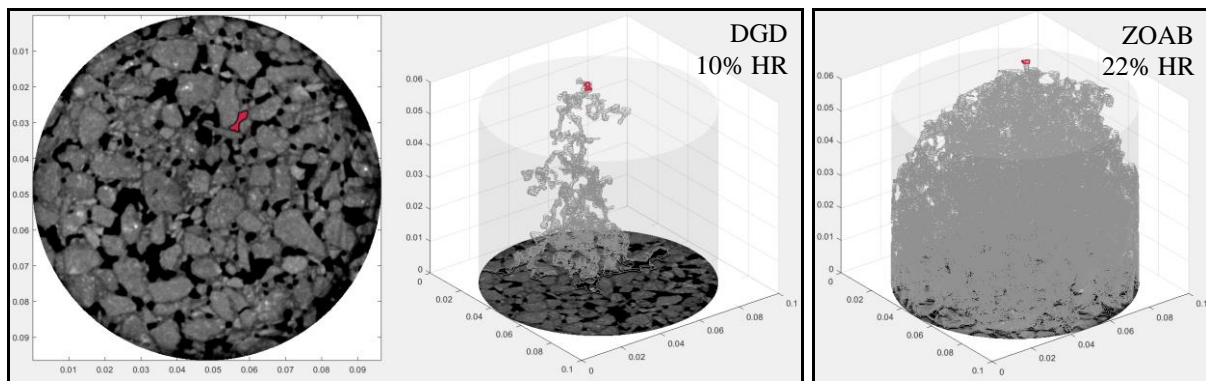
Om het wegdek te kunnen optimaliseren voor geluidsabsorptie is meer onderzoek nodig naar de relatie tussen de asfaltparameters en de absorptieparameters en uiteindelijk ook met het absorptiespectrum. Het spectrum van de geluidsabsorptie kunnen we meten aan boorkernen of proefstukken. Tot nu toe beschikten we echter niet over alle meetmethoden om de absorptieparameters zelf te kunnen bepalen. Voor laagdikte, porositeit en stromingsweerstand zijn gestandaardiseerde methoden voorhanden. Voor de vormfactor zijn in de literatuur enkel experimentele meetmethoden beschreven. Een nadeel van alle vier de meetmethoden is dat er maar één waarde uitkomt voor het hele proefstuk. Op kleine schaal vinden echter behoorlijke variaties plaats: het percentage holle ruimte en de breedte van de verschillende poriën kunnen behoorlijk variëren van boven tot beneden in de deklaag. Dat geldt uiteraard voor tweelaags ZOAB, maar ook binnen één materiaal kunnen variaties optreden die de geluidsabsorptie beïnvloeden.



figuur 5 – links: grijswaarde afbeelding van een doorsnede uit de CT-scan van een ZOAB 11/16; rechts: resultaat van de vertaling naar holle ruimte (wit = lucht, zwart = overig)

Voor ons onderzoek hebben we daarom van een aantal boorkernen CT-scans laten maken, bij TU Delft en Wageningen University. In figuur 5 is als voorbeeld een doorsnede weergegeven

van een boorkern ZOAB 11/16. In de grijswaarde van deze afbeelding vallen de verschillende componenten te herkennen: lichtgrijs = steen, donkergrijs = bitumen, zwart = lucht. M+P heeft een analyse ontwikkeld waarmee we uit deze grijswaarde afbeeldingen de holle ruimte in het materiaal in 3D kunnen reconstrueren (zie figuur 6). In onze analyse bepalen we welke holle ruimten in het materiaal met elkaar verbonden zijn. We starten bij één gaatje boven in de boorkern en we kijken plakje voor plakje naar beneden toe welke holle ruimtes met dit gaatje verbonden zijn. Alle holle ruimte die verbonden is met het gaatje bovenin vormt samen één luchtkanaal (porie). In figuur 6 is voor twee verschillende poreuze dekklagen één zo'n porie weergegeven. In deze figuur valt op dat voor een ZOAB met gemiddeld circa 22% holle ruimte een totaal ander beeld ontstaat dan voor een DGD met gemiddeld circa 10% holle ruimte. Voor ZOAB is er niet zozeer meer sprake van een enkel kanaal, maar ontstaat een heel netwerk aan vertakkingen dat aan een mierenhoop doet denken.

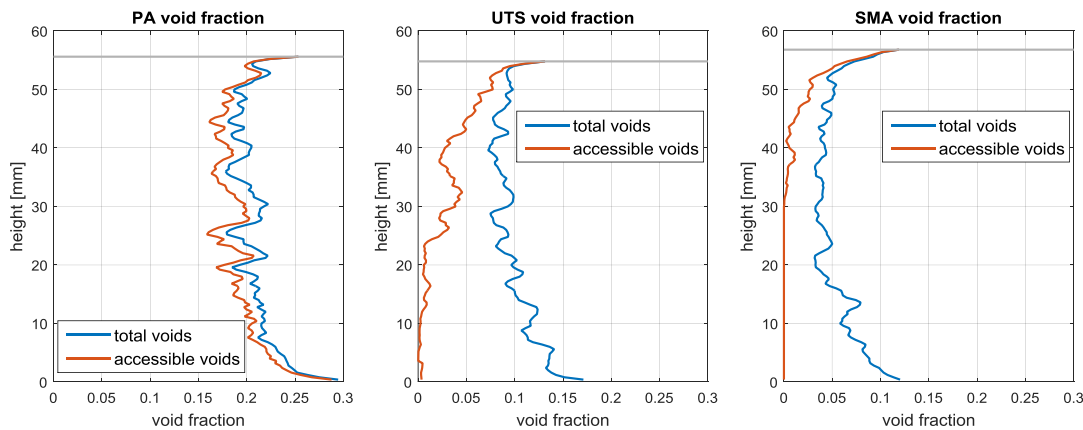


figuur 6 – links: CT-scan van de bovenzijde van een boorkern DGD (ca. 10% HR), met in rood een ingang van een luchtkanaal; midden: het hele luchtkanaal in 3D, bestaande uit alle holle ruimte in de laag van 60 mm die verbonden is met deze ene ingang; rechts: één porie van een ZOAB 11/16 boorkern (ca. 22% HR)

3.3 Totale vs. toegankelijke holle ruimte

Niet alle holle ruimte in het materiaal draagt bij aan de geluidsabsorptie. Om geluid te absorberen moet de geluidsgolf, die van bovenaf invalt, immers wel in het materiaal kunnen doordringen. Daarom starten we bij de analyse, zoals in de vorige paragraaf beschreven, ook telkens vanaf een gaatje bovenin de boorkern en volgen de betreffende porie naar beneden. Sommige poriën lopen daarbij ook niet door tot de onderkant van de deklaag, wanneer de porie eindigt in een afgesloten holte.

In figuur 7 worden voor drie verschillende dekklagen, met verschillende percentages holle ruimte, zowel het totale holle ruimte percentage als het toegankelijke holle ruimte percentage weergegeven. Elke grafiek geeft van boven (ca. 55 mm) tot beneden (0 mm) aan hoeveel procent van het totale oppervlak van de dwarsdoorsnede uit holle ruimte bestaat. Opvallend is dat voor ZOAB (linker grafiek, ca. 22% HR)) vrijwel alle holle ruimte in het materiaal ook toegankelijk is. Voor het SMA wegdek (rechter grafiek, ca. 4% HR) is de holle ruimte in de onderste 30 mm van het materiaal helemaal niet meer toegankelijk. De middelste grafiek van figuur 7 geeft het resultaat voor een “dunne deklaag”, of in elk geval een poreuze deklaag met circa 10% totale holle ruimte. Voor dit materiaal blijkt dat de holle ruimte beneden in de deklaag maar zeer beperkt te bereiken is. De “effectieve” laagdikte bedraagt dus slechts ongeveer 35 mm. Dikker maken van de deklaag heeft in dit geval dan ook geen toegevoegde waarde voor de geluidsabsorptie.



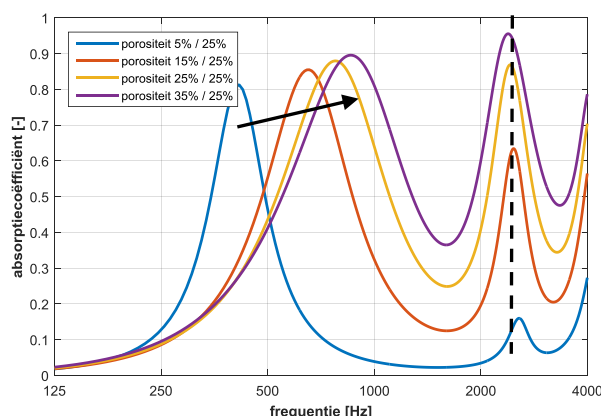
figuur 7 – Totale holle ruimte percentage vs. toegankelijke holle ruimte percentage, als functie van de hoogte in de boorkern. Links: ZOAB met ca. 22% totale holle ruimte, midden: ‘dunne’ deklaag met ca. 10% totale holle ruimte, onder: SMA met ca. 5% totale holle ruimte

4. Toepassing: optimalisatie van tweelaags ZOAB

4.1 Verhouding porositeit boven-/onderlaag

Voor een poreuze asfaltdeklaag is de laagdikte een belangrijke parameter die bepaalt bij welke frequenties de geluidsabsorptie plaatsvindt. Dit blijkt uit de modelberekeningen van figuur 4 (grafiek linksonder), maar dit is ook uit eerder meettechnisch onderzoek al bekend. Voor een enkele poreuze laag is de porositeit van het materiaal niet van invloed op de frequentie van de absorptiepiek (figuur 4 linksboven).

Voor tweelaags ZOAB blijkt echter, uit modelberekeningen en ook uit ons recente meettechnisch onderzoek, dat de porositeit wel degelijk een invloed heeft op de frequentie waarbij absorptie plaatsvindt. Specifiek gaat het dan om de verhouding van de porositeit van de toplaag ten opzichte van de porositeit van de onderlaag. Zoals te zien is in figuur 8, verschuift de eerste absorptiepiek naar hogere frequenties als de porositeitsverhouding boven-/onderlaag toeneemt. Of andersom: naarmate de porositeit van de toplaag afneemt, verschuift de absorptie naar lagere frequenties.

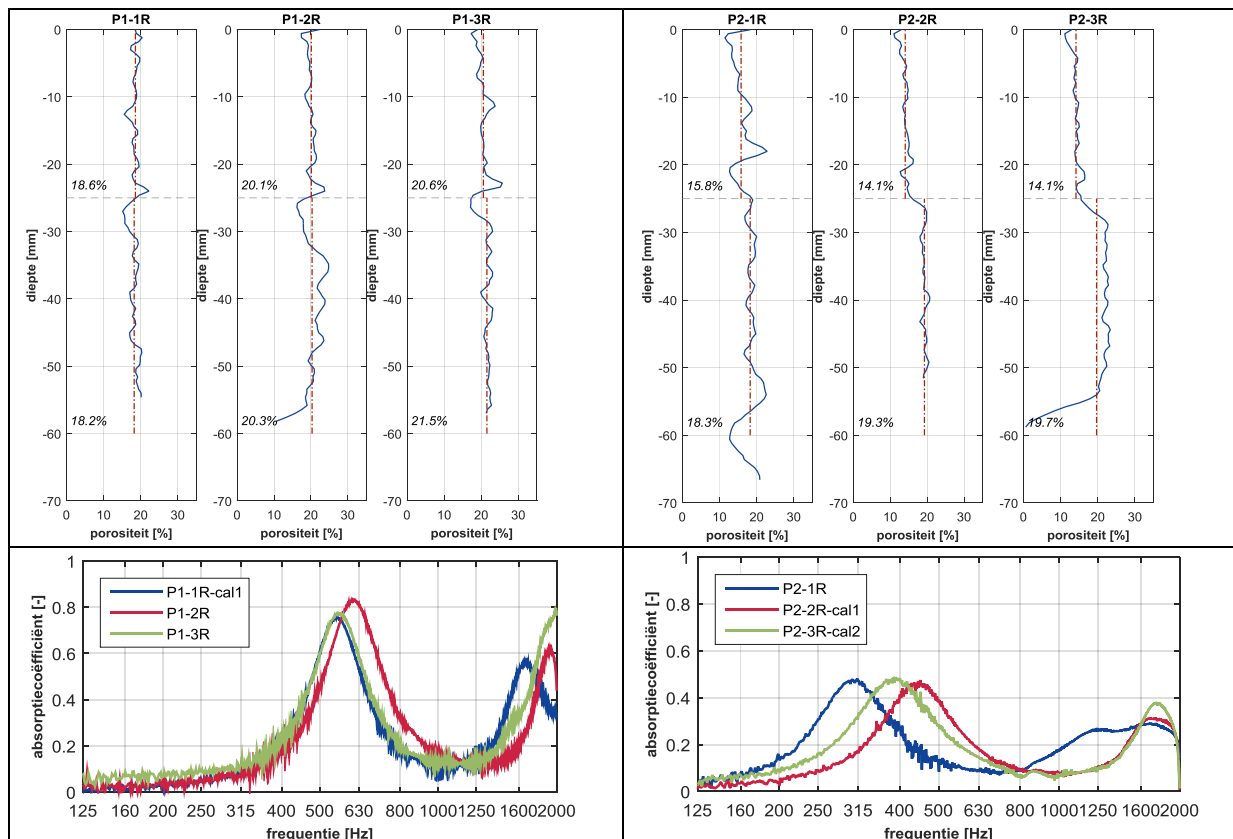


figuur 8 – Invloed van de porositeitsverhouding bij tweelaags ZOAB: als de porositeit van de bovenlaag toeneemt ten opzichte van de porositeit van de onderlaag, dan verschuift de absorptiepiek naar hogere frequenties

Voor twee varianten tweelaags ZOAB is de relatie tussen de porositeit van de toplaag en de geluidsabsorptie meettechnisch onderzocht (zie figuur 9). De variant P1 bestaat uit een tweelaags ZOAB met een 4/8 toplaag. De variant P2 heeft een toplaag die ten opzichte van variant 1 een grotere fractie fijne steenslag (2 – 4 mm) bevat. In de bovenste grafieken van figuur 9 is voor drie boorkernen van elke variant het verloop van de holle ruimte te zien als functie van de hoogte in de boorkern, bepaald met behulp van de CT-scans. Uit deze valt af te leiden dat de porositeit van de P2 variant significant lager ligt dan voor variant P1. Daardoor neemt de porositeitsverhouding boven-/onderlaag af.

In de onderste grafieken van figuur 9 is de geluidsabsorptie te zien die op deze zelfde boorkernen is gemeten met behulp van de impedantiebuis. Het valt op dat voor de P2 variant de eerste absorptiepiek bij lagere frequenties ligt, wat inderdaad klopt met de verwachtingen uit de modelberekeningen. Ook zien we dat de P2 variant een lagere mate van absorptie heeft: de maximale absorptiecoëfficiënt bedraagt slechts 0.5, terwijl deze voor P1 circa 0.8 bedraagt. Dit valt ook te verwachten omdat de porositeit lager is, maar waarschijnlijk ook de stromingsweerstand. Een hogere stromingsweerstand leidt tot een lagere absorptie (zie figuur 4).

Bij een tweelaags ZOAB bestaat tevens het gevaar dat de holle ruimte in de onderlaag niet goed toegankelijk is, wanneer de kleinere stenen van de bovenlaag bij het verdichten tussen de grotere stenen van de onderlaag worden geduwd. Het eerste vermoeden, op het moment dat we enkel nog over de resultaten van de absorptiemetingen beschikten, was ook dat dit de verklaring zou zijn voor de tegenvallende geluidsabsorptie van variant P2. Uit de CT-scans (figuur 9 boven) blijkt echter dat dit niet het geval is. Ter hoogte van het grensvlak tussen beide lagen (-25 mm) zien we dat het percentage holle ruimte niet significant lager ligt. De grenslaag tussen boven- en onderlaag is in dit geval dus niet het probleem; de lagere absorptie wordt verklaard door de lagere porositeit van de toplaag als geheel.



figuur 9 – boven: verloop holle ruimte voor boorkernen P1 en P2 (hogere fractie fijne steenslag); onder: geluidsabsorptie voor de zelfde boorkernen P1 en P2

5. Conclusies

Voor de geluidreductie van poreuze wegdekken is de geluidsabsorptie een belangrijke parameter. In paragraaf 2 hebben we laten zien dat het niet alleen belangrijk is om een hoge mate van absorptie te bereiken, maar dat het minstens net zo belangrijk is om er voor te zorgen dat deze geluidsabsorptie plaatsvindt bij de juiste frequenties. De hoogste geluidsabsorptie moet plaatsvinden bij de frequenties waar het hoorn-effect voor de maximale versterking zorgt. Optimalisatie van de geluidsreductie is dus mogelijk door het asfaltontwerp goed af te stemmen op de gewenste geluidsabsorptie. De frequentie waarbij absorptie plaatsvindt kan worden beïnvloed door een andere laagdikte te kiezen: een dikkere laag geeft meer absorptie bij lagere frequenties. Er zijn echter ook andere eigenschappen van de holle ruimte die de geluidsabsorptie beïnvloeden: porositeit, stromingsweerstand en vormfactor. Voor tweelaags ZOAB hebben we met behulp van modellen, absorptiemetingen en CT-scans aangetoond dat de porositeit van de toplaag, ten opzichte van de onderlaag, ook een invloed heeft op de frequentie waarbij absorptie plaatsvindt.

Voor het ontwerp en de aanleg van tweelaags ZOAB levert dat een risico: als de porositeit van de toplaag tegenvalt, dan verschuift de geluidsabsorptie naar lagere frequenties. Door deze verschuiving wordt het hoorn-effect mogelijk minder effectief gereduceerd, wat leidt tot een lagere geluidreductie. Dit inzicht kan echter ook een kans bieden: door bewust een lagere porositeit van de toplaag te kiezen kan de totale laag dunner worden uitgevoerd, wat leidt tot een besparing van de kosten. Daarvoor is het wel van belang om bij het ontwerp, de productie en de aanleg van een poreuze deklaag de holle ruimte betrouwbaar en scherp onder controle te hebben.

We hebben laten zien dat CT-scans een waardevolle toevoeging zijn bij het onderzoeken van de holle ruimte in het materiaal. De details van de vorm van de holle ruimte en de mate van toegankelijkheid hebben een belangrijke invloed op de absorptie. De invloed van de vormfactor en de relatie van deze factor met de asfaltparameters wordt nog niet goed begrepen. Aanvullend onderzoek zal dan ook gericht zijn op het verbeteren van de CT-scan analyse op dit punt.

Literatuur

- [1] R. Graf, “*Tyre-road interaction noise*”, Ph. D. dissertation, University of Cambridge, December 2002
- [2] Ard Kuijpers et al., “*Acoustic Optimization Tool: RE4 – modeling refinements in the SPERoN framework*”, M+P rapport M+P.DWW.06.04.7, 31 augustus 2008
- [3] Bert Peeters en Ard Kuijpers, “*The effect of porous road surfaces on radiation and propagation of tyre noise*”, proc. Acoustics '08 Paris, p4305-4310, July 2008
- [4] C. Zwikker en C.W. Kosten, “*Sound absorbing materials*”, Elsevier Pub. Co., New York, 1949 (heruitgegeven door het Nederlands Akoestisch Genootschap in 2012)
- [5] J.F. Hamet en M. Bérenghier, “*Acoustical Characteristics of Porous Pavements: A New Phenomenological model*”, Internoise '93, Leuven, 1993
- [6] J. Allard en N. Atalla, “*Propagation of sound in porous media: modelling sound absorbing materials*”, 2e druk, John Wiley & Sons Ltd, Singapore, 2009