

beton

GOED
OP
WEG 

LEIDRAAD

Geoptimaliseerd
uitgeborsteld
beton



Voorwoord

Betonwegen en geluid. Daar bestaan zowel vooroordelen als onduidelijkheden over. Dit laatste in de zin van: ‘Wat is nu wel of niet mogelijk en wat moet je doen voor een optimaal resultaat?’

In de afgelopen decennia is op velerlei manieren gewerkt aan en onderzoek verricht naar de geluidreductie van betonwegen. Niet alleen in Nederland, maar ook elders in de wereld. In landen als België, Oostenrijk en Duitsland is uitgeborsteld beton voor betonwegen al bijna gemeengoed.

Deze ervaringen zijn bijeengebracht in deze voorliggende brochure, inclusief de resultaten uit proefnemingen en recente ervaringen in Nederland.

Vanaf het mengselontwerp voor het beton tot en met de uitvoering en kwaliteitscontrole, beschrijft deze brochure de aandachtspunten en aspecten die van belang zijn om een optimaal uitgeborsteld betonnen oppervlak te realiseren.

‘s-Hertogenbosch, februari 2012
Cement&BetonCentrum

ing. W.A. Kramer

Aandachtspunten

Betonsamenstelling

- Mengselsamenstelling is essentieel voor de te realiseren geluidreductie
- Gebroken kubisch toeslagmateriaal verdient de voorkeur voor optimaal resultaat
- Maximale korrelgrootte:
 - bij ongewapend/gedeuveld beton: $< 1/4$ van laagdikte
 - bij doorgaand gewapend beton: $< 1/3$ van laagdikte
- Bovenmaat van gradering grof toeslagmateriaal is van invloed op geluidreductie
- Betoncentrale vrijmaken voor betonproductie bovenlaag



Uitvoering

- Uitvoering bij voorkeur in tweelaagssysteem
- Onvlakheden leiden tot verhoging van geluidproductie
- Toepassing van supersmoother en sleepplaat hebben positieve invloed op te bereiken geluidreductie
- Uitborsteldiepte/textuurdiepte = $1/3$ van de kleinste korrelafmeting van het grofste toeslagmateriaal
- Zowel na aanbrengen vertrager als na uitborstelen: betonoppervlak nabehandelen



Kwaliteitscontrole

- Bij controle textuurdiepte volgens RAW-proef 76, glaskorrels in plaats van zand gebruiken
- Geluidmetingen controleren met behulp van CPX- en SPB-methode



Inhoud

	Pagina
Inleiding	5
Principe uitgeborsteld beton	6
Ontwikkeling uitgeborsteld beton	7
Oostenrijk	7
België	7
Zweden	7
Duitsland	7
Groot-Brittannië	8
Verenigde Staten	8
Ervaringen in Nederland	9
Ontwerpaspecten	12
Betontechnologische ontwerpaspecten	12
Geluidtechnische ontwerpaspecten	14
Uitvoering	15
Productie	15
Verwerking	15
Afwerking	16
Aanbrengen oppervlaktevertrager en nabehandelmiddel	17
Bescherming tegen uitdroging	17
Uitborstelen	18
Kwaliteitscontrole	19
Ingangscontrole steenslag	19
Textuurdiepte	19
Voorstel bestekseisen geluid	20
CROW-publicatie 200	20
Meetmethoden	21
SPB-methode	21
CPX-methode	22
Productie Controle Geluid	22
Literatuur	23
Colofon	25

Inleiding

Betonwegen hebben de reputatie een zeer lange levensduur te bezitten. Zelfs de toenemende hoeveelheid verkeer en het steeds zwaarder worden van de aslasten leiden niet tot het eerder bezwijken van betonwegen. Het tegendeel is zelfs het geval. Betonwegen overtreffen de levensduur met een factor 2 à 3 ten opzichte van asfalt. Het rijcomfort van oude betonwegen gaat weliswaar achteruit als gevolg van in het verleden gehanteerde plaatafmetingen (breuk en te grote voegbewegingen) en door de erosiegevoelige funderingen (pompeffect → trapjesvorming), maar de draagkracht is in veel gevallen gegarandeerd tot 60 jaar of meer. De oppervlakteafwerking van de conventionele betonweg bestaat uit een met een bezem aangebrachte textuur haaks op de rijrichting. Dit draagt bij tot een stroef wegdek, maar heeft wel als nadeel dat deze oppervlaktetextuur een hoge geluidproductie oplevert.

Geluidproblemen als gevolg van verkeer doen zich al min of meer voor vanaf de tijd dat het wiel is uitgevonden. Het is een bekend feit, dat de Romeinen 2000 jaar geleden al klaagden over verkeerslawaaï als gevolg van de wielovergangen over de onvlakke verhardingen.

Romeinse weg



De mogelijk eerste bekende klacht over geluid stamt van de Romeinse schrijver Marcus Valerius Martialis met de woorden 'Het geluid op de straten tijdens de nacht hoort zich aan alsof heel Rome door mijn slaapkamer onderweg is'. De eerste wetgeving van Julius Ceasar met betrekking tot lawaai stamt uit dezelfde periode (44 v.Chr.).

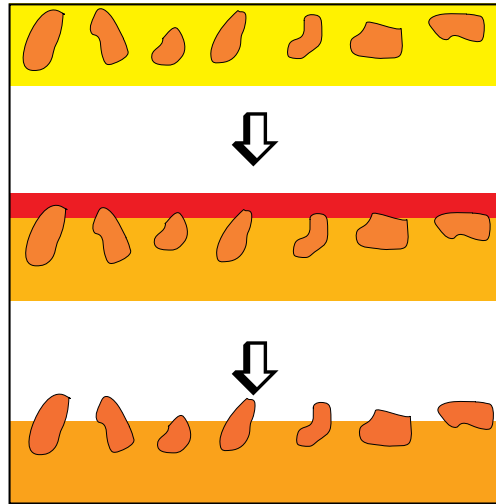
De wettelijke eisen in Nederland zijn vastgelegd in de Wet geluidhinder. Volgens het Reken- en meetvoorschrift hebben betonwegen met een grove gebezemde textuur een hogere geluidproductie ten opzichte van het referentiewegdektype dicht asfaltbeton (DAB). Hierdoor zijn er meer maatregelen nodig om het geluid op de gevel te verminderen. Het terugbrengen van de geluidproductie aan de bron zal het geluid op de gevel direct verminderen en er zijn minder aanvullende maatregelen nodig.

Vanaf het begin van de jaren 90 zijn niet alleen in Nederland betonwegen met een uitgeborsteld oppervlak uitgevoerd, maar ook in andere Europese landen zoals België, Oostenrijk, Zweden, Engeland en Duitsland. Het gevolg van deze oppervlakteafwerking is een geringere geluidproductie ten opzichte van de oudere werkwijzen. Er is echter een willekeur aan mengsamenstellingen toegepast en deze bezitten alle een kenmerkende reducerende werking. In CROW-publicatie 200 en op de website members.home.nl/stillewegen, zijn standaardwaarden per wegdektype voor de referentie voor motorvoertuigen weergegeven, de zogenoemde Referentie. De hierin vermelde waarden (wegdekcorrectiefactoren of C_{wegdek}) geven de gemiddelde geluidreductie ten opzichte van het referentiewegdek aan waarmee volgens de Wet geluidhinder gerekend moet worden. Omdat deze waarden een spreiding vertonen van ± 1 dB(A), kunnen deze niet als minimumeis in bestekken worden opgenomen.

(Geoptimaliseerd) uitgeborsteld betonnen wegoppervlakken hebben weliswaar na aanleg een geringere geluidreductie dan nieuw aangelegd zoab (zeer open asfaltbeton), maar de 'houdbaarheid' van deze geluidreductie is groter doordat de geluidreductie van zoab in de loop der jaren afneemt door vervuiling en rafeling. Ondanks recente meetdata is de beeldvorming vaak nog gebaseerd op oude of subjectieve inzichten.

Principe uitgeborsteld beton

Uitgeborsteld beton is een betonverharding waarvan de bovenste millimeters van de cementsteen worden verwijderd, zodat een geluidgereduceerd betonoppervlak ontstaat. Als gevolg van de hogere kosten van een uitgeborsteld betonoppervlak en met name bij de toepassing van geoptimaliseerd uitgeborsteld beton, zal een dergelijke betonverharding veelal in een tweelaagsbetonverharding worden uitgevoerd. Behoudens het aangepaste geoptimaliseerde beton voor de bovenlaag wordt geoptimaliseerd uitgeborsteld beton traditioneel met twee slipformpavers of een tweelagenslipformpaver aangebracht. Het oppervlak wordt daarna echter besproeid met een oppervlaktevertrager in plaats van een curing-compound, gevolgd door het afdekken met een plasticfolie, zodat uitdroging wordt voorkomen. Zodra de betonverharding voldoende is verhard en het oppervlak nog voldoende is vertraagd, kan met het uitborstelen worden gestart. De bovenste laag van de cementmortel kan dan volgens de in het geschiktheidsonderzoek (betontechnologisch en geluidtechnisch) vastgestelde diepte worden uitgeborsteld.



Schematische weergave van het principe van uitgeborsteld beton

De mengselsamenstelling van de (bovenste laag van de) betonverharding is van essentieel belang voor de te realiseren geluidreductie. Over het algemeen geldt hoe grover de textuur, hoe lager de geluidreductie. Daarnaast wordt er een *gap-graded* samenstelling (discontinu mengsel) toegepast om de grove korrels zo dicht mogelijk op elkaar te plaatsen. Op deze wijze ontstaat een zo vlak mogelijk oppervlak, wat leidt tot een reductie van de mechanische geluidopwekking.

Wat is geluidreductie en C_{wegdek} ?

De totale geluidproductie van een weg hangt met name af van de hoeveelheid verkeer en de snelheid ervan. Maar ook de invloed van het wegdektype is van belang. Deze wordt in de Wet geluidhinder de Wegdekcorrectieterm (C_{wegdek}) genoemd en deze term geeft aan hoeveel dB(A) het wegdektype luider of stiller is dan een referentiewegdektype (Referentie). De C_{wegdek} is een eigenschap van het wegdektype en hangt van de rijsnelheid af. De C_{wegdek} wordt bepaald aan de hand van geluidmetingen aan meerdere (minimaal vijf) vakken. De Referentie is dicht asfaltbeton zowel bij geluidmetingen als -berekeningen. Indien er bij een reconstructie van een weg te veel geluid wordt verwacht, kan men door het meenemen van de juiste C_{wegdek} de geluidbelastingen binnen de wettelijke waarden houden. Van de daarop aangelegde weg kan dan gemeten worden of de werkelijk behaalde geluidreductie ten opzichte van de Referentie voldoet aan de vereiste C_{wegdek} . Geluidreductie en C_{wegdek} zijn dus verschillende begrippen, maar ze worden vaak door elkaar gebruikt.

Ontwikkeling uitgeborsteld beton

E34 Antwerpen - Beveren

De eerste ervaringen met uitgeborsteld beton, toentertijd nog bekend als uitgewassen beton, zijn opgedaan in Oostenrijk. Dr. H. Sommer van de Vereinigung der Österreichische Zementindustrie (VÖZ), heeft vanaf eind jaren 80 veel onderzoek aan uitgeborsteld beton uitgevoerd. Het interessante van zijn werkzaamheden is dat dit zowel de research als de praktijk (vanaf begin jaren 90) betreft. Zijn opvolger Dr. J. Steigenberger heeft deze traditie voortgezet. Op deze wijze is in Oostenrijk al meer dan 12 miljoen m² in uitgeborsteld beton uitgevoerd.

Aan zowel uitgeborsteld beton als aan andere typen beton wordt permanent onderzoek gedaan om de geluidemissie te verminderen.

Oostenrijk

Zoals aangegeven is Oostenrijk in het kader van geluidreductie de bakermat van het uitgeborsteld beton. Uit geluidmetingen blijkt dat men geluidreducties ten opzichte van conventioneel gebezemd beton tot 5 dB(A) heeft gerealiseerd. Voor de controle van het oppervlak wordt naast de textuurdiepte ook het aantal profielpunten per 25 cm² bepaald.

Autosnelweg bij Wenen



België

In België zijn goede resultaten geboekt en hier zijn de proefvakken in Herne vermeldenswaard. Meetdata tonen aan dat:

- uitgeborsteld beton ruim 2 dB(A) stiller is dan grof gebezemd beton;
- geoptimaliseerd uitgeborsteld beton ruim 5 dB(A) stiller is dan grof gebezemd beton.

Het geoptimaliseerd uitgeborsteld beton in België is enigszins stiller dan de standaardwaarde in Nederland. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat destijds bij certificering op basis van C_{wegdek} er minimaal vijf wegvakken meegenomen dienden te worden. In Nederland zijn ook vakken die akoestisch minder voldeden in de certificering meegenomen. Verder blijkt uit de meetdata dat geoptimaliseerd uitgeborsteld beton 2 dB(A) stiller is dan de referentie DAB.



Zweden

In Zweden zijn diverse uitgeborstelde beton-texturen gerealiseerd, al was het in eerste instantie niet de bedoeling om geluidreductie te realiseren. De Zweden rijden in de winter met spijkerbanden waardoor de bezemtextuur beschadigt en los gereden wordt. Hierdoor ontstaat er visuele 'spoorvorming', alsof het betonoppervlak van slechte kwaliteit is, wat zeker niet het geval is. Daardoor roept een betonweg ten onrechte een negatief beeld op. Om dit onterechte negatieve beeld te voorkomen, is besloten om nieuwe betonwegen in elk geval in uitgeborsteld beton uit te voeren.

Duitsland

In Duitsland worden betonnen autosnelwegen sinds 2007 steeds vaker uitgevoerd in uitgeborsteld beton. De ZTV Beton-StB 07 biedt overigens nog de mogelijkheid om de betonverharding te voorzien van een bezemtextuur of

met een textuur die wordt gerealiseerd met het naslepen van een kunstgrasmat. Deze voldoen echter in mindere mate aan de geluidaspecten. Er zijn volgens de ZTV Beton-StB 07 na het aanbrengen van de oppervlaktevertrager twee nabehandelmogelijkheden:

- aanbrengen van een nabehandelmiddel (het nabehandelmiddel moet zijn afgestemd op de oppervlaktevertrager);
- aanbrengen van een PE-folie tot en met het uitborstelen.

De eisen die aan de textuurdiepte worden gesteld, liggen tussen 0,6 mm en 1,1 mm. Metingen bij hoge snelheden (120 km/h) aan uitgeborsteld beton laten zien dat dit 2 dB(A) stiller is dan de Referentie.

Groot-Brittannië

In Groot-Brittannië is de A13 Wennington-MarDyke uitgevoerd in een éénlaagssysteem uitgewassen beton in een discontinue gradering 10/14 mm. Oorspronkelijk was hiervoor een tweelaagssysteem met een 4/7 mm toplaag bedacht, maar het bleek niet mogelijk binnen de korte uitvoeringstermijn te beschikken over twee slipformpavers. Het wegvak is uitgevoerd in doorgaand gewapend beton. De gerealiseerde uitwasdiepte is $1,5 \pm 0,3$ mm. Enkele conclusies van dit project:

- het gebruikte mengsel had de neiging te ontmengen;
- de platte stukken van het toeslagmateriaal komen plat aan het oppervlak te liggen. Dit heeft een nadelige invloed op de stroefheid en de geluidreductie;
- het uitgewassen beton is 4 dB(A) stiller dan het zogenoemde Hot Rolled Asphalt (HRA) of SMA 0/14. Na analyse met de nodige aannames volgt hieruit dat het uitgewassen beton akoestisch vergelijkbaar is met DAB 0/16 in Nederland;
- in Groot-Brittannië mogen auto(snel)wegen nu uitgevoerd worden in uitgewassen beton 10/14 of SMA 0/14;
- de belangrijkste conclusie is dat een discontinue betonmengsel gelijkmatig en grootschalig kan worden verwerkt.

Opvallend is dat de vertrager met halve banen overlap op de verse betonspecie werd aangebracht. De indruk is dat dit leidt tot een homogene verdeling van de vertrager. De toegepaste vertrager 'Whisperard' combineert de functie van vertrager en curing compound.

Verenigde Staten

In de Verenigde Staten is het gebruikelijk om betonwegen te voorzien van een oppervlaktbewerking door middel van *tining* in de dwarsrichting. Hierbij wordt een bezemstreek aangebracht, waarbij de stalen 'haren' op een h.o.h.-afstand van 1 à 1,5 cm staan. Om de geluidproductie te verlagen zijn in eerste instantie deze texturen vervangen door *tining* in de lengterichting en wordt *grinding* (slijpen) toegepast.

Slijpen is een techniek die regelmatig wordt toegepast om de vlakheid en de stroefheid te verbeteren. Geluidtechnische aspecten kunnen daar sinds kort aan worden toegevoegd. Ten opzichte van een dwarsgeveegd (kam) beton is de gemeten verbetering 5 dB(A) voor lichte motorvoertuigen en 2 dB(A) voor zware. Op vier proefvakken met langsgeveegd (kam) beton op State Route 202 is door slijpen een verbetering van 3 tot 6 dB(A) gemeten.

Hiermee werd in beide gevallen een geluid-emissieverschil van ongeveer 0 dB(A) gemeten ten opzichte van de Nederlandse Referentie. Dit komt voor lichte motorvoertuigen globaal overeen met resultaten uit Nederland.



Wat is grinding?

Het woord grinding komt uit het Engels en wordt in het Nederlands ook als zodanig uitgesproken. Grinding is een bewerking van een verhard betonoppervlak. Dit kan een oude betonweg zijn om de stroefheid en vlakheid te verhogen, maar het is ook een uitstekende methode om geluidreductie te realiseren. Daarom zou men ervoor kunnen kiezen om dit op een nieuwe betonverharding uit te voeren. Grinding geschiedt met behulp van een 'bumpcutter' die is voorzien van een horizontaal draaiende rol waarop diamantzaagbladen zijn gemonteerd. De bladen dienen voor geluidreductie 3 mm uit elkaar te staan, de breedte van de zaagbladen moet eveneens 3 mm zijn. Grinding vindt altijd in de lengterichting plaats, dus in de rijrichting.



*Afwerking met
supersmoother*

Ervaringen in Nederland

In Nederland is sinds het begin van de jaren 80 een aantal wegen in uitgeborsteld beton uitgevoerd. Met name in de beginfase zijn grove toeslagmaterialen in het oppervlak toegepast. Deze wegen karakteriseren zich door de relatief hoge geluidproductie. In de hierop volgende jaren is in de bovenlaag een verhoogde hoeveelheid steenslag 4/8 verwerkt. Dit resulteerde weliswaar in betere geluidwaarden, maar die zijn naar de huidige maatstaven nog verre van de beoogde waarden. Dit heeft uiteindelijk tot gevolg gehad dat de bovenlaag van uitgeborstelde betonwegen vandaag de dag geen grover toeslagmateriaal > 8 mm bevatten. Van een werkelijke optimalisatie ten aanzien van de maximaal haalbare geluidreductie is tot het jaar 2000 echter geen sprake geweest. In 2000 is een eerste grootschalige proefopzet uitgevoerd door de Provincie Noord-Brabant op de N279 op het gedeelte Helmond-Veghel. Op basis van deze ervaringen is in 2008/2009 in Apeldoorn de noordelijke ontsluitingsweg (Oost Veluwe-weg) uitgevoerd.

N279 gedeelte Helmond-Veghel

De doelstellingen van de grootschalige proefopzet op het gedeelte Helmond-Veghel waren op hoofdlijnen:

- toetsen van de aanbevelingen van de CROW-subgroep 'Optimalisatie uitgewassen beton' in grootschalige proefvakken;
- verkrijgen van bruikbare recepten, die uitvoerbaar zijn in één dan wel twee lagen;
- toetsen van de ervaringen en inzichten die binnen de Overleggroep Infra Betonwegen van de provincie Noord-Brabant leven;
- verkrijgen van inzicht in de invloed van de uitvoeringswijze op de geluidreductie;
- verkrijgen van inzicht in het verloop van de stroefheid over de volledige levensduur van de verharding.

In totaal zijn er achttien proefvakken in één dan wel twee lagen uitgevoerd, waarbij gevarieerd is met het toeslagmateriaal, de gradering, de oppervlaktevertrager, de uitborsteldiepte en het effect van het afwerken met een supersmoother. Er is uitsluitend gebruik gemaakt van bestaande technieken en materialen, er is dus geen sprake geweest van experimentele proefvakken.

Resultaten N279

Geluid

Bij het onderzoek zijn diverse geluidmetingen uitgevoerd. Hieruit bleek dat de fijnere mengsels (Grauwkwartsiet 5/8 en Nederlandse steenslag 4/8) duidelijk beter scoorden dan de grovere mengsels (Grauwkwartsiet 11/16 en Nederlandse steenslag 4/22).

Voor lichte motorvoertuigen (personenauto's) lagen de geluidniveaus voor de fijne mengsels bij 80 km/h op het niveau van de Referentie. Dit geldt echter voor de uitvoering volgens het tweelaagsprincipe. De uitvoering in één laag gaf een 1 à 2 dB(A) hogere geluidemissie. Uit de rapportage blijkt dat hiervoor geen afdoende verklaring is gevonden. De geluidemissie bij de grovere mengsels lag circa 2 dB(A) hoger.

Bij zware motorvoertuigen (vrachtwagens) waren de geluidniveaus voor beide mengsels (fijn en grof) vergelijkbaar. De vakken met Grauwkwartsiet 5/8 en Nederlandse steenslag 4/8 waren echter het geluidarmst (-2 dB(A) lager dan de Referentie). Uitzondering was een

N279 Fijnere mengsels	Geluidreductie t.o.v. Referentie		
	Uitvoering	Lichte voertuigen	Zware voertuigen
Grauwkwartsiet 5/8 en	2-laags	0 dB(A)	-2 dB(A)
Nederlandse steenslag 4/8	1-laags	+1 a 2 dB(A)	0 dB(A)
Grove mengsels	2-laags	+2 dB(A)	-2 dB(A)

Wat is geluid?

Geluid is een kleine maar snelle verandering van de luchtdruk die zich als een geluidsgolf door de lucht voortbeweegt. De geluidssnelheid is de snelheid waarmee geluidgolven zich voortbewegen door de lucht en bedraagt bij kamertemperatuur circa 343 m/s ($\approx 1 \text{ km/3 s}$). Geluid kan door mensen of dieren worden waargenomen wanneer het trommelvlies van het oor in trilling wordt gebracht en het gehoororgaan deze trillingen verwerkt tot signalen die met de hersenen worden geïnterpreteerd. Als de veranderingen van de luchtdruk tussen 20 en 20.000 keer per seconde voorkomen, dan is geluid hoorbaar. Het gehoor is ook gevoelig voor de sterkte van het geluid. Heel zachte geluiden zijn pas hoorbaar vanaf een bepaald geluidsniveau, dat heet de gehoordrempel. Hierbij zijn de bewegingen van het trommelvlies zo klein als een diameter van een waterstofatoom. Heel harde geluiden zijn onaangenaam en vanaf ongeveer 120 dB treedt pijn op, dat wordt de pijngrens genoemd.

vak dat in één laag is uitgevoerd. Dit vak lag qua geluidsniveau gelijk aan de Referentie. De toepassing van een supersmoother leverde een geluidreductie op van circa 1 dB(A), ondanks het feit dat de textuurdiepte (uitborstel-diepte) geringer was dan bij de overige vakken. De lagere textuurdiepte werd echter duidelijk gecompenseerd door de hogere gerealiseerde vlakheid door de supersmoother.

Verder bleek uit de geluidmetingen dat Nederlandse steenslag 4/8 circa 0,5 dB(A) stiller is dan Grauwkwartsiet 5/8 en dat dit verschil bij de grovere fracties (Nederlandse steenslag 4/22 en Grauwkwartsiet 11/16) oploopt tot 1 dB(A).

Er is geen eenduidig verschil tussen 15% platte stukken en 30% platte stukken gevonden bij Grauwkwartsiet 5/8. Dit zou mogelijk verband kunnen houden met het feit dat er verschillende meetmethoden zijn toegepast. Hun onderlinge relatie is voor beton nog onvoldoende bekend.

De homogeniteit voor het éénlaagssysteem en het tweelaagssysteem is vergelijkbaar. Ook blijkt de werking van de supersmoother significant positief van invloed te zijn.

Stroefheid

De stroefheid van het wegooppervlak is met de Standaard RAW-methode (proef 150 uit de Standaard RAW-Bepalingen) uitgevoerd. Op 9 mei 2000 werden de eerste metingen uitgevoerd. Deze bleken met waarden tussen 0,38 en 0,48 tegen te vallen. Dit heeft ertoe geleid dat op 18 mei 2000 opnieuw metingen zijn uitgevoerd, nadat het oppervlak met een zoab-cleaner was gereinigd. Wederom bleven de stroefheidwaarden met 0,39 tot 0,50 achter bij de eis van 0,52.

Opgemerkt dient te worden, dat lage waarden kort na openstelling een bekend fenomeen bij uitgeborstelde en licht gebezemde structuren zijn. In de loop der tijd, wanneer het oppervlak werkelijk schoon gereden en zo ook ontdaan is van het nabehandelmiddel, stijgt de stroefheidwaarde en blijft daarna over vele jaren duidelijk boven de 0,45.

Nederlandse steenslag scoorde qua stroefheid duidelijk beter dan Grauwkwartsiet. Dit kan oplopen tot een verbetering van de stroefheid van 0,04 tot 0,13! Naast de bepaling van de stroefheid van het wegooppervlak volgens proef 150 zijn ook laboratoriumproeven op cilinders uit de weg volgens Wehner-Schulze uitgevoerd. Met behulp van deze proef kan men verschillen tussen materialen zichtbaar maken. De stroefheid na de eerste serie van 15.000 polijstomwentelingen leidde bij Nederlandse steenslag tot een zodanige verslechtering, dat de waarden op of onder de beginwaarde van Grauwkwartsiet kwamen te liggen. Het omgekeerde deed zich voor bij Grauwkwartsiet. Hier werden de stroefheidwaarden beter en na 45.000 omwentelingen zette zich dit fenomeen over het algemeen voort. Nederlandse steenslag heeft dan weliswaar een hogere aanvangsstroefheid, maar op langere termijn heeft Grauwkwartsiet de voorkeur.





Apeldoorn, Oost Veluweweg

In Apeldoorn bleek de Oost Veluweweg (ontsluitingsweg Apeldoorn Noord met de A50) te krap bemeten, onder meer doordat in Apeldoorn Noord een nieuw industriegebied is ontwikkeld. In 2007 is een afweging gemaakt tussen asfalt en beton. Door de positieve financiële aspecten, met name door de lange levensduur en het geringe onderhoud, is besloten de betonvariant nader te beschouwen.

Uniek in dit project is de korte lijn tussen de initiële mengselkeuze en de actuele constructie. Als gevolg van nieuwe fundamentele inzichten en modellen op het gebied van het ontstaan van geluidemissie is hierbij een nieuwe geavanceerde methodiek toegepast. Hierbij kon de gebruikelijke uitvoering van testvakken worden overgeslagen. Dit droeg ertoe bij dat er een significante reductie aan tijd en in het bijzonder aan kosten ontstond.

Het mengsel is met behulp van het programma SIROTOL ontworpen op basis van een gewenste geluidreductie van 2 dB(A). Het



project was opgedeeld in twee fasen waarbij in de tweede fase ervaringen uit de eerste fase konden worden toegepast. Dit heeft geleid tot de toepassing van Noors graniet.

Meetresultaten

Uit metingen vlak na aanleg bleek er bij 50 km/h een significant verschil te zijn van 1,4 dB(A) in de geluidemissie tussen de rijstroken in oostelijke en westelijke richting. Dit zou door opgereden vuil vanuit de berm kunnen zijn veroorzaakt. Uit de metingen bleek dat de gemiddelde geluidniveaus van fase II wat lager lagen dan die van fase I. Indien de wat afwijkende oostelijke richting niet werd meegenomen, dan was fase II significant stiller dan fase I. De gemiddelde geluidreductie bedroeg ongeveer 1,5 dB(A) terwijl uit het vooronderzoek 1,8 dB(A) was voorzien.

Uit latere geluidmetingen bij 80 km/h bleek opnieuw dat er een meetbaar verschil was tussen de resultaten in oostelijke en westelijke richting. De homogeniteit van de geluidtechnische eigenschappen was in beide richtingen goed. Verder was er geen meetbaar verschil meer tussen fase I en II. Uit deze metingen bleek dat het geoptimaliseerd uitgeborsteld beton bij 80 km/h ongeveer 1 dB(A) stiller was dan de Referentie. Verder zijn de meetgegevens volgens de CPX-methode gecorreleerd met de textuurmetingen.

Uit de metingen van het eerste vak bleek dat de minimale textuurdiepte 1,27 mm bedroeg. Een meer uniform uitborstelen op een niveau van 1,5 mm kan de geluidreductie volgens SIROTOL met nog eens 0,5 dB(A) doen toenemen.

Ontwerpaspecten

Betontechnologische ontwerpaspecten

Betonwegen worden doorgaans zwaar belast. Deze belastingen bestaan uit verkeer (hoeveelheid en steeds zwaarder wordend vrachtverkeer), temperatuur (hitte en vorst), veranderende temperatuurgradiënten en dooizouten. Een betonweg moet deze belastingen over de gehele (lange) levensduur kunnen opnemen zonder dat er voortijdige schade ontstaat.

Om dit te kunnen realiseren worden zowel aan de betonspecie als aan het verharde beton en de uiteindelijke betonweg hoge eisen gesteld. Voor de betonspecie valt hierbij te denken aan een goede verwerking, voldoende tijd om de betonspecie te verwerken en constante kwaliteit van de betonspecie.

Bij het verharde beton gelden de onderstaande facetten:

- hoge druk- en buigtreksterkte;
- hoge weerstand tegen polijsten;
- hoge vorst- en vorstdooizoutbestandheid;
- goede oppervlakte-eigenschappen zoals:
 - stroefheid;
 - vlakheid;

- lichtreflexie en kleur;
- waterafvoer;
- geluidemissie.

Om aan deze eigenschappen te kunnen voldoen, dient men het betonmengsel te ontwerpen op basis van NEN-EN 206-1/NEN 8005 en NEN-EN 13877 deel 1 en 2.

Samenstelling

Wegenbouwbeton wordt evenals 'gewoon' beton samengesteld uit cement, toeslagmaterialen, water en eventuele hulp- en vulstoffen. Wanneer in twee lagen wordt gewerkt, kunnen aan beide betonsoorten afzonderlijke eisen worden gesteld. Het toe te passen grof toeslagmateriaal is dan ook veelal verschillend voor beide lagen. Van belang is echter dat de vervormingen van beide met elkaar overeenkomen. Hierbij valt te denken aan de verhardingskrimp (chemische krimp) en de uitzettingscoëfficiënt. Bij de laatste is met name van belang dat men toeslagmaterialen met een gelijke warmtegeleidingcoëfficiënt gebruikt. Op deze wijze worden nutteloze extra spanningen voorkomen.

Uitvoering tweelaagssysteem



Cement

Voor de Nederlandse omstandigheden zijn zowel CEM I, CEM II B-V als CEM III geschikt voor toepassing in de wegenbouw. Wanneer er een risico voor alkali-silicareacties (ASR) bestaat, moet voor een cement met een laag alkaligehalte worden gekozen. Bij de toepassing van de gebruikelijke Nederlandse toeslagmaterialen bestaat er echter geen gevaar voor ASR.

Toeslagmaterialen

Als toeslagmaterialen voor de bovenlaag kunnen zand en steenslag worden gebruikt. Voor de onderlaag komen daar nog grind, gerecycleerde granulaten en industrieel vervaardigde granulaten bij. De granulaten moeten uiteraard voldoen aan de gestelde eisen voor de toepassing in betonwegen. Het betongranulaat mag bijvoorbeeld niet van een beton met een wcf $>0,45$ zijn, deze mag namelijk niet als vorstdooizoutbestand worden beschouwd. De maximale korrelgrootte moet kleiner zijn dan $1/4$ van de laagdikte en voor doorgaand gewapend beton geldt dat deze maximaal $1/3$ van de laagdikte mag zijn.

De vorm van de steenslag voor de bovenlaag moet kubisch zijn en het gehalte aan platte stukken moet tot een minimum worden beperkt. Op dit moment wordt als richtwaarde een maximum van 10% aangehouden. De maximale korrelgrootte voor in de bovenlaag wordt aangegeven onder geluidtechnische ontwerpaspecten.

Aanmaakwater

In het aanmaakwater mogen geen schadelijke stoffen voor beton voorkomen. Leidingwater is altijd geschikt, grondwater en natuurlijk oppervlaktewater alleen na onderzoek (regelmatig controleren).

Hulpstoffen

Hulpstoffen worden toegepast om de eigenschappen van beton te veranderen. Dit kan op basis van een chemische of een fysische werking zijn. In de wegenbouw worden in het algemeen de volgende hulpstoffen toegepast:

- gewone of superplastificeerders;
- luchtbelvormers;
- vertragers.

Gewone of superplastificeerders worden toegepast om de betonspecie een hogere plasticiteit te geven. Andersom kunnen zij bij gelijke plasticiteit de water-cementfactor reduceren.

Op deze wijze kan bijvoorbeeld de chemische krimp van de boven- en de onderlaag beter op elkaar worden afgestemd.

Luchtbelvormers zorgen ervoor dat de vorst- en vorstdooizoutbestandheid worden verhoogd. De luchtbelletjes gedragen zich als expansievaten voor de ijsvorming (volumevergroting). Voor Nederlandse omstandigheden is een luchtbelvormer volgens NEN 8005 vereist bij een wcf $>0,45$ en $<0,50$.



Vertragers zijn nodig wanneer de specie- en weersomstandigheden leiden tot onvoldoende verwerkingstijd. Juist bij hogere temperaturen wordt de chemische verharding van cement versneld; door het toevoegen van een vertrager kan dit enigszins worden uitgesteld.

Vulstoffen

Vulstoffen worden over het algemeen in de betonwegenbouw niet veel toegepast. In enkele gevallen, zoals bij een tekort aan fijne delen (veelvuldig herkenbaar aan extreme bleeding), kan het noodzakelijk zijn dit tekort aan te vullen met vulstoffen (silica, vliegias, kwarts- en kalkmeel). Opgemerkt dient te worden dat silica en vliegias tot uiteindelijk hogere betonsterkten zullen leiden.

Verhard beton

Bij het constructieve ontwerp (bepaling van de dikte) worden onder meer de sterkte-eigenschappen bepaald. Deze liggen in het algemeen op een karakteristieke druksterkte van 45 N/mm^2 aan de hand van kubussen en dit correspondeert met betonklasse C35/45. Betonwegen zijn afwisselend nat en droog, en komen ook regelmatig onder de 0°C . Om ijsvorming te voorkomen worden dooizouten



toegepast, reden om betonwegen onder te brengen in milieuklasse XF4. Voor de in het laboratorium vervaardigde proefstukken gelden NEN-EN 206 en NEN-EN 13877-1.

Voor de controle van het geproduceerde product (de betonweg) geldt NEN-EN 13877-2. Hierin staan de eisen vermeld van het eindproduct:

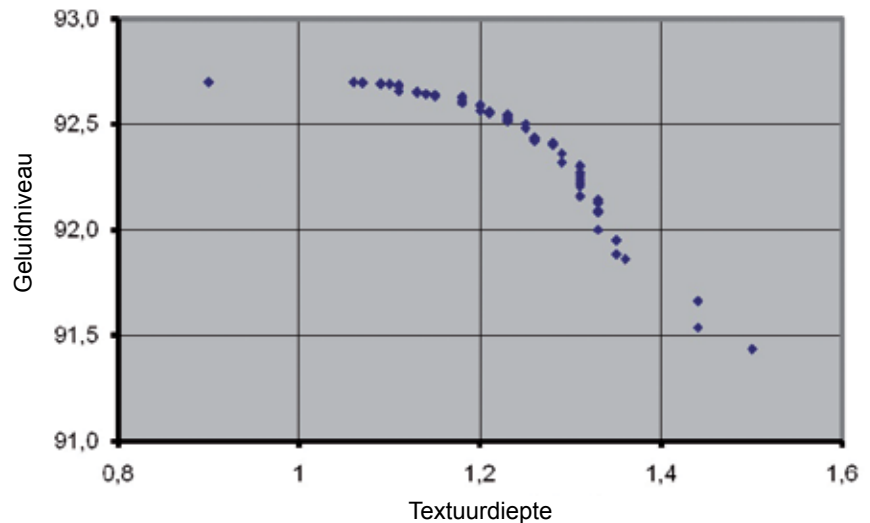
- druksterkte (uitgedrukt als bijvoorbeeld C35/45);
- dikte;
- dichtheid;
- vorst-dooizoutbestandheid (voor Nederland is in principe een $w_{cf} \leq 0,45$ voldoende);
- weerstand tegen spijkerbanden (voor Nederland niet van toepassing);
- hechting tussen twee lagen (bij het aanbrengen van beton op een reeds verharde betonverharding of bij twijfel of er werkelijk nat-in-nat is uitgevoerd).

Geluidtechnische ontwerpaspecten

Eén van de belangrijkste kenmerken voor het verkrijgen van een geluidarm beton is een *gap-graded* fijn mengsel. Dit zorgt ervoor dat de toppen van de stenen dicht bij elkaar komen te liggen. Indien de toppen te ver uit elkaar liggen, zal de impact daarvan op de autoband sterk toenemen en daarmee ook het rolgeluid. Verder speelt de bovenmaat van de gradering een belangrijke rol:

- indien een mengsel van 11 mm of grover wordt toegepast, kan er geen geluidreductie worden verwacht. Integendeel, de geluidemissie zal hoger zijn dan de Referentie.
- indien een mengsel van 8 mm wordt toegepast, is de te verwachten geluidreductie 1 à 2 dB(A).
- indien een mengsel van 5 mm wordt toegepast, is de te verwachten geluidreductie ruim 2 dB(A).

De rijsnelheid heeft geen grote invloed op bovenstaande verwachte geluidreducties. Aangezien geoptimaliseerd uitgeborsteld beton geen significante porositeit bezit, is de optimalisatie uitsluitend in de oppervlaktetextuur te behalen. De textuurmetingen worden uitgevoerd met behulp van een laser profielmeter volgens ISO 13473-1/2/3/4. De gevonden textuurwaarden kunnen niet in de Akoestische Optimalisatie Tool (AOT) van Rijkswaterstaat worden geanalyseerd omdat er in dat model (nog) geen data betonwegen zijn opgenomen. Specialistische modellen zoals SIROTOL, die



wel voor beton geschikt zijn, dienen dan te worden toegepast. De laagdikte van de toplaag is niet van belang voor de geluidemissie.

Relatie tussen geluidniveau (CPX) en textuurdiepte voor een 0/8 mengsel

De invloed van de uitwasdiepte heeft een grote invloed op de geluidemissie. Om akoestische redenen dient de uitwasdiepte dan ook maximaal te zijn. Daarentegen mag deze diepte in het kader van duurzaamheid niet te groot zijn in verband met het loslaten (rafeling) van de kleinere korrels. Als optimaal compromis wordt aangenomen dat de textuurdiepte 1/3 van de kleinste korrel van het grofste toeslagmateriaal behoort te zijn.

Wat is een Decibel?

Het geluidrukniveau is een logaritmische eenheid van de luchtdrukvariaties en heeft als eenheid de decibel (dB). Als referentiedruk wordt de gehoordrempel gebruikt. Voor geluid wordt om de volgende redenen de decibel gebruikt:

- geluid heeft een enorme bandbreedte, van 10^{-5} Pascal tot 10^{+5} Pascal of nog meer. Door de logaritmische schaal te gebruiken, worden de getallen redelijk klein, bijvoorbeeld geluidniveau in lucht varieert van 0 dB (de gehoordrempel) tot 120 dB (de pijngrens);
- het menselijk gehoor werkt ook min of meer volgens een logaritmische schaal. Een toename van 3 dB ervaart de mens als 'iets harder', terwijl de geluiddruk in Pascal dan 2x zo hoog is.

De gevoeligheid van ons gehoor is niet voor alle frequenties gelijk.

De grootste gevoeligheid bezit ons gehoor voor frequenties rond de 1000 Hz. Lagere en hogere tonen worden minder goed waargenomen. Deze worden gewogen met een zogenoemd A-filter, vandaar de eenheid dB(A). We spreken dan over het A-gewogen geluidrukniveau of kortweg geluidniveau.

Uitvoering

Productie

In principe zijn alle (natte) betoncentrales geschikt voor het produceren van betonspecie voor wegverhardingen en de uitvoering ervan in twee lagen. Daar er aan deze betonspecie over het algemeen hogere eisen worden gesteld dan aan de gebruikelijke standaard betonspecie hebben dwang- of trogmengers de voorkeur boven vrijvalmengers. Deze intensieve menging is noodzakelijk bij relatief droge mengsels zoals deze in de wegenbouw worden toegepast.

Bij geoptimaliseerd uitgeborsteld beton is met name de boven- of top laag, het uiteindelijke vlak waarmee de band contact heeft, van belang. Voor de top laag dient een betoncentrale te worden vrijgemaakt, die dus uitsluitend de bovenlaag produceert! Wanneer men meerdere betonspecierecepten produceert, loopt men het gevaar dat afwijkende korrelgrootten/-vormen in het oppervlak terechtkomen. Deze leiden dan onherroepelijk tot een afwijkend geluidsniveau. Zelfs wanneer men de betoncentrale zou spoelen na elk afwijkend mengsel (ander recept) blijft dit restrisico bestaan en kunnen zelfs afwijkende plasticiteiten ontstaan door de hoeveelheid restwater in de betonmenger.

Opslag

De opslag van de toeslagmaterialen verdient ten opzichte van de gebruikelijke processen ook meer aandacht. De scheiding van materialen is hier met het oog op de geluidaspecten nog belangrijker. Opgemerkt dient te worden dat de plasticiteit van het mengsel op een constant niveau dient te blijven, daar elke onvlakheid, dus ook door toedoen van plasticiteitsverschillen, leidt tot een afwijkend geluidsniveau. De productie op zich behoeft verder geen extra maatregelen.

Transport

Het transport van de betonspecie kan met gebruikelijke kippers plaatsvinden. Deze dienen te zijn voorzien van afdekkleppen, zodat de betonspecie niet de kans krijgt om uit te

drogen. De bakken van de kippers mogen niet uit aluminium bestaan. Direct contact tussen aluminium en de betonspecie leidt namelijk tot een chemische reactie waarbij waterstofgas vrijkomt. Tijdens het verdichten stijgt het gas omhoog, waarbij trechtervormige poriën ontstaan.

Tijdens het transport kan bij te plastische mengsels een duidelijke verdichting plaatsvinden, waarbij overtollig water ontwijkt. Het gevolg daarvan kan zijn dat er minder water in het mengsel overblijft. Daardoor kan er een slechter (droger) verwerkbaar mengsel ontstaan.

Het lossen van de onderlaag kan direct voor de slipformpaver geschieden of in een betonbak (met 'ronde' hoek voor het eenvoudiger ledigen van de betonbak). De bovenlaag wordt in elk geval in een tussenopslag gestort. Met behulp van een kraan wordt de betonspecie voor de tweede laag vóór de slipformpaver op de reeds verdichte onderlaag gebracht.



Verwerking

De verwerking geschiedt met de gebruikelijke slipformpavers. Men kan de betonspecie zowel in één als in twee lagen aanbrengen, waarbij de voorkeur naar twee lagen uitgaat. Bij het tweelagensysteem kan men dan nog kiezen voor de uitvoering met twee slipformpavers of met één tweelagenslipformpaver. Wanneer voor een uitvoering met twee slipformpavers wordt gekozen, dient men er zorg voor te dragen dat deze relatief dicht achter elkaar rijden. Dit is noodzakelijk om te kunnen garanderen dat de boven- en onderlaag werkelijk nat-in-nat worden aangebracht. Dit betekent dat de



afstand tussen de slipformpavers tijdens de zomerperiode, wanneer de temperaturen hoog zijn, kleiner zal zijn dan in het voor- of najaar bij lagere temperaturen. Daarnaast speelt ook de luchtvochtigheid en de wind een rol van betekenis voor de te hanteren afstand tussen de slipformpavers. Dit risico bestaat niet wanneer de uitvoering plaatsvindt met een tweelagen-slipformpaver.

De slipformpavers dienen de betonspecie gelijkmatig te verdelen zodat geen ontmenging plaatsvindt. Daarna wordt de betonspecie over de volledige dwarsdoorsnede verdicht en op de juiste hoogte afgewerkt. Wanneer gebruik gemaakt wordt van twee slipformpavers, zal de eerste slipformpaver de deuvels en koppelstaven door middel van deuvel- en koppelstaafinrilapparatuur op de juiste positie in de verdichte betonspecie trillen. De betonspecie van de onderlaag dient een zodanige consistentie te hebben, dat de verdichtingsenergie van de tweede slipformpaver de deuvels en koppelstaven niet meer in beweging brengt en zij hun positie in het beton behouden. De hoogteligging van de onderlaag is van groot

belang. Afwijkingen hiervan zullen onherroepelijk leiden tot wisselingen van de dikte van de bovenlaag. Onvlakheden leiden tot een verhoging van de geluidproductie. De inklink van een 8 cm dikke bovenlaag is twee keer zo groot als bij een 4 cm dikke bovenlaag en dus is een onvlakheid bij wisselende bovenlaagdikten voorgeprogrammeerd. Uiteraard zal de langsonvlakheid als gevolg van wisselende bovenlaagdikten gering zijn, maar het gaat met name om de optelsom van afwijkingen die het uiteindelijke resultaat opleveren.

Afwerking

De bovenlaag wordt met behulp van een lichttrillende dwarsbalk, een supersmoother en een sleepplaat afgewerkt. Op deze wijze ontstaat een zo vlak mogelijke bovenlaag. Opgemerkt dient te worden dat bij eventueel handwerk bij de afwerking van de bovenlaag uitsluitend verse betonspecie gebruikt mag worden en geen overtollige cementlijm! De cementlijm zou de volgende dag weer uitgeborsteld worden en dit leidt tot onvlakheden die men juist had willen voorkomen. Indien de cementlijm de volgende dag niet geheel zou worden uitgeborsteld, blijft

Unit voor het aanbrengen van de oppervlaktevertrager



Aanbrengen van de plasticfolie

er een oppervlak achter, waarbij een tekort aan steentjes ontstaat. Dit heeft op zijn beurt weer een afwijkend karakter in de geluidproductie.

Aanbrengen oppervlaktevertrager en nabehandelingsmiddel

Omdat de cementmortel na enige verharding uitgeborsteld moet worden, is het van belang dat de cementsteen in het oppervlak slechts een gering verhardingsproces heeft doorlopen. Het is daarom noodzakelijk om na de laatste bewerking van het nog plastische beton het oppervlak van een oppervlaktevertrager (bindingsvertrager) te voorzien. De dieptewerking van de oppervlaktevertrager moet voldoende zijn om de vereiste textuurdiepte na uitborstelen te kunnen bereiken.

Als oppervlaktevertrager kunnen chemische vertragers worden ingezet of een vertrager op suikerbasis. Citroenzuur als oppervlaktevertrager heeft niet altijd een positief karakter. In diverse situaties zijn onregelmatigheden in het uitgeborsteld oppervlak opgetreden. De werking van de oppervlaktevertrager is afhankelijk van de samenstellende delen van het betonmengsel. Daarom is het van belang dat men vooraf het mengsel met de desbetreffende oppervlaktevertrager test, zodat de uitwerking op de uitborsteldiepte voor aanvang van de uitvoering bekend is.

Het aanbrengen van de oppervlaktevertrager dient met een automatische unit te geschieden.

Deze unit bestaat uit een overkapping met zijschotten, waarin een buis met nossels is gemonteerd. Deze nossels sproeien de oppervlaktevertrager gelijkmatig over het oppervlak. Nadat een oppervlak is voorzien van de oppervlaktevertrager, moet de unit buiten de betonverharding worden 'geparkeerd', zodat het nadruppelen van de oppervlaktevertrager vanaf de zijschotten naast en niet op de betonverharding plaatsvindt! Deze units worden tevens veelvuldig toegepast voor het aanbrengen van nabehandelingsmiddelen (*curing compounds*).

Bescherming tegen uitdroging

Na het aanbrengen van de oppervlaktevertrager moet de betonverharding tegen uitdroging worden beschermd. De meest gebruikelijke methode is het aanbrengen van een plastic folie. Er bestaan echter ook gecombineerde producten, die zowel een vertragende werking als nabehandelingseffecten bezitten. Een voorbeeld van een gecombineerde oppervlaktevertrager/nabehandelingsmiddel is het op polymeerbasis vervaardigde product *Whispergard* afkomstig uit Engeland. Dit product is in diverse 'sterkten' beschikbaar en maakt het mogelijk om verschillende uitborsteldiepten te bereiken. Van belang is dat men deze vooraf op uitborsteleffecten test, maar dat tevens het vermogen tot beperking van het vochtverlies wordt getoetst. Deze moet ten minste 70% bedragen bij een droogtijd van maximaal 3 uur (proef 73.0 van de Standaard RAW-Bepalingen 2010).

Uitborstelen

Het uitborstelen is uiteraard het meest essentiële deel van de uitvoering voor het verkrijgen van geoptimaliseerd uitgeborsteld beton.

Afhankelijk van de temperatuur kan in het algemeen circa 12 tot 24 uur na het aanbrengen van de betonspecie de fijne zandcementmortel uit het oppervlak worden geborsteld. Dit kan gebeuren onder toevoeging van een kleine hoeveelheid water. Nadat visueel is beoordeeld dat het oppervlak de gewenste uitborsteldiepte heeft, moet de textuurdiepte worden bepaald.

Wanneer de gewenste textuurdiepte nog niet is bereikt, moet het uitborstelen net zolang worden voortgezet totdat de juiste diepte is bereikt. De uitborsteldiepte kan door wat extra druk op de borstel eerder worden bereikt, maar dit mag uiteraard niet ten koste gaan van het loslaten van de grove korrels uit het oppervlak. Het controleren van de textuurdiepte dient een constant proces te zijn tijdens het totale uitborstelprocédé. De laborant die de textuurdiepte bepaalt, dient in de periode van uitborstelen van iedere andere vorm van werkzaamheden vrijgesteld te zijn, zodat geen hiaten in de uitborsteldiepte ontstaan. Het bereiken van een geslaagd project met geoptimaliseerd uitgebor-

steld beton is zeer sterk afhankelijk van het teamwork tussen de laborant en de machinist van de uitborstelmaschine.

De locaties waar de textuurdiepte het meest van belang is, zijn uiteraard de toekomstige rijsporen van de verharding. Het is daarom noodzakelijk de wielen van de uitborstelmaschine niet of zo min mogelijk met deze toekomstige rijsporen te laten samenvallen. Op deze wijze voorkomt men dat er schade (loslaten van steentjes nu of in de toekomst door microscheurtjes als gevolg van het overrijden) aan het nog relatief zwakke oppervlak optreedt.

Nadat het uitborstelen is afgerond, moet het betonoppervlak zo spoedig mogelijk tegen uitdroging worden beschermd. Dit kan met behulp van de gebruikelijk nabehandelingsmiddelen. Het is een *on going process*, zodra een deel van het betonoppervlak is uitgeborsteld, gaat men over tot nabehandelen. Men wacht dus niet met nabehandelen tot het gehele oppervlak is uitgeborsteld.



Uitborstelen van beton

Kwaliteitscontrole

De bedrijfscontrole in de zin van de Standaard RAW-Bepalingen 2010 dient volledig te worden aangehouden. Het betreft de bepaling van:

- laagdikte;
- vlakheid;
- textuurdiepte;
- betonspecie;
 - consistentie;
 - volumieke massa;
 - luchtgehalte;
 - water-cementfactor;
- verhard beton;
 - volumieke massa;
 - karakteristieke druksterkte

Gezien het feit dat naast de constructieve eigenschappen ook geluidspecifieke eigenschappen een zeer belangrijke rol spelen, zijn aanvullende controles noodzakelijk.

Deze worden in de hierna volgende paragrafen behandeld. De akoestische bepalingen komen later aan de orde.

Ingangscontrole steenslag

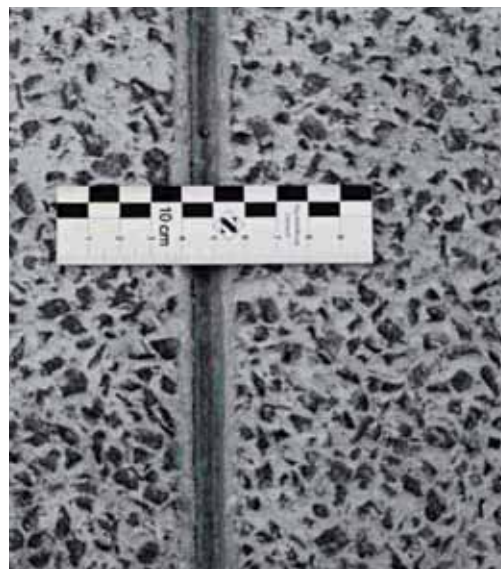
Naast de gebruikelijke controle van de steenslag, zoals vochtpercentage en korrelopbouw, is de controle van de hoeveelheid 'platte stukken' noodzakelijk. Zoals eerder vermeld is kubisch materiaal noodzakelijk voor een dichte pakking van de 'grove' stenen, zodat de afstand tussen de stenen zo klein mogelijk en het aantal stenen in het oppervlak zo groot mogelijk is. Dit garandeert in grote mate de kans op de beoogde geluidreductie. De proef 'Gehalte aan platte stukken' dient overeenkomstig NEN-EN 933 te worden uitgevoerd

Textuurdiepte

Hier ligt de sleutel tot succes en daarom is de bepaling van de textuurdiepte van groot belang. De bepaling dient afwijkend van proef 76 van de Standaard RAW-Bepalingen te gebeuren met glaskorrels in plaats van zand. De reden is dat zand, wanneer dit vochtig wordt, samenklontert waardoor van een juiste textuurdiep-

tebepaling geen sprake meer kan zijn. Voor het overige dient proef 76 te worden gevolgd. Het oppervlak moet schoongeborsteld worden, maar moet niet per definitie droog zijn. Het droogstoken van het oppervlak kan leiden tot grote spanningen (temperatuur en uitdroging) in het nog verse beton.

De diameter van de proef dient vooraf te worden vastgelegd. Deze diameter correspondeert met de gewenste uitwasdiepte. Het is mogelijk om de resultaten van de textuurmetingen met behulp van laser te relateren aan die van de zandvlekproef. De correlatie tussen de resultaten van beide methoden wisselt echter nogal. De gemeten diameters worden getoetst aan de eis. Per plaat dienen twee metingen per rijspoor te worden uitgevoerd. Tussen de rijsporen meten is minder relevant.



Voorstel bestekseisen geluid

CROW-publicatie 200

De geluidreductie en interventiewaarde van de geluidreducerende deklaag zijn gedefinieerd voor lichte motorvoertuigen bij een rijsnelheid van 50 km/h ten opzichte van de Referentie volgens CROW-publicatie 200. Bij alle hierna-volgende eisen mogen meetonnauwkeurigheden niet worden meegenomen.

De geluidreductie wordt rond vier weken na openstelling voor het verkeer en na 2, 4 en 6 jaar na aanleg gemeten met behulp van de Close Proximity (CPX) methode volgens ISO/CD 11819-2.

De CPX-meting na aanleg wordt rond vier weken na openstelling voor het verkeer geïjkt met een Statistical Pass-by (SPB) meting volgens ISO 11819-1. Deze ijking wordt ook gebruikt bij de latere CPX-metingen.

De gemiddelde geluidreductie van de geluidreducerende deklaag dient gedurende drie jaar na aanleg n dB(A) te bedragen.

De gemiddelde geluidreductie van de geluidreducerende deklaag dient tussen vier en zeven jaar na aanleg $(n-1)$ dB(A) te bedragen.

Bij de CPX-meting wordt het te meten wegvak per rijrichting opgedeeld in wegvakken met een minimale lengte van 100 m. De onderlinge spreiding (max/min-waarde) tussen de vakken van 100 m mag niet meer dan 2,0 dB(A) bedragen.

Indien niet voldaan wordt aan de eisen genoemd in CROW-publicatie 200, dient de aannemer op eigen kosten maatregelen te nemen zodanig dat weer aan deze eisen wordt voldaan. Dit dient door een geluidmeting op kosten van de aannemer te worden aangetoond.

N.B. Er worden geen kortingsregelingen toegepast. Afkeuring houdt daarom direct in dat de aannemer op eigen kosten een maatregel treft zodat weer aan de geluideisen wordt voldaan. Vervangings- of herstelmaatregelen dienen binnen drie maanden na vaststelling daarvan te zijn uitgevoerd.



Wat is de geluidreductie van een stil wegdek?

In de akoestiek is het al langer bekend dat de dB(A) een beperkte correlatie heeft met het waargenomen geluid (perceptie) zeker als het geluid complex is zoals verkeerslawaaï. Deze perceptie hangt, naast de dB(A), van een groot aantal andere factoren af. Het vakgebied dat kijkt naar welke factoren er van belang zijn voor de perceptie heet psychofysica.

Bij geluidreducerende wegdekken komt het regelmatig voor dat een wegdek met minimale geluidreductie toch als 'stil' wordt ervaren. Met name grotere steden zijn geïnteresseerd in de effectiviteit van de toepassing van geluidreducerende wegdekken en daarbij wordt kennis uit de psycho-fysica meegenomen. Bij het ontwerp van een wegdektype kan al in een vroeg stadium hiermee rekening worden gehouden.

Meetmethoden

SPB-methode

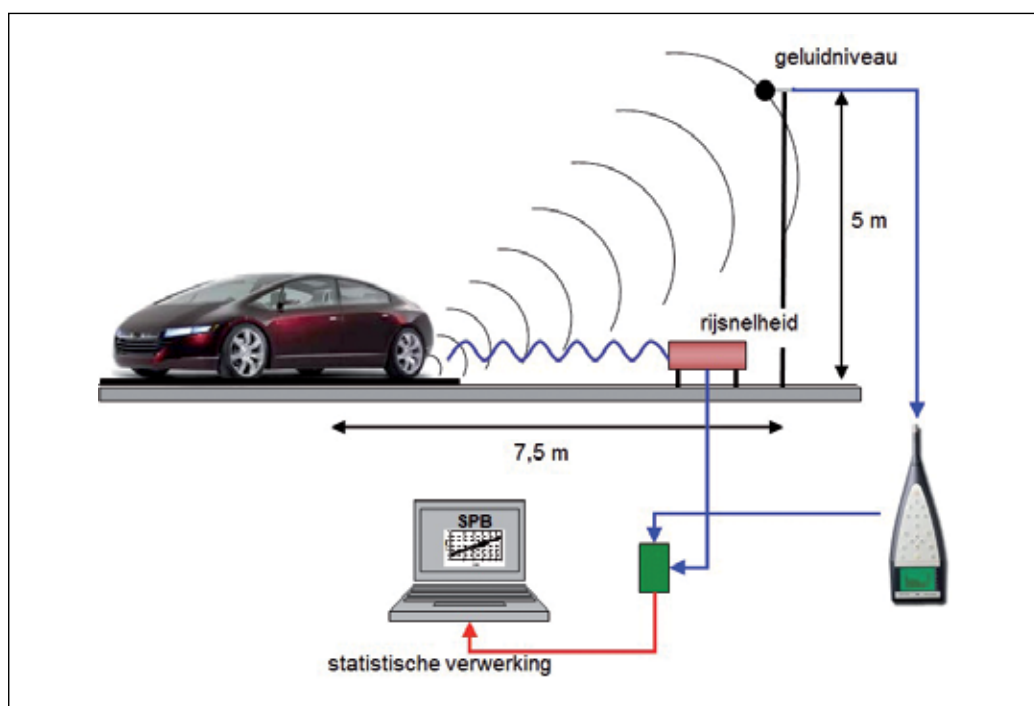
Het doel van de Statistical Pass-by (SPB) methode is het nauwkeurig vastleggen van de geluidtechnische eigenschappen van een wegdek voor lichte, middelzware en zware motorvoertuigen. De SPB-meetmethode is gestandaardiseerd in de internationale norm ISO 11819-1. Van een groot aantal voertuigen uit het aanwezige verkeer wordt op een vastgelegde positie het maximale A-gewogen geluidniveau en de voertuigsnelheid in km/h bepaald. Bij deze methode, waarbij een microfoon op 7,5 m uit het hart van de rijbaan is geplaatst, wordt een microfoonhoogte van 1,2 m gehanteerd. Het is echter bekend dat deze microfoonhoogte aanleiding geeft tot ongewenste beïnvloeding door het overdrachtsgebied. Daarom wordt in Nederland voor een microfoonhoogte van 5,0 m gekozen. Per voertuigcategorie (lichte, middelzware en zware motorvoertuigen) worden de resultaten verwerkt in een spreidingsdiagram waarin het maximale geluidniveau van een passage als functie van de logaritme van de snelheid staat

weergegeven. Uit dit spreidingsdiagram wordt vervolgens de bestpassende lineaire functie bepaald.

Uit deze regressieanalyse volgt het geluidniveau als functie van de snelheid. Bij de SPB-metingen wordt onderscheid gemaakt tussen lichte, middelzware en zware motorvoertuigen. De in het spreidingsdiagram aangegeven zone rondom de regressielijn geeft een 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

Naast het meten van het maximale geluidniveau tijdens elke voertuigpassage wordt ook de spectrale verdeling gemeten. Voertuigen met mankementen, alsmede voertuigen met een niet in deze methode gewenst rijgedrag zoals optrekken of remmen, worden buiten beschouwing gelaten. Ook passages waarbij sprake is van stoorgeluid worden niet meegenomen. Voor de afzonderlijke SPB-metingen stelt CROW-publicatie 200 eisen aan het aantal voertuigen dat gemeten moet worden, zodat aan een bepaalde nauwkeurigheid wordt voldaan. De minimumeis is honderd lichte en vijftig zware motorvoertuigen. In het vervolg van publicatie 200 wordt behalve aan het aantal metingen ook aan het (95%) betrouwbaarheidsinterval eisen gesteld, die afhankelijk zijn van de voertuigcategorie en het aantal voertuigen dat gemeten is. Naarmate het gemeten aantal voertuigen toeneemt, wordt de eis die aan het betrouwbaarheidsinterval gesteld wordt, strenger.

Opzet van de SPB-methode



CPX-methode

De Close Proximity (CPX) methode is ontworpen om de homogeniteit en het tijdgedrag van de akoestische eigenschappen op verschillende secties van een wegdek te evalueren.

De CPX-methode wordt vastgelegd in de voorlopige ISO-standaard 11819-2. Hierbij wordt met een aanhanger over het wegdek gereden waarbij tegelijkertijd wordt gemeten:

- de snelheid;
- het A-gewogen geluidniveau dichtbij het band/wegdekcontactvlak van de standaard meetbanden.

De standaardbanden en de microfoons zijn gemonteerd in een speciale trailer met twee wielen die in de rijsporen rijden.

De meting wordt uitgevoerd bij de voor dat wegvak toegestane snelheid die het dichtst ligt bij de nominale snelheid die op het wegdek wordt gereden (vaak 50 km/h of 80 km/h). Om omgevingsgeluid af te schermen wordt dit systeem onder een isolerende en absorberende kap geplaatst. Met de meetaanhanger wordt over een deel van een wegvak gereden.

Met twee microfoons per band wordt dicht bij de linker- en de rechterband gemeten over de lengte van een wegvak. Hierdoor wordt alleen het rolgeluid gemeten. Tegelijkertijd met de geluidmetingen wordt de voertuigsnelheid gemeten.

De verkregen resultaten worden genormaliseerd op standaard snelheden die horen bij de categorie van de weg. Deze methode kan worden ingezet om van wegen in grotere gebieden de homogeniteit en de staat van onderhoud aan deze wegdekken te controleren.

Productie Controle Geluid

In de Richtlijn Stille Wegdekken wordt omschreven hoe de geluidreducerende eigenschap na oplevering gecontroleerd dient te worden op basis van een afnamemeting.

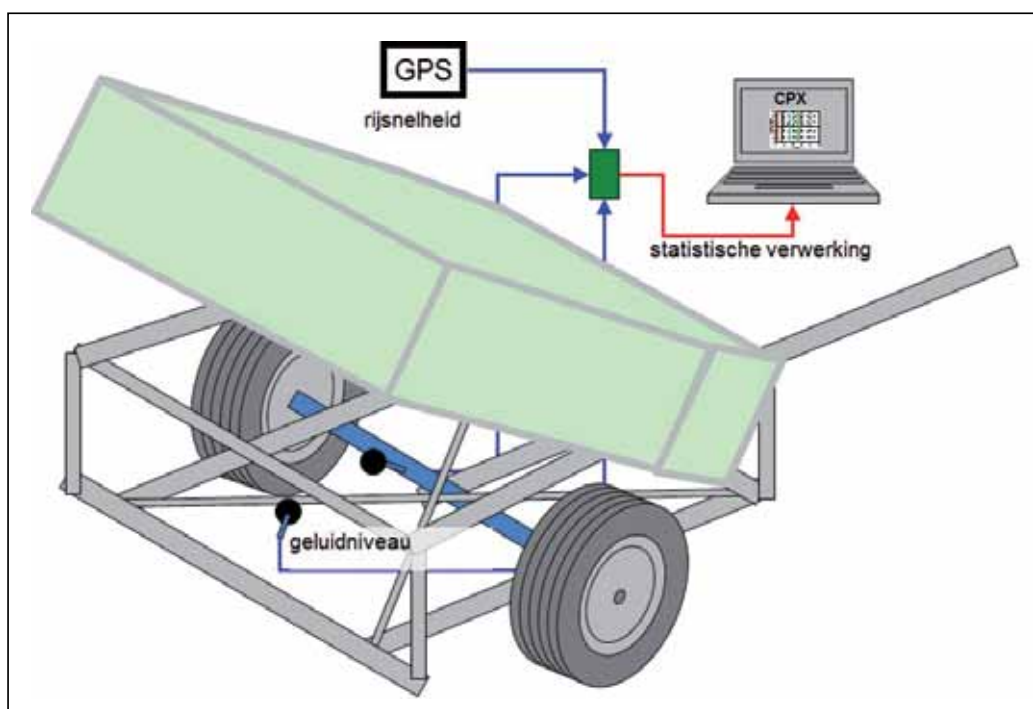
Belangrijk onderdeel van deze Richtlijn is de systematiek van beoordeling van opgeleverde wegvakken (Productie Controle Geluid of PCG). Als een wegdek eenmaal is aangelegd, moet vervolgens in de praktijk worden gecontroleerd of de geluidreductie van dit wegdek voldoet aan de vooraf geëiste waarde.

Het geluidreducerend vermogen van een wegdek wordt uitgedrukt in het aantal A-gewogen dB's dat verkeer bij een bepaalde snelheid op dit wegdek minder produceert dan op de Referentie bij dezelfde snelheid.

Indien de geluidreductie wordt bepaald op basis van een SPB-meting, dan wordt slechts van een klein gedeelte van de weg de geluidreductie bepaald.

Om inzicht te krijgen in de homogeniteit van de geluidreductie over de wegvaklengte is het nodig om een CPX-meting uit te voeren. De waarden van de SPB-meting worden dan over de wegvaklengte geëxtrapoleerd op basis van de variatie in de CPX-niveaus als functie van de wegvaklengte.

Met deze relatie tussen CPX en SPB worden de over het gehele wegvak gemiddelde CPX-niveaus omgerekend naar een gemiddeld SPB-niveau. Dit wordt de PCG-waarde genoemd en deze waarde wordt vervolgens getoetst aan het bestek.



Opzet van de CPX-methode

Literatuur

T. F. Embleton, Noise control from the ancient past and the near future, *Noise/News*, March-April, 26-31, 1977

R. Schafer, The soundscape, Destiny Books, Rochester, Vermont, VS, 1994

Wet geluidhinder, www.vrom.nl, 28 augustus 2006

Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006, *Staatscourant*, 21 december 2006

R. O. Rasmussen, R. J. Bernhard, U. Sandberg, E. P. Mun met W. van Keulen, Het Kleine Boek van Stillere Wegdekken, 2008

De methode Cwegdek 2002 voor wegverkeersgeluid, CROW-publicatie nr. 200, april 2004

CROW-website <http://www.stillerverkeer.nl>

W. van Keulen, Bestekken hanteren vaker onjuiste toetsingseisen voor Cwegdek, *Wegen* 7, 2003

W. van Keulen en M. Duškov, Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise, *DWW*-2005-022, oktober 2005

Actualisatie van de geluidtechnische eigenschappen van betonwegen, VKa.10vc10.11r016, 17 maart 2011

M. Haider, Lärmemission von Fahrbahnoberflächen – Betonstraßen, *Betonstraßen* 2007

Caestecker, C. en M. van Messum, Test Sections of Low Noise Cement Concrete Pavements, *Infrastructure & Environment* 1/97, pp. 9-25, 1997

Bergiers en L. Goubert, Study of the Acoustic Quality of Exposed Aggregate Cement Concrete Roads, *InterNoise 2010*, Lissabon, juni 2010

ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrdecken aus Beton, *FGSV*, 2007

B. Jannicke, Lärmtechnisch verbesserte Bauweisen; Waschbeton, *VSVI-Seminar*, Krefeld, maart 2010

W. van Keulen, R. Albers en Th.S. Grob, Recente ervaringen met uitgewassen beton, *Wegbouwkundige Werkdagen* 2000

P.L. Burgé, K. Travis en Z. Rado, A Comparison of Transverse Tined and Longitudinal Diamond Ground Pavement Texturing for Newly Constructed Concrete Pavement, Washington, D.C., *Transportation Research Board*, 2001

Evaluation of U.S. and European Concrete Pavement Noise Reduction Methods, *Federal Highway Administration*, juli 2006

W. van Keulen, New Technique for Silencing Existing Concrete Roads, invited paper *AFCM Concrete Road Symposium 2007*, Kuala Lumpur, 23 – 24 april 2007

W. van Keulen, Ook betonwegen kunnen stil zijn, *Betonwegennieuws* 96, oktober 1994

W. van Keulen, Geluidaspecten van geoptimaliseerd uitgewassen beton, *Betonwegennieuws* 118, juni 2000

W. van Keulen, Nieuwe betonwegen zijn stil, *BetonwegenNieuws* nr. 112, oktober 1998

W. van Keulen, Geluidsmetingen aan geoptimaliseerd uitgewassen beton, *BetonwegenNieuws* nr. 120, maart 2001

Stet M.J.A. en bij aanleg: Jurriaans G.: Groot-schalige proefvakken uitgewassen beton PW205, gedeelte Helmond-Veghel (N279). Provincie Noord-Brabant

C.G.J. Teuns, M.J.A. Stet en W. van Keulen, Full Scale Pavement Tests of Exposed Concrete Aggregates: Acoustical Aspects and Friction Characteristics, *International Symposium on Concrete Roads*, Istanbul, 2004

W. van Keulen en A. van Leest, The Acoustical Properties of Optimised Exposed Aggregate Concrete in the Netherlands, *International Symposium on Concrete Roads*, Istanbul, 2004

Afweging tussen asfalt en beton voor de reconstructie van de Oost-Veluweg te Apeldoorn. ECCRA 3107118, 2007, Duiven

Dimensionering betonverharding Oost-Veluweg te Apeldoorn, ECCRA 3108112, 2008

G. Jurriaans, W. van Keulen, S. Lubberhuizen en T. van Bokhoven, New Design of Exposed Aggregate Surface for Northern Entrance of Apeldoorn; Constructional and Acoustical Aspects, 11th International Symposium on Concrete Roads, Sevilla, 13 – 15 oktober 2010

M. Li, W. van Keulen, A.A.A. Molenaar en M.F.C. van der Ven, Prediction model linking the tyre/road noise change to paving material composition, 18th International Congress on Sound and Vibration, Rio de Janeiro, 10 - 14 juli 2011

Productie Controle Geluid op de Oost-Veluweg in Apeldoorn, VKa.09ap10.09r047, 2 juli 2009

Productie Controle Geluid op de Oost-Veluweg, fase II in Apeldoorn, VKa.09ap10.10r029, 17 april 2010

Beton - Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit, NEN-EN 206, 1 november 2011

Betonverhardingen - Deel 1: Materialen, NEN-EN 13877-1, 1 augustus 2004

Betonverhardingen - Deel 2: Functionele eisen, NEN-EN 13877-2, 1 augustus 2004

G. Jurriaans en W. van Keulen, New Design of a Concrete Surface for Combined Durability and Noise Reduction, Inter-Noise 2010, Lissabon, 13 – 16 juni 2010

G. Jurriaans en W. van Keulen, In one step from theoretical design into the practice of exposed aggregate surface; constructional and acoustical aspects, 2nd International Conference on Best Practices for Concrete Pavements, Florianópolis, november 2011

W. van Keulen, M. Li, A.A.A. Molenaar, M. Huurman en M.F.C. van de Ven, New Approach for Modelling Tyre/Road Noise, invited paper, Inter-Noise 2009, Ottawa, 23 – 26 augustus 2009

W. van Keulen en M. Wennink, Durability of Low-noise Pavements, invited paper, 18th International Congress on Sound and Vibration, Rio de Janeiro, 10 - 14 juli 2011

A. van Leest en W. van Keulen, The Structural Properties of Optimised Exposed Aggregate Concrete in the Netherlands, International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, 2004

Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: 'Statistical Pass-by method', ISO 11819-1

Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: 'Close proximity method', ISO/CD 11819-2

Standaard RAW Bepalingen 2010, CROW, Ede

Colofon

Uitgave

Cement&BetonCentrum
Postbus 3532
5203 DM 's-Hertogenbosch
T. (073) 640 12 50
E. info@cementenbeton.nl
I. www.cementenbeton.nl

Inhoud

George Jurriaans en Wim van Keulen

Samenstelling

Wim Kramer

Eindredactie

Anja van den Bogaart

Fotografie

Cement&BetonCentrum
Febelcem
Mark Stet, Via Aperta
Tim Alte-Teigeler, OAT

Ontwerp en Vormgeving

Henk Schuurmans

Realisatie

Natasja Steenbergen

Informatie

www.stillerverkeer.nl

Het Cement&BetonCentrum heeft bij het samenstellen van deze publicatie de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht.

Er kan geen aansprakelijkheid worden aanvaard, die mocht voortvloeien uit het gebruik en toepassing van de gegevens uit deze publicatie.



Cement&BetonCentrum
Sint Teunislaan 1
5231 BS 's-Hertogenbosch
Postbus 3532
5203 DM 's-Hertogenbosch
T. (073) 640 12 50
info@cementenbeton.nl
www.cementenbeton.nl