

## INFORMATIEBLAD – TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN RECYCLINGGRANULATEN

### INLEIDING

Recyclinggranulaat is een zeer goed funderingsmateriaal. In dit informatieblad wordt duidelijk waarom.

In Nederland bestaat veel ervaring met de toepassing van recyclinggranulaat in de wegenbouw. De kennis hierover is echter versnipperd vastgelegd. Verder vereist de Bouwproductenverordening (CE markering) een andere borging van de kwaliteit en daardoor meer kennis van het product bij de toepasser / afnemer. Reden voor BRBS Recycling om de kennis te bundelen in dit informatieblad.

Sinds de beginjaren 1980 tot 2010 is de hoeveelheid granulaat voor de wegenbouw gegroeid van circa 4 miljoen ton tot circa 18 miljoen ton (exclusief gebonden asfaltgranulaat). Sinds 2010 stagneert de afzet, enerzijds door de teruglopende economie, maar ook omdat het aanbod slooppuin groter is dan de afzet. Nieuwe afzetkanalen, zoals de toepassing in beton, zijn dus nodig. In dit document komen daarom nog vele andere toepassingsmogelijkheden aan de orde.

Onderhavige informatie is opgesteld op basis van studies als genoemd in de literatuurlijst en is bedoeld voor opdrachtgevers, aannemers en bestekschrijvers die een verantwoorde keuze willen maken bij de toepassing van recyclinggranulaat in civieltechnische werken.

### WAT IS RECYCLINGGRANULAAT?

#### Proces

Door het slopen van bouwwerken en wegen komt puin vrij. Dit puin wordt opgewerkt en gebroken tot recyclinggranulaat. Het reguliere productieproces wordt vooraf gegaan door een nauwkeurig acceptatieproces voor de in te nemen stoffen en bestaat uit breken (met kaakbreker, impactbreker (roterende breker) of conische breker) met zeven en magneten. Daarnaast zijn technieken in opkomst die het inzetbereik van recyclinggranulaat verder vergroten. Voorbeelden zijn zeeftechnieken,

wastechnieken, optische scheiding, (thermische) verwerking asfalt, slim breken en defragmentatie. Deze nieuwe technieken geven mogelijkheden om grondstoffen nog meer naar hun oorspronkelijke vorm terug te brengen of om nieuwe toepassingsgebieden binnen bereik te brengen.

Feitelijk begint het proces voor een goede kwaliteit recyclinggranulaat al voorafgaand aan de sloop. De Wet Milieubeheer (Omgevingswet), het Bouwbesluit en het Besluit bodemkwaliteit eisen dat er tijdens sloop en recycling en de producten daarvan, geen schadelijke effecten zijn voor gezondheid van mens, dier of milieu. De Wet milieubeheer, het Besluit Stortverbod en het Besluit bodemkwaliteit verbieden het storten van puin en leggen de basis voor goed hergebruik. Gebruik van onbewerkt puin is niet toegestaan. Het eindproduct is onder voorwaarden, vastgelegd in de Regeling vaststelling einde afval status van recyclinggranulaat (van februari 2015), geen afval meer en verkrijgt daarmee de formele einde-afvalstatus.



#### Typen recyclinggranulaat

Doorgaans worden de volgende typen recyclinggranulaten onderscheiden:

- Betongranulaat (BG)
- Menggranulaat (MG)
- Metselwerkgranulaat (MWG)
- Hydraulisch granulaat (HMG)
- asfaltgranulaat (AG)
- Fijn granulaat (FG)

Kenmerkend voor deze indeling is de fysische samenstelling van het granulaat op basis van de gehalten steensoorten in de mengsels. In tabel 1 zijn de eisen voor de samenstelling van meng-, beton en metselwerkgranulaat weergegeven. Sinds kort zijn deze eisen Europees afgestemd en opgenomen in de geharmoniseerde productnormen. Op grond daarvan wordt de samenstelling, die overeenkomt met de Standaard RAW Bepalingen aangeduid als weergegeven in tabel 1

Tabel 1. Samenstellingseisen recyclinggranulaten

Soort granulaat	Samenstelling
BG	<i>Rc</i> <sub>80</sub> <i>Rcug</i> <sub>90</sub> <i>Rb</i> <sub>10</sub> - <i>Ra</i> <sub>5</sub> - <i>X</i> <sub>1</sub> - <i>FL</i> <sub>10</sub> -
MG	<i>Rc</i> <sub>45declared</sub> <i>Rcug</i> <sub>50</sub> <i>Rb</i> <sub>50</sub> - <i>Ra</i> <sub>5</sub> - <i>X</i> <sub>1</sub> <i>FL</i> <sub>10</sub> -
MWG	<i>Rb</i> <sub>85</sub> <i>Ra</i> <sub>10</sub> - <i>X</i> <sub>1</sub> - <i>FL</i> <sub>10</sub> -
AG	<i>Ra</i> <sub>80</sub> <i>X</i> <sub>1</sub> - <i>FL</i> <sub>10</sub> -
<p><i>Rc</i> = beton, verharde betonmortel  <i>Ru</i> = Natuursteen, hoogovenslak, LD-slak, mijnsteen, overig steen  <i>Rb</i> = metselwerksteen, keramiek, kalkzandsteen, lichtbeton, overig aan <i>Rb</i> gelijkwaardig steen.  <i>Ra</i> = bitumineus gebonden steenachtig materiaal (asfalt)  <i>Rg</i> = glas  <i>X</i> = verontreinigingen (klei, metalen, kunststof, rubber, overig niet-steenachtig, gips)  <i>FL</i> = overige verontreinigingen met een massa &lt; 1,0 Mg/m<sup>3</sup> (schuimbeton, cellenbeton, kunststoffen, hout, touw, papier, plantenresten) in cm<sup>3</sup>/kg</p> <p>De cijfers geven de gehalten aan. Met een – is aangegeven dat het een maximum gehalte betreft.</p>	

#### Betongranulaat (BG)

Betongranulaat wordt verkregen uit het breken van beton afkomstig van (bouw)constructies. Betongranulaat wordt meestal alleen toegepast indien het zwaar belaste funderingen betreft, zoals zwaar belaste industrieterreinen.

#### Menggranulaat (MG)

Menggranulaat wordt verkregen door het breken van betonpuin en metselwerk afkomstig van constructies en gebouwen.

Menggranulaat wordt in alle typen funderingen, inclusief autosnelwegen, toegepast.

#### Metselwerkgranulaat (MWG)

Metselwerkgranulaat wordt verkregen door het breken van metselwerk.

In Nederland is de hoeveelheid gecertificeerd metselwerkgranulaat zeer gering. Onder snelwegen wordt metselwerkgranulaat in zuivere vorm niet toegepast.

#### Hydraulisch granulaat (HMG)

Hydraulisch granulaat is beton- of menggranulaat met een toevoeging van 5 tot 20% hydraulische slak. Deze slak moet bestaan uit gegranuleerde hoogovenslak, LD staalslak, ELO staalslak of een mengsel van deze slakken.

#### Asfaltgranulaat (AG)

Asfaltgranulaat wordt verkregen door het breken van asfaltbeton uit wegverhardingen. Asfaltgranulaat kan in mengsels met zand en cement een goede funderingslaag opleveren. De meest voor de hand liggende toepassing van asfaltgranulaat is in nieuw asfalt. Om die reden zijn in de Standaard RAW Bepalingen van het CROW geen eisen geformuleerd voor asfaltgranulaat voor funderingslagen.

### RECYCLINGGRANULAAT ALS FUNDERINGSMATERIAAL

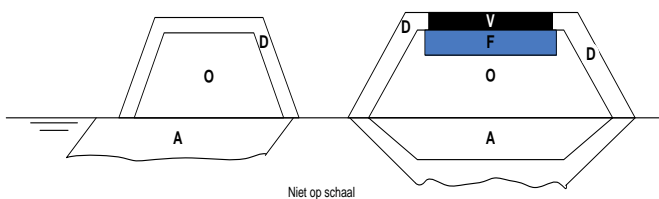
De belangrijkste toepassing van recyclinggranulaat is die in funderingen voor de wegenbouw. In de jaren 1970 is een omschakeling gemaakt naar grootschalige toepassing van recyclinggranulaten toen er problemen waren ontstaan met de tot dan toe gebruikelijke materialen (vooral zand, zandcement en slakken). In de ervaring die daarna is opgebouwd is gebleken dat een zeer betrouwbare en sterke funderingslaag kan worden gebouwd. Namen die in de loop der jaren voor deze producten zijn gebruikt: Repak, boerenmix, gebroken puin, korrelmix®, puingranulaat, recyclinggranulaat.

Nederland kent een eenvoudige opbouw van de wegconstructie. Op een ophoging of aanvulling, die meestal worden gemaakt met de lokale grondslag en zand, wordt een funderingslaag gelegd, die als basis voor de toplaag van asfalt of beton wordt gebruikt.

In het buitenland is het gebruikelijk dat een sublaag of belastingspreidende laag wordt aangelegd tussen de ondergrond en de funderingslaag.

De deklaag dient met name als teelgrond voor bermgras.

Figuur 1: Standaard wegoopbouw



- A = aanvulling
- O = ophoging
- F = funderingslaag
- V = verhardingslaag
- D = deklaag

## FUNDERING TECHNIEK

Funderingen worden aangelegd ter verbetering van de lokale draagkracht van de ondergrond, voorkomen van vochtproblemen in de wegconstructie, besparing van dikte van de (dure) toplaag (asfalt of beton) en vanwege de prijs. De fundering wordt gedimensioneerd op basis van ondergrond en verwachte belasting (aslasten: intensiteit en belasting). De belangrijkste eigenschap van deze laag is het draagvermogen die met name wordt bepaald door de elastische vervormbaarheid of de weerstand tegen vervormingen. De vervormbaarheid wordt de e-modulus genoemd, die wordt uitgedrukt in mega-pascal (MPa).

Er bestaat verband tussen de korreleigenschappen en de eigenschappen van de fundering (functionele eigenschappen / draagvermogen). Dit is zowel op laboratoriumschaal als met behulp van proefvakken onderzocht. Samen met de jarenlange ervaring en praktijkmetingen is een empirie opgebouwd waarvan bij het ontwerp van wegen gebruik kan worden gemaakt, zie tabel 2.

Tabel 2. Kengetallen van funderingsmaterialen

Soort granulaat	Stijfheidsmodulus (E-modulus MPa)
Betonggranulaat	600 – 800
Menggranulaat	400 – 600
Metselwerkgranulaat	150 – 250
Hydraulisch granulaat	600 – 800
Asfaltgranulaatcement	2500 – 5000
Schraal beton	15000 – 30000
Zand	75 -150
Lavasteen	50 – 300
Natuurlijke steenslag	100 -400

Bij het ontwerp van wegen worden ontwerpmodellen gebruikt voor de dimensionering van de lagen. Op basis van ondergrondgegevens, verwachte belasting van de weg (intensiteit, last), wordt de benodigde sterkte van de lagen berekend. Omdat de toplagen (asfalt of beton) relatief kostbaar zijn probeert men te besparen op de dikte van deze lagen, zonder dat daarbij de kwaliteit in het geding mag komen. Het blijkt dat met recyclinggranulaat veel kan worden bespaard. Een vergelijk met 'zand in zandbed' levert volgens de gebruikelijke Nederlandse dimensioneringsberekeningen op dat een laag van 25 centimeter menggranulaat een besparing geeft van 60 mm asfalt ( $E_{\text{ondergrond}} = 100\text{MPa}$ ). Bij een slappere ondergrond kan dit oplopen tot 90 mm ( $E_{\text{ondergrond}} = 50\text{MPa}$ ).

## TOENAME VAN STIJFHEID

Unieke eigenschap van recyclinggranulaat is dat de sterkte (stijfheid) door verkittening en hydraulische werking van de bestanddelen, toeneemt in de tijd. De langzame groei voorkomt scheurvorming van de toplaag. Uit onderzoek van Rijkswaterstaat in de A15 in de jaren 1980 is gebleken dat bij hergebruik van oude funderingslagen, deze sterktegroei opnieuw zal optreden.

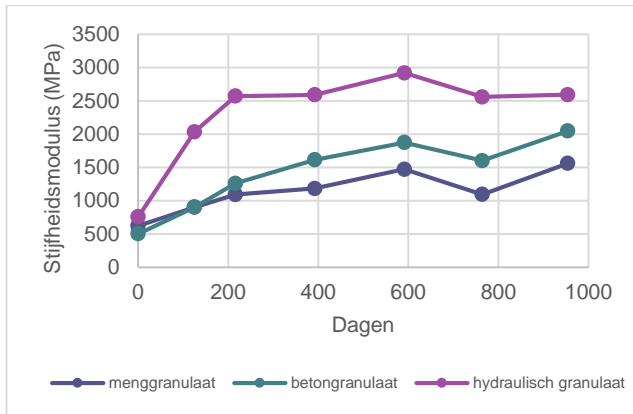
Een te grote stijfheid (> 2.500 MPa) kan schade opleveren door scheuren en spatten.

In figuur 2 is de ontwikkeling van de stijfheid weergegeven voor 3 soorten recyclinggranulaat.

In de beginfase van de puinrecycling in Nederland werd veel grond met organisch materiaal mee-gescheept wat in het granulaat terecht kwam. Door

voorafzeven van deze fractie kon het product aanzienlijk worden verbeterd. Inmiddels zijn de processen bij sloop en puinverwerking zo verbeterd dat de fijne fractie deze problemen niet meer kent. Het is echter wel een aandachtspunt dat nog steeds onderdeel uitmaakt van de kwaliteitsregelingen voor goede recyclinggranulaten.

Figuur 2. Ontwikkeling stijfheid recyclinggranulaten



## CBR-WAARDE

De California Baring Ratio (CBR-waarde) is een test die een snelle inschatting kan geven van het draagvermogen van een materiaalsoort. In diverse onderzoeken, waaronder [12], wordt geconcludeerd dat de CBR-waarde geen correlatie vertoont met de e-modulus. De vaak gebruikte vuistregel  $E \text{ (MPa)} = 10 \text{ CBR}$  kan niet worden aangetoond. Een goede vervanger van deze test is niet beschikbaar. De triaxiaaltest is daarvoor te omvangrijk. Alternatief is in-situ meting met behulp van valgewichtdeflectie-metingen, die steeds vaker ook met handmatig te bedienen apparatuur mogelijk zijn.

## TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN RECYCLINGGRANULAAT

Uit onderzoek van de TU Delft [10] komt naar voren dat de grootheden die het gedrag van de funderingslaag bepalen, goed kunnen worden voorspeld. Vooral de gradering, hoekigheid van het materiaal, samenstelling en verdichtingsgraad zijn hier van belang. Hierdoor is vast komen te staan dat niet noodzakelijk een omschakeling moet worden gemaakt naar functioneel specificeren. De huidige wijze van specificeren op basis van materiaalkwaliteit volstaat. In de Standaard RAW Bepalingen zijn voor deze eigenschappen eisen opgenomen. Voorbeelden van

deze eisen zijn in bijlage opgenomen, zodat prestatieverklaringen hierop kunnen worden beoordeeld.

## GRADERING

Het granulaat kan in verschillende graderingen worden geleverd. Voor civieltechnische toepassingen is de gradering 0/31,5 het meest gangbaar. Door middel van ofwel een andere instelling van de puinbreker ofwel zeefprocessen kan vrijwel iedere korrelgradering worden gemaakt.

De Standaard RAW Bepalingen geven een bandbreedte voor de korrelverdeling: Gc75 volgens EN 13285. Binnen deze bandbreedte is onderzoek [4] verricht naar grovere, fijnere en discontinue (graderingen waar een deelfractie ontbreekt) korrelverdelingen en de gevonden stijfheden. Hieruit blijkt dat de gemiddelde tot grovere graderingen een stijvere fundering opleveren dan de fijnere. De gevonden spreiding is echter zo groot dat de invloed van de korrelverdeling op de stijfheid vrijwel wegvalt in de ruis. Wel blijkt dat een discontinue gradering een lagere prestatie geeft.

Uit ander onderzoek [2] blijkt hetzelfde. Binnen de bandbreedte van de korrelverdeling zoals voorgeschreven in de Standaard RAW Bepalingen (vanaf 1978 tot en met de versie van 2015), is de invloed van de gradering op de prestaties van meng- en betongranulaat gering. In meer extreme gevallen is gevonden [12] dat een bij eenzelfde maximum korrelverdeling, de grovere mengsels een lagere weerstand tegen permanente vervorming hebben dan bij een fijnere korrelverdeling.

## HOEKIGHEID

Een hoekiger korrel levert een hogere stijfheid. Door het breken zijn ronde korrels in het product niet of nauwelijks aanwezig. Het onderzoek op de aanwezigheid van ronde- en ongebroken korrels is derhalve uit de regelgeving voor recyclinggranulaat verdwenen. Bij toevoegen van ballastgrind aan recyclinggranulaat is dit een aandachtspunt. Vanwege de hoekigheid van de korrels is recyclingzand een gewild product bij stratenmakers.

## KORRELSTERKTE

Het bezwijkgedrag van funderingen hangt ook samen met de korrelsterkte van de samenstellende

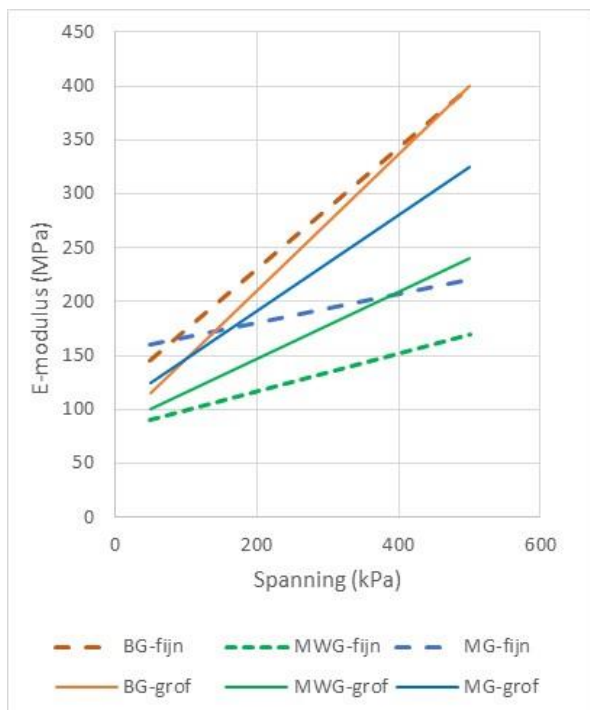
bestanddelen en met de gevonden (plastische) vervorming van de materialen. Hier over is weinig gerapporteerd in de genoemde literatuurbronnen.

Recyclinggranulaat voldoet doorgaans ruim aan de in de Standaard RAW Bepalingen gestelde eis voor de Los Angeles Coëfficiënt (maat voor de weerstand tegen verbrijzelen).

## SAMENSTELLING

De samenstelling van recyclinggranulaten heeft invloed op de prestaties van de funderingslaag. Uit de onderzoeken op de proefvakken te Alphen a/d Rijn [1] blijkt dat betongranulaat een hogere stijfheid genereert dan menggranulaat. In het onderzoek van de TU Delft [4] blijkt echter dat menggranulaat een grotere tolerantie heeft voor de korrelverdeling en afhankelijk van de belasting (spanning) zelfs gelijkwaardig presteert (zie figuur 3). Menggranulaat blijkt niet zondermeer als een gemiddelde kwaliteit tussen metselwerkgranulaat en betongranulaat gepositioneerd te kunnen worden. Bij lagere spanningen presteert menggranulaat gelijkwaardig aan betongranulaat (soms beter), terwijl dit bij hogere spanningen tussen betongranulaat en metselwerkgranulaat in ligt.

Figuur 3. Vergelijking stijfheid recyclingmaterialen



Gezien de verschillen in korrel dichtheid van de componenten is er mogelijkheid tot ontmenging, maar dit kan door goed gebruik worden vermeden. De korrelsterkte van metselwerkgranulaat is wat lager, waardoor er onder belasting wat meer fijne fractie kan ontstaan. De kans op verpapping hiervan is aanwezig.

De stijfheid van funderingen met hydraulisch menggranulaat is vergelijkbaar met die van betongranulaat. Hydraulisch betongranulaat heeft de neiging tot schadegedrag in verband met de te hoge stijfheid die kan worden bereikt.

Ten opzichte van een gebonden fundering (een met cement gebonden granulaat) is toepassing van hydraulisch granulaat in zettingsgevoelige gebieden een goede keuze vanwege de langzame groei van de sterkte waardoor scheurvorming wordt voorkomen.

### Toelichting op figuur 3

Bij het testen van draagvermogen van funderingen wordt wel de triaxiaalproef gebruikt. Hierbij wordt een (groot) proefstuk gemaakt en in de opstelling gebouwd. Op het proefstuk worden op zeer nauwkeurige wijze spanningen opgebouwd, die de verkeerslast, het eigen gewicht en voorspanning simuleren. In de praktijk lopen uitersten van deze spanningen van 50 tot 500 KPa. Door bij deze lasten (spanningen), opgelegd in verschillende combinaties, de vervormingen (elastische en plastische) te meten ontstaat een goed beeld van het draagvermogen. Gebleken is dat mengsels die hier goed presteren (hoge e-modulus), dat ook in de praktijk doen.

Asfalt kent een taai breekgedrag waardoor de korrelverdeling van asfaltgranulaat soms moet worden aangevuld met zand. De korrels zijn omsloten door bitumineus materiaal en is daardoor gevoelig voor plastische vervorming en er kan spoorvorming ontstaan. Ongebonden toepassing van asfaltgranulaat is daardoor minder vaak aan de orde en keuze voor warm hergebruik in nieuw asfalt ligt meer voor de hand. Ook bij toepassing als gebonden asfaltgranulaat kan de viscositeit van het bitumen leiden tot schade.

## VERDICHTINGSGRAAD

De verdichtingsgraad heeft van de genoemde grootheden de grootste invloed op de stijfheid van de funderingslaag. Het effect van blijvende vervorming

is bij een verdichtingsgraad van 103% veel kleiner dan bij een verdichtingsgraad van 100%. In het onderzoek bij de TU Delft [4] werd gevonden dat bij een fundering met 103% verdichting 40 mm asfalt nodig is om alle spanningen op te vangen. Bij een verdichting van 100% was dit 80 mm asfalt.

Bij verdichting is het vochtgehalte van het recyclinggranulaat van belang. Voor de inbouw dient derhalve het verband tussen de dichtheid en het vochtgehalte te worden bepaald in een (eenpunts)-proctorproef. In deze proef wordt bepaald bij welk vochtgehalte de maximum dichtheid kan worden bepaald. Dit gebeurt in het laboratorium met de toe te passen materialen. De in het laboratorium bepaalde maximum dichtheid wordt op 100% gesteld. Bij de aanleg van de funderingslaag wordt een hogere dichtheid vereist dan in het laboratorium wordt gerealiseerd.

Uiteraard dient bij de inbouw van de funderingslaag rekening te worden gehouden met ontmenging, verpapping, onvoldoende verdichting en verontreiniging.

In de jarenlange ervaring met recyclinggranulaat is aangetoond dat met deze eigenschappen en een goede kwaliteit van de aanleg voldoende zekerheid bestaat dat een hoogwaardige funderingslaag wordt aangelegd, zonder problemen met draagvermogen, vorst-dooi schade, verpapping, scheurvorming en ander schadegedrag.

## DUURZAAMHEID

De levensduur van funderingen (durability) van recyclinggranulaat overstijgt normaal gesproken die van de verhardingslagen.

BRBS Recycling heeft een levenscyclusanalyse (LCA) laten uitvoeren en de gegevens laten opnemen in de Nationale milieudatabase. Met deze gegevens is het mogelijk om de duurzaamheid van een gekozen verhardingsontwerp door te rekenen. Bij de afweging van de duurzaamheid (sustainability) van de toepassing van recyclinggranulaat kan daarnaast het volgende worden overwogen:

- Gebruik van recyclinggranulaat betekent nuttig hergebruik van steenachtig bouw- en sloopafval uit de directe regio;
- Storten wordt voorkomen;

- Aanvoer en of winning van alternatieve of primaire grondstoffen is niet nodig;
- Een onderhoudsvrije, bedrijfszekere en duurzame funderingslaag wordt gerealiseerd;
- De toplaag kan substantieel dunner worden gedimensioneerd;
- Bij gebruik van menggranulaat kan zuiver betongranulaat weer worden ingezet in nieuw beton.
- Hoge recyclingpercentages mogelijk zijn bij de toepassing van Asfaltgranulaat in warm asfalt.
- Oude funderingslagen zijn weer geschikt te maken voor nieuwe, met behoud van de goede eigenschappen.

## KWALITEITSBORGING VAN RECYCLINGGRANULAAT

Recyclinggranulaat kan onder certificaat BRL 2506 worden geleverd. Dit certificaat levert extra zekerheid ten opzichte van de wettelijk verplichte keurmerken: CE markering en NL-Bsb certificaat.

### CE MARKERING

Het aanbrengen van CE markering op bouwproducten is verplicht volgens de bouwproductenverordening, voor producten die onder geharmoniseerde normen vallen. Dit geldt derhalve voor de meeste recyclinggranulaten. De CE markering dekt af dat de producent de kwaliteit van zijn product vaststelt en verklaart door middel van een prestatieverklaring (DoP). Een goede (legale) prestatieverklaring betekent nog geen goed product.



### NL-BSB CERTIFICAAT

Het NL-Bsb certificaat is 1 van de bewijsmiddelen die aantoont dat aan de verplichtingen van Besluit bodemkwaliteit wordt voldaan. Dit certificaat dekt af dat het product voldoet aan de milieuhygiënische eisen voor bouwstoffen voor toepassing in bodem en water.

Aan de vereisten van het Besluit bodemkwaliteit kan ook worden voldaan middels een partijkeuring die dient te zijn uitgevoerd volgens dit Besluit. Dit betreft een gedetailleerde set van regels voor monsterneming, monstervoorbehandeling, analyse, toetsing en rapportage. Gezien de duur van een partijkeuring van circa 6 weken kiezen producenten vooral voor certificering, waarmee continu kan worden geleverd.



### BRL 2506 CERTIFICAAT

Certificering volgens BRL 2506 is niet verplicht. Deze BRL dekt alle kwaliteitsborgen af die niet door CE markering worden afgedekt. De vereisten voor het NL-Bsb certificaat zijn onderdeel van deze BRL, evenals door de sector ontwikkelde eisen zoals een GPS systeem, controle op asbest, teer en een intensieve controle op het product. Met deze BRL bestaat er meer zekerheid dat het product aan de gestelde eisen voldoet en ook daadwerkelijk geschikt is voor de beoogde toepassing. De BRL is tevens een solide basis voor het einde-afval predicaat.



### ANDERE TOEPASSINGEN VAN RECYCLINGGRANULAAT

#### VERHARDINGSLAAG OF (TIJDELIJKE) WERKVERHARDINGEN

Recyclinggranulaat dat is geproduceerd voor funderingslagen kan ook dienen als bovenlaag. Door een goede korrelverdeling en vochtgehalte laat dit materiaal zich vlak afwalsen tot een stevige toplaag. Deze laag kan voor verschillende doeleinden worden gebruikt: parkeren, tijdelijke werkweg, etc. In deze hoedanigheid is het ook goed mogelijk om voetpaden of fietspaden aan te leggen. Hierbij moet wellicht rekening worden gehouden met de uiterlijke kenmerken van de laag. In de standaard samenstelling is een klein percentage hout of glas nog wel toegestaan. In de praktijk komen hier soms vragen over. Overigens is door de handling van het

materiaal sprake van een minder scherp materiaal (ook glas) dan men zou verwachten.

#### CEMENT TREATED BASE (CTB)

CTB wordt gebruikt in situaties waar een zeer zware belasting van de fundering wordt verwacht, zoals op containerterminals, vliegvelden en landingsbanen. Dit funderingsmengsel kan bestaan uit recyclinggranulaten, zand, cement en water. Meestal worden mengsels met 70% betongranulaat en 30% asfaltgranulaat en 8-9% cement gebruikt. Met dit mengsel kan een stijfheid van 10.000 MPa worden behaald. Dit is tevens geschikt voor toepassing op minder draagkrachtige bodem, zoals klei.

#### SCHRAAL BETON

Schraal beton is een mengsel van recyclinggranulaat en cement. Er kunnen hoge sterktes mee worden behaald. In het verleden is dit materiaal vaak toegepast. In het buitenland nog steeds, bijvoorbeeld als onderlaag voor een betonverharding.

#### WATERBUFFERING EN DRAINAGE

Recyclinggranulaat heeft van zichzelf een vrij grote holle ruimte. Dit heeft als voordeel dat dit materiaal veel vocht kan verwerken voordat dit problemen geeft met condens onder de verhardingslaag of vorst-dooi problemen of verpapping.

Figuur 4. Waterbuffering



De waterbergende werking van het granulaat kan verder worden vergroot door de 0/4 fractie uit te zeven. De bergingscapaciteit neemt hierdoor verder toe. Dit materiaal wordt wel gebruikt om waterbuffers te creëren naast gesloten verhardingen, viaducten

en in woonwijken. De natuurlijke afvloeit van het water heeft dan meer tijd.

Wanneer de fijne fractie wordt afgezeefd is het draagvermogen van de laag niet meer vergelijkbaar met die van het normaal gegradeerde granulaat. Het recyclingbedrijf moet ook afzet vinden voor de fijne fractie, wat vaak lastiger is dan afzet als funderingsmateriaal.

## TOESLAGMATERIAAL IN ASFALT

Het meest gangbaar is de toepassing van asfaltgranulaat uit oud asfalt in nieuw asfalt. De asfaltindustrie heeft processen ontwikkeld die vervangingspercentages van 50% toelaten.

Er vindt een scherpe acceptatie plaats van asfalt voordat het in de recycling wordt opgenomen. Voorkomen wordt dat teer in de recyclingketen blijft. Teer is een schadelijke stof. De recyclingbedrijven zorgen ervoor dat het asfalt in zuivere vorm wordt aangeboden, ontdaan van bermmaterialen, funderingsmaterialen of dergelijke, volgens de eisen van de Standaard RAW Bepalingen en de EN 13108-8. Oud asfalt wordt meestal tot 0/20 gradering gebroken. Nader onderzoek moet bepalen welk bitumengehalte en welke korrelgradering dit oude asfalt heeft en hoe het past in het productieproces bij de asfaltcentrale. Freesasfalt vindt in veel gevallen rechtstreeks afzet naar de asfaltcentrales.

Innovatief is de mogelijkheid om ook andere recyclinggranulaten in asfalt toe te passen. Eerder was de porositeit van deze granulaten een nadeel voor de bitumenbehoefte van deze mengsels, waardoor deze niet concurrerend konden worden ingezet. Inmiddels kan door bitumenmodificatie dit nadeel worden beperkt en zijn er mogelijkheden om deze vorm van recycelen praktijkrijp te maken.

## TOESLAGMATERIAAL IN BETON, PREFABBETON EN BETONMORTEL

Beton- meng en fijn granulaat zijn prima toepasbaar in nieuw beton. Hier vervangt het grind of zand dat uit primaire winningen wordt toegeleverd of afkomstig is van import uit verre oorden.

De technische toepassing van recyclinggranulaten in beton is uitvoerig onderzocht en getest. De

resultaten hiervan zijn neergelegd in CUR Aanbevelingen en NEN normen. De belangrijkste op een rij:

- NEN 8005 en EN 206: betonmengsels
- EN 12620 Toeslagmateriaal voor beton
- CUR Aanbeveling 80, menggranulaat in beton
- CUR Aanbeveling 106, fijn granulaat
- CUR Aanbeveling 112, betongranulaat

Volgens EN 206 is tot 50% procent vervanging van grof toeslagmateriaal door recyclinggranulaat toegestaan en afhankelijk van de milieuklasse tot 30%. De Nederlandse normen zijn hier van afgeleid, hoewel deze een gehalte tot 30% toestaan. Hogere gehalten zijn zondermeer goed mogelijk, daarvoor wordt verwezen naar de genoemde CUR Aanbevelingen. Hiermee zijn vervangingspercentages mogelijk, tot 100% van grof en fijn materiaal. De betonsector zelf zet vooral in op het sluiten van de 'eigen' kringloop met betongranulaat. Ook menggranulaat, voormalig ballastgrind en ecogranulaat worden ingezet als grindvervanger.

Figuur 5. Aanleg fietspad met recyclingbeton



De recyclinggranulaten voor toepassing in beton moeten voldoen aan hoge eisen wat betreft reinheid en sterkte. Hier is door de recyclingbedrijven op geïnvesteerd.

## TOESLAGMATERIAAL VOOR KERAMISCHE INDUSTRIE

Wanneer keramisch materiaal apart wordt ingezameld en gebroken / gemalen, dan kan dit weer als grondstof dienen voor de keramische industrie. Dit materiaal vervangt klei.



## SCHANSKORVEN

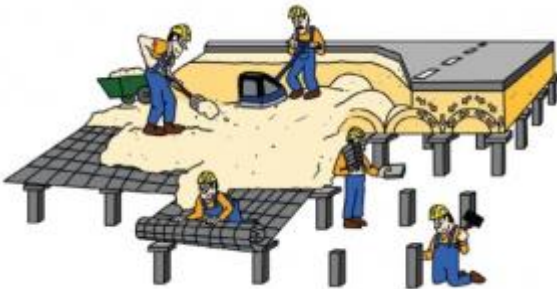
Grof recyclingmateriaal kan dienen als vulling voor schanskorven, soms alleen als kernmateriaal, soms als volledige vulling. De schanskorven worden op hun beurt weer als wanden, terreinscheiding en dergelijke ingezet.

## STRAATZAND

De fijne fractie van recyclinggranulaat is zeer geschikt als straatzand. De scherpe korrels houden het straatwerk goed op hun plaats. Door de hydraulische werking van het materiaal ontstaat een zeer sterke onderlaag, die de levensduur van het straatwerk verder verlengt.

## TOESLAGMATERIAAL VOOR PAALMATRASSEN

Paalmatrasen zijn funderingen die met heipalen zijn versterkt. Op de palen wordt een bed aangelegd met wegendoek en menggranulaat, vaak in meerdere lagen. In de praktijk is gebleken dat recyclinggranulaat een wezenlijke bijdrage levert aan de sterkte van deze constructie, waardoor met minder heipalen kan worden volstaan.



## AANVULLINGEN EN OPHOGINGEN

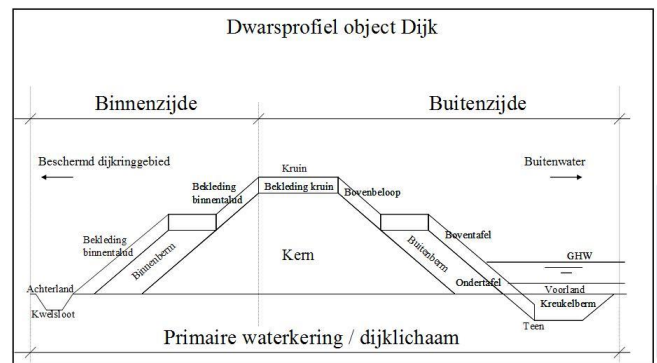
De materiaaleisen voor aanvullingen en ophogingen zijn minder hoog dan die voor funderingslagen. Materiaal dat geschikt is voor funderingen is derhalve uitstekend toepasbaar. Afhankelijk van de prijsverhoudingen in de bouwgrondstoffenmarkt is deze toepassing meestal minder aantrekkelijk.

Het Besluit bodemkwaliteit vereist "nuttige toepassing" van bouwstoffen. Hierdoor kan de gedachte bestaan dat toepassing in aanvulling en ophoging niet nuttig is. Dit is niet het geval. Het heeft

in de constructie toegevoegde waarde en is derhalve nuttig.

## DIJKENBOUW

De meeste elementen van een dijk zijn uit te voeren met recyclinggranulaten



## OEVERBESCHERMING

Grof recyclinggranulaat is goed toepasbaar in oeverbeschermingen. Er is voldoende massa nodig van de afzonderlijke elementen, waardoor men vaker natuursteen toepast. Echter niet alle oevers zijn zo veeleisend dat hiervoor moet worden gekozen. Een gradering van 40/200 wordt vaak toegepast.

## WATERBOUWSTEEN

Zie oeverbescherming.

## VULSTOFFEN

De fijnste fracties uit recyclinggranulaat zijn toepasbaar als vulstof in beton of asfalt. Vulstoffen zijn zeer fijne stoffen die vanwege verschillende doeleinden aan mengsels worden toegepast. Dit kan zijn als verdunning en daarmee betere doseerbaarheid van het duurdere bindmiddel of om poriën te vullen en de volumieke massa te vergroten.

Een stap verder is vervanging van bindmiddelen. Dit is een innovatie die nog onderzoek vergt, maar wel binnen de mogelijkheden ligt.

## LITERATUUR

- [1] H. Grootveld, Rijkswaterstaat, Proefvakken Alphen a/d Rijn, Augustus 2001.
- [2] CROW publicatie 18, Steenfunderingen beter gefundeerd.
- [3] L. de Bock, Literatuurstudie over de toepassingsmogelijkheden van puingranulaten in de wegenbouw, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Sterrebeek (B), april 2004.
- [4] A. A. Niekerk, Mechanical behaviour and performance of granular bases and sub-bases in pavements, Proefschrift Master Science Road engineering, Delft 2002.
- [5] DWW wijzer 11. Asfaltgranulaat.
- [6] DWW wijzer 13. (Teerhoudend) Asfaltgranulaatcement
- [7] DWW wijzer 18. Menggranulaat.
- [8] DWW wijzer 18a. Hydraulisch menggranulaat.
- [9] CROW Publicatie 341, Handboek Funderingsmaterialen in de Wegenbouw, Ede, Mei 2014
- [10] Prof. A..A.A. Molenaar en Prof. M. Hurman, Permanent Deformation in Flexible Pavements with Unbound Base Courses, , Notitie, Delft, 2006
- [11] Mark Stet, Berwich Sluer e.a., Rekenen aan ongebonden funderingen, Bijdrage aan CROW wegbouwkundige werkdagen, 2004.
- [12] Govert T.H. Sweere, Unbound granular bases for roads, PhD Dissertation, Delft 1990.

Bijlage: eisenniveau Standaard RAW Bepalingen vertaald naar waarden uit EN 13242

NEN-EN 13242	Essentiële kenmerken	Menggranulaat	Menggranulaat	Betonggranulaat	Metselwerkgranulaat
		0/31,5	0/16	0/31,5	0/31,5
4.2	Korrelafmetingen	0 - 31,5	0 - 16	0 - 31,5	0 - 31,5
4.3	Gradering	<i>G<sub>A75</sub></i>	<i>G<sub>A75</sub></i>	<i>G<sub>A75</sub></i>	<i>G<sub>A75</sub></i>
	Zeefmaat in mm	% door zeef	% door zeef	% door zeef	% door zeef
	63	100	–	100	100
	31,5	75 – 100	100	75 – 100	75 – 100
	16	50 – 90	75 – 100	50 – 90	50 – 90
	8	30 – 75	50 – 90	30 – 75	30 – 75
	4	20 – 60	30 – 75	20 – 60	20 – 60
	2	13 – 45	20 – 60	13 – 45	13 – 45
	1	8 – 35	13 – 45	8 – 35	8 – 35
	0,5	5 – 25	8 – 35	5 – 25	5 – 25
	0,063	0 – 7	0 – 9	0 – 7	0 – 7
4.4	Korrelvorm	<i>F<sub>l20</sub></i>	<i>F<sub>l20</sub></i>	<i>F<sub>l20</sub></i>	<i>F<sub>l20</sub></i>
4.6	Gehalte fijne delen	<i>f<sub>7</sub></i>	<i>f<sub>9</sub></i>	<i>f<sub>7</sub></i>	<i>f<sub>7</sub></i>
5.2	Weerstand tegen verbrijzeling	<i>LA<sub>60</sub></i>	<i>LA<sub>60</sub></i>	<i>LA<sub>60</sub></i>	<i>LA<sub>60</sub></i>
5.4	Korrel dichtheid	waarde of bandbreedte; geen eis	waarde of bandbreedte; geen eis	waarde of bandbreedte; geen eis	waarde of bandbreedte; geen eis
5.6	Samenstelling:				
	Beton	<i>RC<sub>45declared</sub></i>	<i>RC<sub>45declared</sub></i>	<i>RC<sub>80</sub></i>	-
	Beton, natuursteen, glas	<i>RC<sub>u950</sub></i>	<i>RC<sub>u950</sub></i>	<i>RC<sub>u90</sub></i>	-
	Metselwerk	<i>Rb<sub>50-</sub></i>	<i>Rb<sub>50-</sub></i>	<i>Rb<sub>10-</sub></i>	<i>Rb<sub>85 declared</sub></i>
	Bitumineuze materialen	<i>Ra<sub>5-</sub></i>	<i>Ra<sub>5-</sub></i>	<i>Ra<sub>5-</sub></i>	<i>Ra<sub>10-</sub></i>
	Vreemde delen	<i>X<sub>1-</sub></i>	<i>X<sub>1-</sub></i>	<i>X<sub>1-</sub></i>	<i>X<sub>1-</sub></i>
	Drijvende delen	<i>FL<sub>10-</sub></i>	<i>FL<sub>10-</sub></i>	<i>FL<sub>10-</sub></i>	<i>FL<sub>10-</sub></i>

Op basis van EN 13242, de Europese productnorm voor primaire, industriële en recyclinggranulaten voor de wegenbouw, zijn vele kwaliteiten granulaten op de markt te brengen onder CE markering. Ook slechte. De in Nederland zorgvuldig opgebouwde ervaring met wegenbouwmaterialen is opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen. De tabel geeft een vertaling van de eisen van de Standaard RAW Bepalingen naar de waarden zoals die op een prestatieverklaring worden aangetroffen op basis van EN 13242.

De in de tabel opgenomen eigenschappen zijn alle essentiële eigenschappen die op een prestatieverklaring (kunnen) worden verklaard. Korrelverdeling en samenstelling (de blauw vermeldde velden) zijn verplicht te vermelden eigenschappen. De overige eigenschappen moeten alleen worden verklaard 'indien vereist'. Wanneer geen waarde worden vermeld moet NPD worden verklaard (No Performance Determined). De leverancier is niet aanspreekbaar op niet-vermelde waarden. Daarom is het voor de afnemer van belang dat de prestatieverklaring alle relevante eigenschappen en waarden bevat.