



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw  
Samen voor duurzame wegen

## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen



# 5

Rev. 1

# Dossier

## ▶ Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### ▶ Auteurs

Elia Boonen  
[e.boonen@brrc.be](mailto:e.boonen@brrc.be)

Wietze Claesen  
[w.claesen@brrc.be](mailto:w.claesen@brrc.be)

Frank Theys  
[fr.theys@brrc.be](mailto:fr.theys@brrc.be)

Raf Pillaert  
[raf.pillaert@febe.be](mailto:raf.pillaert@febe.be)

### ▶ Voorwoord

De eerste versie van deze brochure werd in 2008 opgesteld in het kader van de Technologische Dienstverlening *Waterdoorlatende bestratingen: een ecologische en duurzame verharding binnen het integraal waterbeleid* (Beeldens et al., 2008). De huidige update van dit document gebeurde in nauwe samenwerking tussen OCW en FEBE (Federatie van de betonindustrie) om de inhoud aan te passen aan de belangrijkste veranderingen op vlak van uitvoering, regelgeving en normen betreffende de geprefabriceerde betonproducten voor waterdoorlatende bestrating.



**Opzoekingscentrum  
voor de Wegenbouw**

Samen voor duurzame wegen



**FEBE**

**PREFAB BETON  
DUURZAAMHEID KRIJGT VORM**

Oktober 2024

© OCW – Alle rechten voorbehouden.

Verantw. uitgever: E. Van den Bossche, Woluwedal 42 – 1200 Brussel



## ► Inleiding

De grote toename van verharde oppervlakken heeft tot gevolg dat het hemelwater niet meer op een natuurlijke wijze in de ondergrond kan dringen. Als gevolg hiervan daalt het peil van het grondwater en moeten grote hoeveelheden hemelwater via rioleringen en waterlopen worden afgevoerd. Bij overvloedige regenval kunnen deze afvoersystemen de toevloed niet meer aan. Riooloverstorten treden in werking en beken, rivieren en straten stromen over.

Hemelwater laten infiltreren via waterdoorlatende betonstraatstenen biedt een oplossing voor deze waterproblematiek.

Waterdoorlatende betonstraatstenen laten het hemelwater immers ter plaatse infiltreren. Via de fundering wordt het water tijdelijk gebufferd in de onderfundering en naar de ondergrond afgevoerd. Hierdoor worden enerzijds rioleringen ontlast. Anderzijds kan tegelijk de steeds verder dalende grondwaterstand op peil gehouden worden.

Zij vormen dus een efficiënte oplossing, die bovendien tegemoetkomt aan een toenemend milieubewustzijn!

## ► Wat zijn waterdoorlatende betonstraatstenen?

Algemeen kunnen waterdoorlatende betonstraatstenen in vijf verschillende types worden ingedeeld.

### 1. Betonstraatstenen met verbrede voegen

Deze betonstraatstenen zijn aan de zijkanten voorzien van brede nokken of afstandhouders, waardoor na het leggen brede voegen ontstaan. Langs deze voegen wordt het water naar de fundering en ondergrond afgevoerd. Voor dit type van steen volstaat het de nokken van een klassieke steen te verbreden totdat het vereiste voegenaandeel bereikt wordt. Het **voegenaandeel** dat met dit type van betonstraatsteen gecreëerd wordt, moet volgens de eis van de Technische Voorschriften PTV 126 **minimaal 10 %** bedragen (Probeton, 2023). Om voldoende oppervlakdoorlatendheid te verkrijgen, dient de doorlatendheidscoëfficiënt van het voegvullingsmateriaal voldoende hoog te zijn (cf. pagina 15).

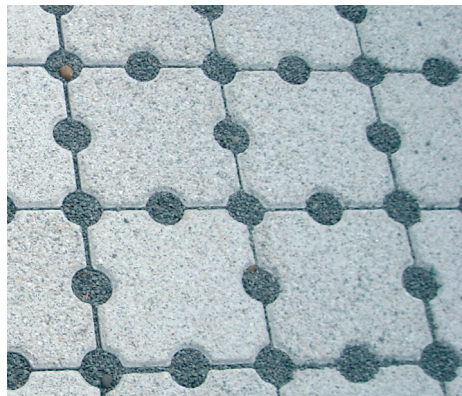


## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### 2. Betonstraatstenen met drainageopeningen

Deze betonstraatstenen zijn door hun specifieke vormgeving ontworpen om water te laten infiltreren door de openingen die na het leggen ontstaan. Voor dit type van steen volstaat het aan één of meer zijden of centraal in de steen een opening in de klassieke rechthoekige of vierkante vorm uit te sparen. Het **drainageaandeel** dat met dit type van betonstraatsteen gecreëerd wordt, moet volgens de eis van de Technische Voorschriften PTV 126 ook **minimaal 10 %** bedragen. Ook hier dient de doorlatendheidscoëfficiënt van de voegvulling voldoende hoog te zijn.

Stenen met verbrede voegen en drainageopeningen beantwoorden voor de overige kenmerken zoals splijttreksterkte, maatafwijkingen, enz. aan dezelfde normen (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2003+2006; NBN, 2006+2023) als klassieke betonstraatstenen.



### 3. Poreuze betonstraatstenen

Deze betonstraatstenen zijn waterdoorlatend door een poreuze betonsamenstelling. Voor dit type van steen volstaat het de dichte betonsamenstelling van een klassieke steen te vervangen door een poreuze betonsamenstelling, zodat het vereiste infiltratievermogen bereikt wordt.

Het **infiltratievermogen** van dit type van betonstraatsteen dient volgens de eis van de Technische Voorschriften PTV 126 minimaal gemiddeld  **$5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$**  te bedragen (Probeton, 2023).





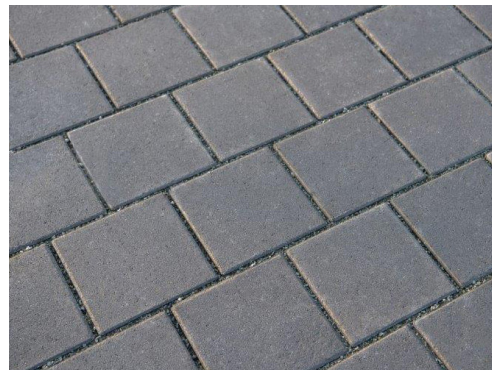
Poreuze betonstraatstenen bezitten door hun open structuur een lagere splijttreksterkte (> 2,5 MPa) dan klassieke betonstraatstenen (> 3,6 MPa), maar vormen wel een aaneensluitend oppervlak – wat de begaanbaarheid verbetert. In vergelijking met de klassieke betonstraatstenen zijn ze wel gevoeliger voor de inwerking van vorst-dooicycli in combinatie met dooizouten.

#### 4. Hybride betonstraatstenen

Hybride betonstraatstenen combineren een deklaag in niet-poreus beton met een onderlaag in poreus beton. Door een profilering bovenaan de zijkanten vertoont de waterdoorlatende verharding plaatselijk verbrede voegen, waardoor het hemelwater door de poreuze onderlaag verder kan infiltreren.

Het **infiltratievermogen** van dit type van betonstraatsteen dient volgens de eis van de Technische Voorschriften PTV 126 minimaal 3240 ml/min/m<sup>2</sup> bruto-oppervlakte te bedragen, wat overeenkomt met de eis op poreuze producten van  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s (Probeton, 2023).

Hybride producten bezitten door hun open structuur in de onderlaag een lagere splijttreksterkte (> 2,5 MPa) dan klassieke betonstraatstenen (> 3,6 MPa) en vormen een quasi aaneensluitend oppervlak wat de begaanbaarheid verbetert.



## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

	Stenen met verbrede voegen / Stenen met drainageopeningen	Poreuze straatstenen	Hybride straatstenen
Norm	NBN EN 1338 (NBN, 2003+2006) en NBN B21-311 (NBN, 2006+2023)	PTV 126 (Probeton, 2023)	PTV 126 (Probeton, 2023)
Splijttreksterkte in N/mm <sup>2</sup>	3,6	2,5	2,5
Maatafwijkingen in mm			
Lengte	± 2	± 2	± 2
Breedte	± 2	± 2	± 2
Hoogte	± 3 (bij hoogte < 10 cm) ± 4 (bij hoogte ≥ 10 cm)	± 3 (bij hoogte < 10 cm) ± 4 (bij hoogte ≥ 10 cm)	± 3 (bij hoogte < 10 cm) ± 4 (bij hoogte ≥ 10 cm)
Max. Wateropslorping in %	6,0	Niet van toepassing	Niet van toepassing
Min. Waterdoorlatendheid	Niet van toepassing	540 l/s/ha (5,4 x 10 <sup>-5</sup> m/s)	3240 ml/m <sup>2</sup> /min
Oppervlakteopeningen of verbrede voegen in % (van de totale oppervlakte)	10 %	Niet van toepassing	Niet van toepassing

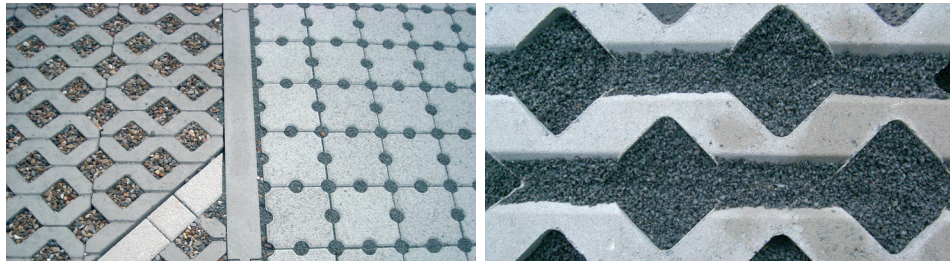
### 5. Grasbetontegels

Ook grasbetontegels kunnen als waterdoorlatende bestrating worden gebruikt, op voorwaarde dat ze op een doorlatende structuur worden aangebracht en dat de openingen met een aangepast mengsel van teelaarde voor grasgroei (bijvoorbeeld een mengsel van teelaarde-compost-graszaden-lava 3/8) tot maximaal 1 cm onder de bovenrand, of met waterdoorlatende steenslag worden gevuld. Het percentage grasgroeivoorzieningen bij het beoogde legpatroon voldoet aan de volgende eisen:

- Klasse 1 – Markering 20 - ≥20% grasgroeivoorzieningen
- Klasse 2 – Markering 40 - ≥40% grasgroeivoorzieningen
- Klasse 3 – Markering 60 - ≥60% grasgroeivoorzieningen

Meer informatie over grasbetontegels is te vinden in de brochure “Beton: veelzijdigheid troef” van FEBE (Federatie van de Betonindustrie [FEBE], Vereniging van Producenten van Betonstraatstenen [FEBESTRAL], s.d.). De eisen voor grasbetontegels zijn weergegeven in PTV 126 (Probeton, 2023).

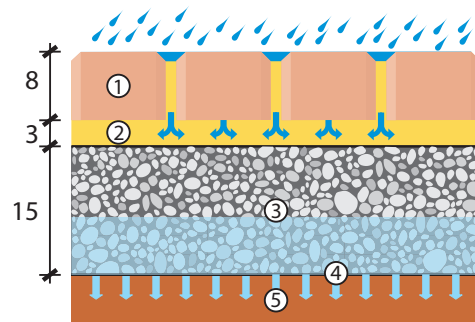




## ► Hoe werken waterdoorlatende bestratingen?

Het algemene werkingsprincipe van een waterdoorlatend verhardingssysteem met betonstraatstenen is als volgt.

1. Het hemelwater infiltreert via de waterdoorlatende betonstraatstenen, de voegvulling en de straatlaag naar de fundering. De straatstenen laten het water door en voorkomen zo afstroming aan het oppervlak.
2. Het hemelwater wordt bij voorkeur in de onderfundering gebufferd; de fundering dient als extra bufferreserve. De fundering moet de nodige draagkracht verschaffen voor het verkeer.
3. Het hemelwater infiltreert in de bodem, afhankelijk van hoe doorlatend deze is.
4. Het hemelwater dat niet in de bodem infiltreert, wordt via een knijpleiding vertraagd afgevoerd naar nabijgelegen grachten, infiltratiesystemen of naar het rioleringsstelsel.



1. Waterdoorlatende straatstenen
2. Straatlaag
3. Fundering
4. Niet-geweven geotextiel
5. Ondergrond

De minimale dwarshelling kan bij een waterdoorlatende bestrating worden beperkt tot 1 %, in tegenstelling tot een minimale dwarshelling van 2,5 % bij een klassieke niet-waterdoorlatende bestrating. De maximale helling (in alle richtingen) is bij voorkeur niet groter dan 5 %. Anders zou er te veel water van het oppervlak afstromen en zou er onvoldoende infiltratie zijn in de structuur. In dat geval is extra buffering (dikkere onderfundering) nodig ter hoogte van de laagste punten. Indien de helling beperkt wordt tot maximaal 2%, dient men voor de bepaling van het afwaterende oppervlak volgens de Hemelwaterverordening, 2023 de waterdoorlatende verharding niet mee te rekenen als afwaterende oppervlakte.

## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### ▶ Met welke regenbui wordt bij het ontwerp rekening gehouden?

Langdurige regenbuien met een geringe regenintensiteit van 80 l/s/ha (= 0,5 mm/min = 0,5 l/(m<sup>2</sup>.min)) vertegenwoordigen in België meer dan 90 % van de totale jaarlijkse neerslag. Niet deze minder hevige, langdurige buien leiden echter tot wateroverlast, maar wél de plotse, hevige regenbuien. De neerslaghoeveelheid en -intensiteit zijn dus in grote mate afhankelijk van de duur van de regenbui: een langdurige regenbui is meestal minder intens, terwijl kortere regenbuien een grotere intensiteit kunnen hebben.

Met deze grote neerslaghoeveelheid wordt rekening gehouden bij het ontwerp van waterdoorlatende bestratingen en de bepaling van het infiltratievermogen. Zo werd destijds gerekend met een regenbui van 10 min die toen eens in de dertig jaar voorkwam met een neerslaghoogte van 16,3 mm<sup>1</sup>. Tegenwoordig is de terugkeerperiode van zulke regenbui verlaagd tot 20 jaar volgens de neerslaggegevens van het KMI in Ukkel (Koninklijk Meteorologisch Instituut [KMI], 2024) wat betekent dat deze meer frequent voorkomen. Het is duidelijk dat alle componenten van de totale structuur (ondergrond, onderfundering, fundering, straatlaag en betonstraatstenen) aan een bepaalde waterdoorlatendheidseis moeten voldoen.

Ervaring heeft echter aangetoond dat een goed ontwerp ook de mogelijkheid biedt om meerdere opeenvolgende regenbuien op te nemen, waardoor het risico op afstroming van oppervlaktewater zeer beperkt is.

Het infiltratievermogen van water wordt aangegeven met een **waterdoorlatendheidscoëfficiënt of doorlatendheidsfactor k**. De doorlatendheidsfactor k – uitgedrukt in m/s – is het watervolume dat per tijdseenheid door een eenheidsoppervlak stroomt.

Alle componenten van het totale waterdoorlatende bestratingssysteem bezitten een minimale doorlatendheidsfactor k gelijk aan  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s om de historische regenbui van 270 l/s/ha te laten infiltreren, rekening houdend met een veiligheidsfactor 2. Deze veiligheidsfactor ondervangt een afname van de doorlatendheid in de tijd en mogelijke luchtinluitsels, en maakt dat deze waarde van infiltratiecapaciteit ook voldoende is om huidige piekregens op te vangen met een terugkeerperiode van 20 jaar.

---

<sup>1</sup> 16,3 mm/10 min = 0,00163 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup> = 1,63 l/60 s/m<sup>2</sup> = 0,02716 l/s/m<sup>2</sup> ≈ 270 l/s/ha = 2,70 × 10<sup>-5</sup> m/s.



## ► Hoe wordt de doorlatendheid van de ondergrond bepaald?

De doorlatendheid van de ondergrond wordt bepaald aan de hand van de karakteristieken van de grond of door metingen in situ.

Naargelang van de doorlatendheidsfactor  $k$  onderscheidt men de volgende categorieën van grond:

zeer doorlatende grond	$k > 10^{-4}$ m/s
goed doorlatende grond	$10^{-4} > k > 10^{-6}$ m/s
matig tot slecht doorlatende grond	$10^{-6} > k > 10^{-8}$ m/s
nagenoeg ondoorlatende grond	$k < 10^{-8}$ m/s

Voor de verschillende grondsoorten kunnen bij een voorontwerp de volgende doorlatendheidscoëfficiënten [m/s] worden aangenomen. Bij definitieve berekeningen kunnen er best metingen in situ uitgevoerd worden.

zand/grind	$10^{-3} - 10^{-5}$ m/s
lemig zand	$10^{-4} - 10^{-7}$ m/s
zandig leem	$10^{-5} - 10^{-8}$ m/s
leem	$10^{-6} - 10^{-9}$ m/s
klei	$10^{-9} - 10^{-11}$ m/s

Er bestaan verschillende methoden om de doorlatendheid in situ te bepalen (Vlaamse Milieumaatschappij [VMM], s.d.), zoals bijvoorbeeld de “open-end test”. Bij deze methode wordt een waterkolom met een constante hoogte van 1 m op de grond aangebracht. Uit een continue meting van het aangevoerde water gedurende ten minste 20 minuten kan de doorlatendheid van de ondergrond worden bepaald. Het is alleszins belangrijk een voldoende groot en representatief aantal metingen uit te voeren om de doorlatendheid van de grond te kunnen inschatten.

Een eenvoudigere, maar minder nauwkeurige proef is de “putmethode”. Hierbij wordt een put van 50 cm x 50 cm gegraven, ongeveer 50 cm diep. Op de bodem wordt een dunne laag steenslag aangebracht. Vervolgens wordt 5 l water opgegoten en de tijd gemeten waarin dit water in de bodem verdwijnt. De proef wordt minimaal drie keer herhaald. De doorlatendheid is dan gelijk aan:

Waterdoorlatendheid [m/s] = Hoeveelheid water [l] / tijd [s] / oppervlakte van de put [m<sup>2</sup>] /1000

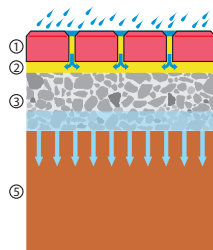


## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### Hoe wordt het water ondergronds afgevoerd?

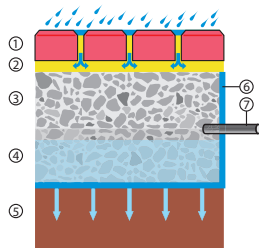
Bij voorkeur infiltreert het water in de bodem. Als de bodem onvoldoende doorlatend is, wordt in een bijkomend drainagesysteem voorzien. Dit moet voor een vertraagde afvoer zorgen, zodat de buffering steeds in de onderfundering plaatsvindt en dus stroomafwaarts geen overlast veroorzaakt wordt.

Men onderscheidt vier gevallen voor de doorlatendheid van de grond:



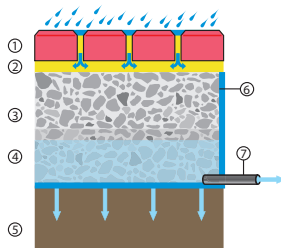
Geval 1: zeer doorlatende grond

Al het water infiltreert onmiddellijk in de grond. Een onderfundering is hierbij niet nodig voor buffering, evenmin als extra drainage.



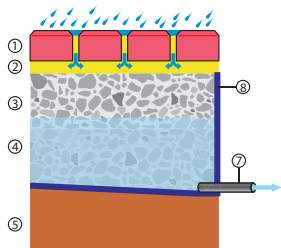
Geval 2: goed doorlatende grond

Het water infiltreert grotendeels na buffering in de onderfundering. Op de overgang tussen fundering en onderfundering wordt een afvoerinrichting aangebracht, zodat er geen water lang in de fundering blijft.



Geval 3: matig tot slecht doorlatende grond

Het water infiltreert slechts zeer beperkt in de grond. Het overige water wordt gebufferd in de onderfundering en afgevoerd via een drainageinrichting. Deze leidt via een knijpleiding (vooral bij grotere oppervlakken nodig), die de afvoer vertraagt, naar nabijgelegen grachten, infiltratievoorzieningen of regenwaterriolen. De waterdoorlatende structuur zal hier voornamelijk als buffersysteem dienst doen.



Geval 4: geen infiltratie toegestaan

Op het baanbed en rondom de constructie wordt een ondoorlatend membraan aangebracht. De vertraagde afvoer gebeurt onder in de structuur. Daar wordt een helling van minimaal 1 % gerealiseerd, zodat al het water kan worden afgevoerd. De buffering vindt nog steeds in de onderfundering plaats.

- |                                  |                                |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Waterdoorlatende straatstenen | 5. Ondergrond                  |
| 2. Straatlaag                    | 6. Niet-geweven geotextiel     |
| 3. Fundering                     | 7. Afvoerbuis met knijpleiding |
| 4. Onderfundering                | 8. Waterondoorlatend membraan  |



Waterdoorlatende bestratingen zorgen dus niet enkel voor infiltratie, maar ook voor buffering en vertraagde afvoer in geval van minder en slecht doorlatende grondsoorten.

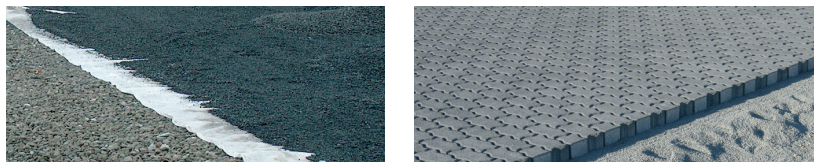
Dankzij een vertraagde afvoer, gerealiseerd door bijvoorbeeld een knijpleiding, gebeurt de buffering in de structuur zelf en hoeft bijgevolg niet in extra buffercapaciteit voor de waterdoorlatende verharding te worden voorzien. De uitstroom van de knijpleiding wordt bij voorkeur naar een open infiltratiesloot, een gracht, een infiltratiebekken, een wadi of een RWA (regenwaterafvoer) afgevoerd. De grootte van de knijpleiding is afhankelijk van het debiet dat naar de stroomafwaartse voorzieningen wordt toegelaten.

## ► Hoe worden de fundering en onderfundering ontworpen?

Voor de dimensionering van waterdoorlatende structuren dient rekening te worden gehouden met het verkeer en het type van ondergrond. De verkeersbelasting zal de dikte en het materiaal van de fundering bepalen, en het type van ondergrond de dikte van de onderfundering – rekening houdend met de nodige vorstbescherming van de grond en de nodige buffercapaciteit. Waterdoorlatende bestratingen mogen slechts toegepast worden voor verkeerscategorieën II-IV volgens de OCW-handleiding voor ontwerp en uitvoering van betonstraatstenen (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw [OCW], 2009). Bij categorie II gaat de voorkeur naar een fundering van drainerend schraal beton.

Categorie	Type van verkeer			Fundering	
	Voetgangers, fietsers, bromfietzers	Lichte voertuigen (< 3,5 t)	Zware voertuigen (> 3,5 t)	Drainerend schraal beton	Waterdoorlatende steenslag
I	Onbeperkt	Beperkt tot 5 000 per dag	Beperkt tot 400 per dag	<b>geen toepassing van waterdoorlatende bestrating mogelijk</b>	
II	Onbeperkt	Beperkt tot 5 000 per dag	Beperkt tot 100 per dag	20 cm	35 cm
III	Onbeperkt	Beperkt tot 500 per dag	Beperkt tot 20 per dag	15 cm	25 cm
IV	Onbeperkt	Occasioneel	Geen	-	15 cm

## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

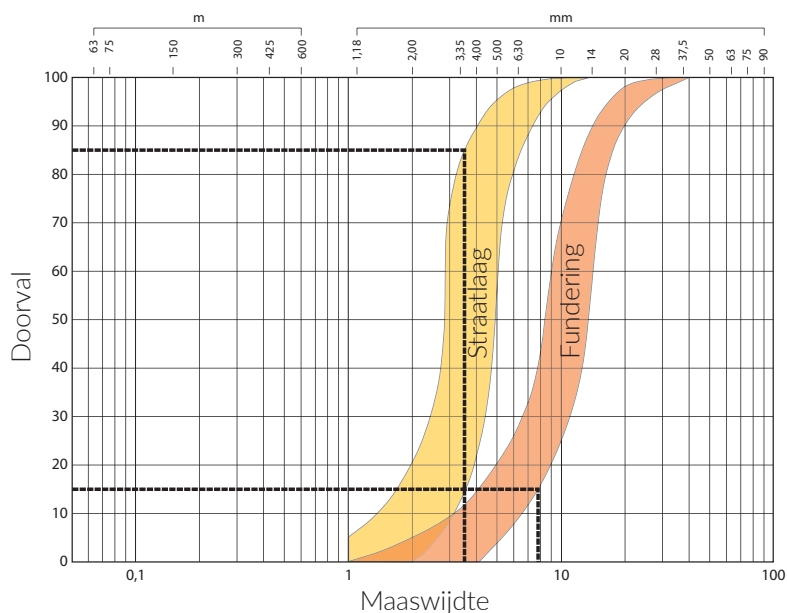


Aan de materialen voor de fundering worden de volgende eisen gesteld:

- drainerend schraal beton (volgens de standaardbestekken SB 250 [Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV), 2021], TB 2015 [Brussel Mobiliteit, 2016] of CCT Qualiroutes [Service Public de Wallonie (SPW), Qualité & Construction, 2021]):
  - minimale gemiddelde druksterkte op kernen: 13 N/mm<sup>2</sup>;
  - verzadigde doorlatendheidscoëfficiënt, in het laboratorium bepaald op kernen geboord uit de fundering: min.  $4 \times 10^{-4}$  m/s;
- waterdoorlatende (ongebonden) steenslagfundering met continue korrelverdeling, bijvoorbeeld 0/20, 0/32 of 0/40:
  - fractie fijn materiaal ( $< 63 \mu\text{m}$ ) beperkt tot 3 %;
  - de zandfractie dient steeds gewassen te zijn;
  - fractie 0/2 mm beperkt tot 25 %;

Dit type steenslag staat ook vermeld in de verschillende typebestekken.

- een discontinue korrelverdeling wordt afgeraden, zeker voor funderingen. Mogelijk kan wel worden geadviseerd voor een continue korrelverdeling 2/20 of 2/32. De kleinste diameter wordt bij voorkeur niet groter dan 2 mm genomen, om een goede verdichting te verkrijgen;
- filterstabiliteit:  $D_{15}$  onderliggende laag/ $D_{85}$  bovenliggende laag  $\leq 5$ , waarbij  $D_{15}$  en  $D_{85}$  de maaswijdten zijn die overeenstemmen met respectievelijk 15 % en 85 % doorval. Voor het voorbeeld in onderstaande figuur geeft dit:
  - $D_{15}$  fundering = 8,00 mm –  $D_{85}$  straatlaag = 3,7 mm;
  - $8,00/3,7 = 2,16 < 5 \Rightarrow$  Filterstabiliteit is ok.
- Zandcement is **ongeschikt** als funderingsmateriaal voor waterdoorlatende bestratingen.



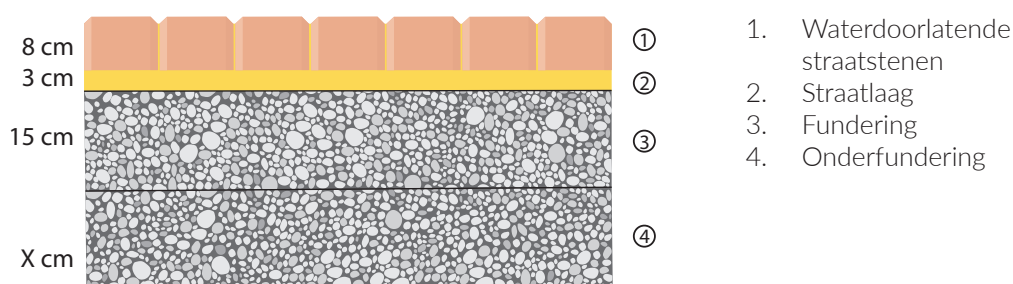
De onderfundering heeft een dubbele functie. Enerzijds levert zij de bijkomende buffercapaciteit die de structuur, afhankelijk van de mogelijke infiltratiesnelheid, nodig heeft; anderzijds beschermt zij de grond tegen de inwerking van vorst. Beide functies gaan veelal samen: een weinig of niet doorlatende ondergrond, zoals een kleigrond, is tevens zeer gevoelig voor de inwerking van vorst.

De buffercapaciteit wordt bepaald door de toegankelijke holle ruimte in het verdichte steenslag van de onderfundering. De nodige buffercapaciteit is afhankelijk van de verwachte regenval en in het optimale geval ook van de verwachte opeenvolgende regens, en van het doorvoerdebiet en de terugkeerperiode voor overloop.

De nodige buffercapaciteit kan worden bepaald door uit te gaan van de eisen van de Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening Hemelwater. Afhankelijk van de kans dat de overloop in werking treedt en van de uitstroom onder in de structuur en de infiltratie in de ondergrond, zal een bepaald buffervolume nodig zijn om opeenvolgende regens op te vangen.

De Hemelwaterverordening, 2023 eist een minimaal nuttig buffervolume van 33l/m<sup>2</sup> afwaterende oppervlakte.

Opbouw:



De minimumdikte voor de lagen waarin wordt gebufferd, wordt bepaald uitgaande van de water-toegankelijke porositeit van de granulaten en een veiligheidsfactor 1,5 om rekening te houden met luchtinsluitels. Dit kan via volgende formule:

$$V_{\text{buffer}} = \frac{D * S_{\text{verh}} * \text{Por}}{100 * 1,5}$$

Met :

- $V_{\text{buffer}}$  [l] = totale hoeveelheid water die theoretisch in de bepaalde laag gebufferd kan worden. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de aanwezige helling.
- $D$  [mm] = dikte van de beschouwde laag
- $S_{\text{verh}}$  [m<sup>2</sup>] = oppervlakte van de waterdoorlatende bestrating
- $\text{Por}$  [%] = watertogankelijke porositeit van de beschouwde granulaten

Bij voorkeur gebeurt de buffering onder in de structuur (enkel in onderfundering), aangezien de invloed op de draagkracht dan zeer beperkt blijft.

Het type van fundering en onderfundering wordt onafhankelijk van het type van waterdoorlatende straatsteen gekozen.

## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### ► Waaraan dient de straatlaag te voldoen?

Bij de keuze van het type van straatlaag dient rekening te worden gehouden met de volgende eisen:



- waterdoorlatendheid: deze dient minimaal gelijk te zijn aan  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s;
- filterstabiliteit: de straatlaag mag niet in de onderliggende funderingslaag verdwijnen (zie vorige paragraaf);
- weerstand tegen vergruizing: vorming van fijn materiaal onder verkeersbelastingen dient vermeden te worden.

De dikte van de straatlaag bedraagt 3 tot 4 cm na verdichting. Het verdichten van de straatlaag mag pas gebeuren na het plaatsen van de straatstenen. Bij een goede filterstabiliteit tussen de straatlaag en de fundering zal fijn straatlaagmateriaal niet door de grovere fundering heen wegspoelen en dus geen verzakking veroorzaken.

Net als bij de fundering zijn de waterdoorlatendheid en de mechanische sterkte van belang. De gewestelijke typebestekken voor de wegenbouw leggen hierbij extra eisen op betreffende fijnheid, vorm en de weerstand tegen verbrijzeling en afslijting. Voorbeelden zijn grof steenslag 2/6,3 of granulaatmengsel 0/6,3, telkens met een beperking op het gehalte fijn materiaal (aandeel < 0,063 mm is maximum 3%).

De kwaliteit van de granulaten voor de straatlaag is eveneens belangrijk. De granulaten dienen minstens tot categorie Ab te behoren, of tot categorie 3 (voor Vlaanderen) volgens PTV 411 (Be-Cert, 2024). Dit houdt in dat de  $LA^2$  (Los Angelescoëfficiënt) niet groter mag zijn dan 20 en de  $MDW^3$  (micro-Devalcoëfficiënt) niet groter dan 15. Granulaten 2/4 mm of 2/6,3 mm dienen te behoren tot categorie Ab II f4. **Zandcement mag nooit gebruikt worden als straatlaag in waterdoorlatende bestratingen.**

### ► Welk voegvullingsmateriaal moet worden gebruikt?

Na de keuze van het geschikte type van waterdoorlatende betonstraatsteen, de dimensionering, het type van fundering en het juiste straatlaagmateriaal, is de keuze van het voegmateriaal een laatste bepalende factor in de opbouw van een waterdoorlatende bestrating.

#### 1. Poreuze betonstraatstenen



De voegvulling van poreuze betonstraatstenen vereist een specifieke aanpak: de voegen die met dit type van doorlatende betonstraatsteen ontstaan, zijn niet groter dan bij klassieke betonstraatstenen en over het algemeen 1 tot 2 mm breed.

<sup>2</sup>  $LA^2$  - de Los Angelescoëfficiënt is een maat voor de weerstand tegen verbrijzeling van stenen. Voor zand wordt dit gemeten op het moedergesteente. De meting wordt uitgevoerd volgens NBN EN 1097-2 (NBN, 2020).

<sup>3</sup>  $MDW$  - micro-Deval in aanwezigheid van water is een maat voor de weerstand tegen afslijting. De meting wordt uitgevoerd volgens NBN EN 1097-1 (NBN, 2023).



Zij moeten worden gevuld met voegmateriaal waarvan de korrelmaat beantwoordt aan de categorie GF85 met  $D \leq 2$  mm en  $f_v$  volgens de norm NBN EN 13242 (NBN, 2008).

De doorval door de zeven met de volgende maaswijdte bedraagt:

- zeef van 0,5 mm: max. 50 %;
- zeef van 0,063 mm: max. 4 %.

Het ontbreken van de fractie 0/0,5 voorkomt dat het oppervlak van de poreuze betonstraatstenen reeds tijdens het invegen van het voegmateriaal verstopt raakt, zoals onvermijdelijk zou gebeuren met een klassieke voegvulling 0/2 mm (de fractie 0/0,5 mm zou het ruwe, doorlatende oppervlak van de poreuze steen verstoppen).

## 2. **Waterdoorlatende stenen met verbrede voegen en drainageopeningen, en hybride betonstraatstenen**



Het voegenaandeel van deze eerste twee types van waterdoorlatende stenen bedraagt volgens de eis van de Technische Voorschriften PTV 126 minimaal 10 % van de totale bestratingsoppervlakte (Probeton, 2023).

Afhankelijk van het formaat van de steen resulteert dit in andere voegbreedtes. Deze worden gevuld met gebroken steenslag dat ook voor de straatlaag kan worden gebruikt, namelijk een korrelmaat 2/4 of 2/6,3 mm, of als alternatief een granulaatmengsel 0/6,3.

Belangrijk hierbij is dat het voegmateriaal steeds filterstabiel is ten opzichte van de onderliggende straatlaag. Een fijnkorrelig voegmateriaal zou kunnen infiltreren in een grofkorreliger straatlaag. Dit zou gaandeweg resulteren in verdwijnen van voegmateriaal en leiden tot destabilisatie van de bestrating. Als voor straatlaag en voeg eenzelfde korrelmaat wordt toegepast, is de filterstabieleit steeds verzekerd.

Harde voegmaterialen zoals porfier, basalt en zandsteen verdienen de voorkeur boven zachte gesteenten zoals kalksteen, dolomiet en marmer. Te zachte materialen zullen immers na verloop van tijd verweren tot een fijnere korrelmaat met een groter stofaandeel, waardoor de waterdoorlatendheid en de filterstabieleit zullen afnemen.

Het voegmateriaal voor toepassingen met straatstenen met verbrede voegen of drainageopeningen dient een minimale doorlatendheid van  $5,4 \times 10^{-4}$  m/s te hebben, om een doorlatendheid van  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s voor het totale oppervlak te verkrijgen. Dit komt doordat het voegenaandeel slechts 10 % van de oppervlakte bedraagt. Een korrelmaat 2/4 of 2/6,3 mm voldoet hier ruimschoots aan.

## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### Praktische voorbeelden van opbouw

Verkeerscategorie

	Categorie II	Categorie III	Categorie IV
Zeer doorlatend			
Goed doorlatend			
Weinig doorlatend			

1. Waterdoorlatende straatstenen
2. Straatlaag
3. Steenslagfundering
4. Drainerend schraal beton

5. Onderfundering in steenslag
6. Ondergrond
7. Doorlatend geotextiel en/of geogrid
8. Afvoerbuïs met knijpleiding

De dikte van de onderfundering is variabel en enerzijds functie van de vorstvrije diepte om de ondergrond te beschermen en anderzijds afhankelijk van het nodige buffervolume (33l/m<sup>2</sup> afwaterende oppervlakte). Het is eveneens aangewezen om de onderfundering bovenop een geotextiel én **een geogrid** (geogrid bovenop geotextiel) aan te brengen om het eventuele verlies in draagvermogen (door de mogelijk verzadigde ondergrond) te compenseren.

### ► Wat kan worden bespaard door gebruik te maken van waterdoorlatende structuren?

Bij de toepassing van waterdoorlatende structuren zijn in principe geen straatkolken meer nodig aan het oppervlak. Het water zal immers onmiddellijk door de stenen, voegen of openingen dringen en naar de onderliggende lagen worden afgevoerd. Extra veiligheid kan wel worden ingebouwd door iets lager gelegen groenzones in het ontwerp op te nemen. Bij grotere hellingen (5 %) kan in de lager gelegen punten een extra voorziening worden toegepast om water af te voeren. Een meer gedetailleerde berekening van de buffering is hier noodzakelijk.

Als infiltratie in de grond mogelijk is, is geen extra drainage of buffervolume nodig. De waterdoorlatende structuur kan bijgevolg volledig autonoom op sterk doorlatende grond worden aangebracht, zonder verbinding naar andere buffer- of infiltratiesystemen.

Als de grond minder of niet doorlatend is, dient wel in drainage te worden voorzien.

### ► Waar worden waterdoorlatende bestratingen toegepast?

- Op plaatsen waar het verkeer beperkt blijft, gezien het verminderde draagvermogen van de wegstructuur (in waterverzadigde toestand). Dit zijn bijvoorbeeld (bedrijfs)parkings voor personenwagens, winkelcentra, woonstraten, parkeerplaatsen, pleinen en wandelstraten, fiets- en voetpaden, opritten en terrassen.
- Niet op winplaatsen voor grondwater, tenzij specifieke maatregelen ter bescherming van de ondergrond worden getroffen<sup>4</sup>.
- Liefst niet in zones waar veelvuldig dooizouten worden gebruikt, om het grondwater niet te verontreinigen.
- Qua comfort zijn betonstraatstenen met verbrede voegen of met drainageopeningen minder geschikt voor fietspaden. Poreuze betonstraatstenen met kleine afschuining (of vlak) en met smalle voegen, of de hybride betonstraatstenen zijn hiervoor meer aangewezen. Voor voetpaden vermijdt men ook best het gebruik van betonstraatstenen met verbrede voegen of met drainageopeningen. Hier kan men dus beter poreuze of hybride betonstraatstenen gebruiken of een strook voorzien zonder verbrede voegen of drainageopeningen.

---

<sup>4</sup> Zie bijvoorbeeld WalOnMap: <https://geoportail.wallonie.be/walonmap>, Geopunt: <https://www.geopunt.be/> of Geodata.environment.brussels: <https://geodata.environment.brussels/client/view/?lang=nl> voor een overzicht van de beschermingszones van drinkwaterwingebieden in de verschillende Gewesten.

## ▶ Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### ▶ Waarop dient bij de uitvoering te worden gelet?

Alle aspecten die bij de klassieke verhardingen aan bod komen, zoals een goede verdichting van de materialen en een goede kwaliteit van de granulaten, dienen ook hier in acht te worden genomen (OCW, 2009). Aan het baanbed en de fundering worden dezelfde eisen gesteld. Het vereiste draagvermogen voor de fundering is wel lager in geval van waterdoorlatende bestratingen (80 MPa statisch of 60 MPa dynamisch).

#### Verdichting

De verdichting van materialen met een discontinue korrelopbouw vraagt meer aandacht dan bij continue materialen. Dit effect blijft echter beperkt als de minimale diameter gelijk is aan 2 mm of kleiner en de maximale diameter kleiner is dan 40 mm.

#### Verontreiniging door fijne materialen

Er dient ervoor te worden gewaakt dat de funderingslaag en de straatlaag niet met fijn materiaal verontreinigd raken. Het is daarom af te raden dat de verschillende lagen bereiden worden door vervuילend bouwverkeer. Tevens moeten de geleverde materialen op een nette plaats worden opgeslagen, om vermenging met grond te vermijden.

### ▶ Hoe kan de uitvoering gecontroleerd worden?

Het is wenselijk dat in ieder stadium van de uitvoering een degelijke controle wordt uitgevoerd. Dit geldt zowel voor de kwaliteit van de geleverde materialen als voor het uitvoeringsproces.

De doorlatendheid van de structuur is cruciaal. Draagkracht moet voor de verschillende lagen door een goede verdichting worden bereikt, en niet door fijn materiaal toe te voegen. Dit laatste brengt immers de waterdoorlatendheid in het gedrang.

De eisen aan de draagkracht, die bepaald wordt met een plaatbelastingsproef, zijn in principe dezelfde als bij een klassieke wegopbouw. De ondergrond en de onderfundering moeten een statische samendrukbaarheidsmodulus van respectievelijk 17 MPa of 35 MPa bezitten. Voor de waterdoorlatende steenslagfundering kan echter een lagere eis gehanteerd worden (80 MPa statisch ipv 110 MPa, of 60 MPa dynamisch ipv 85 MPa).

De controle van de doorlatendheid is mogelijk met de zogenaamde **dubbele-ringproef** (Vlaamse Overheid, AWW, 2021, Hoofdstuk 14-4.19). Hierbij worden twee ringen op het oppervlak aangebracht. In beide ringen wordt water aangevoerd. Het water in de buitenste ring zorgt ervoor dat het water in de binnenste ring zo verticaal mogelijk stroomt. De eigenlijke meting vindt in de binnenste ring plaats. Hier wordt een constant waterniveau aangehouden. Het debiet is dan een maat voor de doorlatendheid. Deze metingen worden minimaal gedurende 20 min uitgevoerd, zodat een idee van de verzadigde doorlatendheid wordt verkregen.





De dubbele-ringproef wordt ook gebruikt om de doorlatendheid van het afgewerkte oppervlak na te gaan.

### ► Welk onderhoud dient te worden uitgevoerd?

In principe is het onderhoud bij waterdoorlatende bestratingen beperkt tot het onkruidvrij houden van het oppervlak (Boonen et al., 2012). Onderzoek heeft aangetoond dat in de voegen van doorlatende bestratingen minder onkruid groeit dan bij klassieke bestratingen bij vergelijkbare voegbreedte. Normaal gebruik van het oppervlak houdt dit onkruidvrij. Ook een goede vulling van de voegen en een goede verdichting kunnen leiden tot minder onkruidgroei. Het feit dat het water door de waterdoorlatendheid niet in de voegen blijft staan, kan eveneens een gunstig effect hebben op het onkruidvrij houden van het oppervlak.

Regelmatig reinigen, vegen of borstelen is aangewezen om vervuiling van het oppervlak en daling van de doorlatendheid te voorkomen. Zo kunnen verstoppingen vermeden worden. Deze verstoppingen zullen hoofdzakelijk in de bovenste centimeters aan het oppervlak optreden. Hierdoor is het mogelijk om met een veeginstallatie of onder hoge druk de bovenste centimeters van de voegen en poriën vrij te maken en zo opnieuw een goede doorlatendheid te verkrijgen. Bij stenen met verbrede voegen of drainageopeningen kan de voegvulling over de bovenste centimeters worden vervangen om de doorlatendheid te herstellen.

## ▶ Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

### ▶ Welke normen en technische voorschriften zijn van toepassing?

#### **PTV 126 - Technische voorschriften voor betonproducten voor waterdoorlatende verhardingen (Probeton, 2023)**

PTV 126 geeft een gedetailleerde beschrijving van de producten en van de technische eisen zoals mechanische sterkte, weersbestandheid en waterdoorlatendheid. Daarnaast beschrijft de PTV de meet- en beproevingsmethoden hiervoor. De betonproducten voor waterdoorlatende verhardingen worden gecertificeerd onder het BENOR-merk, het vrijwillige collectieve keurmerk van overeenkomstigheid met de PTV. De controle hiervan wordt beheerd door PROCERTUS. De PTV's blijven van kracht in afwachting van een Belgische norm (NBN) of een Europese norm (NBN EN).

#### **Algemene bestekken**

Elk gewest heeft zijn specifiek standaardbestek, dat als basis dient voor de bijzondere bestekken. Deze bestekken zijn steeds digitaal te raadplegen. Elk standaardbestek legt specifieke eisen vast voor de waterdoorlatende verhardingen met geprefabriceerde betonproducten.

Op het moment van afwerking van dit document waren de volgende versies van de standaardbestekken geldig:

- SB250 (Vlaamse Overheid, AWW, 2021)
- Qualiroutes (SPW, Qualité & Construction, 2021)
- TB 2015 (Brussel Mobiliteit, 2016)

#### **Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening Hemelwater (Hemelwaterverordening, 2023)**

Bestrijding van wateroverlast is niet enkel een opdracht voor de overheid, maar ook voor alle inwoners. Met zijn allen bouwen we immers steeds meer en blijven we verhardingen aanbrengen. Het nuttige gebruik van hemelwater is gereguleerd in de Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening Hemelwater (2023). Deze verordening is enkel van toepassing in Vlaanderen en legt wettelijke voorschriften vast met het oog op rationeel verbruik van hemelwater, zowel op het private als op het openbaar domein. Dit impliceert onder andere dat bij het verharderen van grondoppervlakken principieel moet worden voorzien in bijkomende voorzieningen, zodat het hemelwater maximaal wordt hergebruikt, infiltreert of vertraagd wordt afgevoerd.

**In de verordening dient een goed opgebouwde waterdoorlatende verharding met een helling kleiner dan 2% niet meegerekend te worden in de afwaterende oppervlakte.**

Bij een gesloten verharding wordt het aangelegde oppervlak in het kader van de verordening, en dus voor de berekening van de verschillende voorzieningen voor de volle 100% meegerekend. Bij verbouwingen en renovaties kan er voor deze verhardingen met meer dan 100% moeten gerekend worden.



## ► Referenties

- Be-Cert. (2024). *Codificatie van de granulaten* (Be-Cert Technische Voorschriften No. PTV 411, Uitgave 2.7). <https://extranet-materials.procortus.be/#/searchpage?tab=Documents>
- Beeldens, A., Gendera, F., Rens, L., Van den Berghe, T., Van den Heyning, G. & Vijverman, L. (2008). *Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen* (OCW Dossier No. 5, Bijlage bij OCW mededelingen No. 77). Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/waterdoorlatende-bestratingen>
- Boonen, E., De Cauwer, B., Fagot, M., Beeldens, A. & Reheul, D. (2012). *Handleiding voor niet-chemische onkruidbeheersing op verhardingen met kleinschalige elementen* (OCW Aanbevelingen No. A84/12). Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/handleiding-niet-chemische-onkruidbeheersing-verhardingen>
- Brussel Mobiliteit. (2016). TB 2015: *Typebestek betreffende wegeniswerken in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest*. <https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/tb2015.pdf>
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2003+2006). *Betonstraatstenen: Eisen en beproevingsmethoden* (NBN EN 1338+AC). [https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=267231&p40\\_language\\_code=nl&p40\\_detail\\_id=24968&session=4518910823029&\\_gl=1\\*1qpzs5l\\*\\_up\\*MQ..&gclid=EAlalQobChMlx8XdqbrJiAMVpo9QBh2tXzIQEAAYASAAEgLUS\\_D\\_BwE](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=267231&p40_language_code=nl&p40_detail_id=24968&session=4518910823029&_gl=1*1qpzs5l*_up*MQ..&gclid=EAlalQobChMlx8XdqbrJiAMVpo9QBh2tXzIQEAAYASAAEgLUS_D_BwE)
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2006+2023). *Betonstraatstenen: Toepassingsvoorschriften* (NBN B 21-311+A1). [https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=1112798&p40\\_language\\_code=nl&p40\\_detail\\_id=467020&session=1075089983845](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=1112798&p40_language_code=nl&p40_detail_id=467020&session=1075089983845)
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2008). *Granulaten voor ongebonden en hydraulisch gebonden materialen voor civieltechnische werken en wegenbouw* (NBN EN 13242+A1). [https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=244871&p40\\_language\\_code=nl&p40\\_detail\\_id=51810&session=3815941347819&\\_gl=1\\*1rqdaib\\*\\_up\\*MQ..&gclid=EAlalQobChMIs\\_rOhezJiAMVhpNQBh3Z-Q1BEAAYASAAEgJ8svD\\_BwE](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=244871&p40_language_code=nl&p40_detail_id=51810&session=3815941347819&_gl=1*1rqdaib*_up*MQ..&gclid=EAlalQobChMIs_rOhezJiAMVhpNQBh3Z-Q1BEAAYASAAEgJ8svD_BwE)
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2020). *Tests voor mechanische en fysische eigenschappen van aggregaten. Deel 2: Methoden voor het bepalen van weerstand tegen fragmentatie* (NBN EN 1097-2). [https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=226713&p40\\_language\\_code=nl&p40\\_detail\\_id=93371&session=111102305141&\\_gl=1\\*1ncnwl\\*\\_up\\*MQ..&gclid=EAlalQobChMIs\\_rOhezJiAMVhpNQBh3Z-Q1BEAAYASAAEgJ8svD\\_BwE](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=226713&p40_language_code=nl&p40_detail_id=93371&session=111102305141&_gl=1*1ncnwl*_up*MQ..&gclid=EAlalQobChMIs_rOhezJiAMVhpNQBh3Z-Q1BEAAYASAAEgJ8svD_BwE)
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2023). *Test voor mechanische en fysische eigenschappen van toeslagstoffen. Deel 1: Bepaling van de slijtvastheid (micro-Deval)* (NBN EN 1097-1). [https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40\\_id=2449944&p40\\_language\\_code=nl&p40\\_detail\\_id=522174&session=17339149272067&\\_gl=1\\*1qavf5o\\*\\_up\\*MQ..&gclid=EAlalQobChMIs\\_rOhezJiAMVhpNQBh3Z-Q1BEAAYASAAEgJ8svD\\_BwE](https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=2449944&p40_language_code=nl&p40_detail_id=522174&session=17339149272067&_gl=1*1qavf5o*_up*MQ..&gclid=EAlalQobChMIs_rOhezJiAMVhpNQBh3Z-Q1BEAAYASAAEgJ8svD_BwE)
- Federatie van de Betonindustrie (FEBE), Vereniging van Producenten van Betonstraatstenen (FEBESTRAL). (S.d.). *Beton, veelzijdigheid troef!* <https://www.febe.be/nl/publicaties/beton-veelzijdigheid-troef/>

## Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen

- Hemelwaterverordening. (2023, februari 10). Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwater, tot wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 16 juli 2010 tot bepaling van stedenbouwkundige handelingen waarvoor geen omgevingsvergunning nodig is en tot opheffing van het besluit van de Vlaamse Regering van 5 juli 2013 houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater. *Belgisch staatsblad*, 21.06.2023, 56124-56152. [https://www.ejustice.just.fgov.be/mopdf/2023/06/21\\_1.pdf#page=14](https://www.ejustice.just.fgov.be/mopdf/2023/06/21_1.pdf#page=14)
- Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). (2024). *Het klimaat in uw gemeente*. <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaat-van-belgie/klimaat-in-uw-gemeente>
- Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW). (2009). *Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen* (OCW Aanbevelingen No. A80/09). <https://brrc.be/nl/expertise/expertise-overzicht/aanbevelingen-ontwerp-uitvoering-verhardingen-betonstraatstenen>
- Probeton. (2023). *Betonproducten voor waterdoorlatende bestratingen* (Probeton Technische Voorschriften No. PTV 126, Uitgave 4). <https://extranet-prefab.procertus.be/documents/01%20BENOR>
- Service Public de Wallonie (SPW), Qualité & Construction. (2021). *Cahier des charges type qualiroutes* [Geconsolideerde versie van 2021 en de daaropvolgende aanpassingen]. <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/index.html>
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). (S.d.). *Infiltratieproeven*. <https://www.vmm.be/water/bouwen/regenwater/infiltratieproeven>
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2021). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw* [Versie 4.1a]. <https://www.vlaanderen.be/het-standaardbestek-250-voor-wegenbouw>