

Handleiding

*voor het ontwerp en de
uitvoering van verhardingen in
betonstraatstenen*



Aanbevelingen

Deze handleiding is opgesteld door werkgroep «Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen»;

Samenstelling van deze werkgroep:

Voorzitter: Henk Keymeulen (Agentschap Wegen en Verkeer)

Secretaris: Anne Beeldens (OCW)
Olivier De Myttenaere (OCW)

Leden: Patrick Ampe (Hogeschool Gent Vakgroep Bouwkunde)
Anne Beeldens (OCW)
Freddy Capoen (FEBE)
Serge Colin (D+A International)
Olivier De Myttenaere (OCW)
Raymond Debroux (Service Public de Wallonie)
Marc Demunter (Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest),
Eli Desmedt (VlaWeBo)
Liesbeth Donné (FEBE), met dank aan Davy Vennekens en Lieve Vijverman
Frank Gendera (Ebema)
Jan Higuët (Technum)
Jan Horemans (Holcim)
Henk Keymeulen (Agentschap Wegen en Verkeer)
Björn Pirson (Grontmij)
Luc Rens (FEBELCEM)
Dirk Smets (Arcadis Gedas)
Jean-Pol Tasiaux (Inasep)
Thomas Van den Berghe (Stradus)
Egied Vandezande (onafhankelijk expert)
Jef Vanhoutte (Agentschap Wegen en Verkeer)
Met dank aan Paul Bauweraerts (Probeton)

Belangrijk:

Hoewel de aanbevelingen in deze handleiding met de grootst mogelijke zorg zijn opgesteld, zijn onvolkomenheden nooit uit te sluiten. Het OCW en de personen die aan deze publicatie hebben meegewerkt kunnen geenszins aansprakelijk worden gesteld voor de verstrekte informatie, die louter als documentatie en zeker niet voor contractueel gebruik is bedoeld.

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Brussel

Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen

A80/09

Uitgegeven door het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Woluwedal, 42 – 1200 Brussel

Alle rechten voorbehouden

Inhoudsopgave

Voorwoord		VII
1	Ontwerpaspecten	1
1.1	Dimensioneringsprincipes, indeling van het verkeer in categorieën en bijbehorende standaardstructuren	1
1.2	Keuze en specificaties van de onderdelen van een weg	3
1.2.1	Baanbed	3
1.2.1.1	Dimensionering tegen vorst/dooi	3
1.2.1.2	Draagvermogen	4
1.2.1.3	Waterafvoer	5
1.2.2	Onderfundering	5
1.2.2.1	Onderfundering van zand	5
1.2.2.2	Onderfundering van steenslag	6
1.2.2.3	Onderfundering van gestabiliseerde bodem of gelijkwaardige materialen	6
1.2.3	Fundering	6
1.2.4	Drainage en waterafvoer	7
1.2.4.1	Waterindringing via de voegen beperken	8
1.2.4.2	Geïnfiltreerd water afvoeren	8
1.2.5	Kantopsluiting	9
1.2.5.1	Te stellen eisen aan de kantopsluiting	9
1.2.5.2	Aanwerken tegen kantopsluitingen met behulp van bisschopsmutsen	11
1.2.6	Straatlaag	12
1.2.6.1	Te stellen eisen aan de straatlaag	12
1.2.6.2	Materialen	13
1.2.6.3	.Dikte, profilering en verdichting van de straatlaag	13
1.2.7	Straatgoten	14
1.2.7.1	Te stellen eisen aan de straatgoten	14
1.2.7.2	Materialen	14
1.2.8	Betonstraatstenen	15
1.2.8.1	Keuze van de soort van betonstraatstenen	15
1.2.8.2	Kwaliteit	15
1.2.8.3	Formaat	15
1.2.8.4	Dikte	17
1.2.8.5	Afstandhouders	19
1.2.8.6	Velling	19
1.2.8.7	Hulpstukken	20
1.2.8.8	Oppervlakafwerking	20
1.2.8.8.1	Opbouw van bestonstraatstenen	20
1.2.8.8.2	Standaardafwerking: onbehandeld	21
1.2.8.8.3	Kleurvaste toplagen	21
1.2.8.8.4	Nabehandelingen	22
1.2.8.9	Keuze in verband met veiligheid en comfort	26
1.2.8.10	Keuze in verband met akoestische eisen	26
1.2.8.11	Keuze van het legverband	27
1.2.9	Voegvulling	27
1.2.10	Dwarsprofiel	28
1.2.10.1	Hangend dakprofiel	28
1.2.10.2	Dakprofiel	29

1.2.10.3	Gewijzigd tonrond profiel	29
1.2.10.4	Omgekeerd dakprofiel	29
2	Bijkomende eisen bij het ontwerp van betonsteen-bestratingen voor speciale toepassingen	31
2.1	Specifieke voorschriften bij waterdoorlatende bestratingen	31
2.1.1	Inleiding	31
2.1.2	Types waterdoorlatende bestratingen	31
2.1.2.1	Betonstraatstenen met verbrede voegen	31
2.1.2.2.	Betonstraatstenen met drainageopeningen	32
2.1.2.3	Poreuze betonstraatstenen	32
2.1.2.4	Grasbetontegels	33
2.1.3	Werkingsprincipe	33
2.1.4	Toepassingsgebied	33
2.1.5	Dimensionering	34
2.1.5.1	Dimensionering van de waterafvoer en het drainagesysteem	35
2.1.5.2	Dimensionering van de fundering	37
2.1.5.3	Dimensionering van de onderfundering	38
2.1.5.4	Keuze van het type van waterdoorlatende bestrating	39
2.1.5.5	Keuze van de straatlaag en het voegvullingsmateriaal	40
2.1.5.6	Controle	40
2.2	Rotondes van betonstraatstenen	41
2.2.1	Opbouw van een rotonde van betonstraatstenen	41
2.2.2	Kantopsluiting	41
2.2.3	Voegen, legverband, formaat	42
2.3	Fietspaden van betonstraatstenen	42
3	Kwaliteitscertificatie	43
3.1	Inleiding	43
3.1.1	CE-markering met minimale kwaliteitseisen	43
3.1.2	BENOR-certificatie met hoge kwaliteitseisen	44
3.2	Productlabels	44
3.3	Europese norm NBN EN 1338 en CE-markering	44
3.3.1	Toepassingsgebied	44
3.3.2	Vormkenmerken - toelaatbare maatafwijkingen	45
3.3.3	Mechanische kenmerken	45
3.3.3.1	Weerbestandheid (duurzaamheid)	45
3.3.3.1.1	Bepaling van de totale wateropsorping	45
3.3.3.1.2	Bepaling van de vorst-dooibestandheid in aanwezigheid van doozouten	46
3.3.3.2	Splijttreksterkte	47
3.3.3.3	Slijtbestandheid (bestandheid tegen afslijting)	47
3.3.3.4	Glij- of slipweerstand	48
3.3.3.5	Brandgedrag	48
3.3.3.6	Warmtegeleidingsvermogen	48
3.3.4	Visuele kenmerken	48
3.3.4.1	Uiterlijk	48
3.3.4.2	Textuur	48
3.3.4.3	Kleur	48
3.4	Belgische norm NBN B 21-311 en BENOR-merk	49
3.4.1	Toegelaten klassen	49
3.4.1.1	Maatafwijking van diagonalen	49
3.4.1.2	Weerbestandheid (duurzaamheid)	49
3.4.1.3	Slijtbestandheid (weerstand tegen afslijting)	50
3.4.2	Toepassingscategorieën	50
3.5	Andere voorschriften voor betonstraatstenen	50
3.5.1	PTV 122 voor waterdoorlatende betonstraatstenen	50
3.5.1.1	Betonstraatstenen met drainageopeningen of verbrede voegen	50
3.5.1.2	Poreuze betonstraatstenen	51

4	Uitvoering van een verharding van betonstraatstenen	53
4.1	Keuring en conformiteitscontrole van geleverde materialen	53
4.2	Baanbed	54
4.3	Onderfundering	54
4.4	Kantopsluiting en randafwerking	54
4.4.1	Bepaling van de breedte van de weg naargelang van de geleverde betonstraatstenen	54
4.4.2	Aanbrenging van een stut achter de kantopsluiting	55
4.5	Fundering	55
4.6	Spreaden, profileren en verdichten van de straatlaag	56
4.7	Leggen van de stenen	57
4.7.1	Legvolgorde naargelang van het legverband	57
4.7.2	Mengen van stenen uit verschillende pakken	57
4.7.3	Leggen van betonstraatstenen (click-en-dropmethode)	57
4.7.4	Rechtlijnigheid van de voegen tijdens het straten	57
4.7.5	Prefab hulpstukken	58
4.7.6	Zagen van passtenen	58
4.7.7	Machinale aanbrenging van betonstraatstenen	58
4.7.7.1	Voor- en nadelen van machinaal straatwerk	58
4.7.7.1.1	Voordelen	58
4.7.7.1.2	Nadelen	58
4.7.7.2	Verschillen met handmatig straatwerk	59
4.7.7.2.1	Aanlevering van de stenen	59
4.7.7.2.2	Verplaatsing op de bouwplaats en leggen van de stenen	59
4.8	Terugplaatsen van verwijderde merkstenen en merktegels	59
4.9	Uitzettingsvoegen in de bestrating	60
4.10	Afwerking rond singuliere punten en aan de rand in de verharding	60
4.11	Opvoegen en afrillen van de betonsteenbestrating	61
5	Onderhoud	63
5.1	Controle en hervullen van voegen	63
5.2	Reinigen	63
5.2.1	Vegen	63
5.2.2	Reinigen met water onder hoge druk of met warm water	63
5.2.3	Afstomen	64
5.2.4	Verwijderen van vlekken	64
5.3	Mos, algen en zwammen	65
5.4	Kalkuitslag op beton	65
5.4.1	Wat is kalkuitslag?	65
5.4.2	Hoe ontstaat kalkuitslag?	66
5.4.3	Hoe verdwijnt kalkuitslag?	67
5.4.4	Verschil tussen cementsoorten	67
5.4.5	Kan het proces versneld worden?	67
6	Opnemen en herleggen van betonstraatstenen (na aanbrenging van nutsleidingen)	69

Voorwoord

Bestratingen met betonstraatstenen zitten sinds een vijftiental jaren sterk in de lift. Betonstraatstenen zijn een speels materiaal: het zwart-grijze kan worden verlaten en een creatieve ontwerper kan daarmee zijn ideeën kwijt.

Maar helaas dreigde een aantal jaren geleden de betonstraatsteen het slachtoffer te worden van zijn succes. Bestratingen werden te pas en te onpas voorgeschreven, ook op zwaar belaste wegen. Elk studie bureau had zijn eigen modeldwarsprofiel, elke leverancier had zijn interpretatie over “gekleurd in de massa”, elke aannemer had zijn uitvoeringsmethode. Dikwijls waren er mooie en blijvende resultaten. Soms moest de bestrating voortijdig worden overgedaan.

Uit al die ervaringen is de idee gegroeid om een handleiding te schrijven, waarin alle aspecten van de bestrating met betonstraatstenen gebundeld konden worden.

Want betonstraatstenen zijn een flexibel materiaal en verdienen een goede behandeling.

Ze zijn immers verkrijgbaar in talloze kleuren, formaten, vormen en texturen en hebben dus een uitgebreid toepassingsgebied. Een weloverwogen keuze kan het karakter van een straat, plein of park in grote mate beïnvloeden.

Het esthetische aspect is slechts één van de pluspunten van betonstraatstenen. Door het combineren van verschillende kleuren en texturen kan men zones met verschillende functies accentueren. Dit verhoogt de herkenbaarheid en de leesbaarheid, wat bijdraagt tot de veiligheid van de weggebruiker. Door de vele voegen ontstaat er ook een snelheidsremmend effect. Als men bovendien voor de verschillende zones een aangepast formaat en legverband kiest, kan men een maximaal comfort creëren voor de gebruikers.

Ook aan de toenemende eisen in verband met duurzaamheid kan de betonstraatsteen perfect beantwoorden. Door de opbouw in twee lagen wordt de steen geoptimaliseerd: de onderlaag levert de sterkte, terwijl men in de bovenlaag kan variëren in kleur en oppervlakbehandeling. Door een goede keuze van granulaat kan men een grote hardheid realiseren en dus een slijtvast oppervlak. Door het gebruiken van gekleurde granulaten is men bovendien zeker van een langdurige kleurvastheid.

Om al deze voordelen maximaal tot hun recht te doen komen, moet de volledige wegstructuur natuurlijk aan bepaalde eisen voldoen. Verzakkingen, oneffenheden en beschadigingen hebben niet alleen nadelige gevolgen voor het uitzicht van een bestrating, ze verminderen ook de veiligheid en het comfort. Daarom is het belangrijk ruim aandacht te schenken aan een goed ontwerp en een correcte plaatsing. Een bestrating is meer dan alleen de stenen. Het is een geheel van lagen, waarbij elke laag een welbepaalde rol speelt. Een slecht ontwerp of slechte uitvoering van één van de lagen kan dan ook negatieve gevolgen hebben voor de hele bestrating.

Het streefdoel van de opstellers van deze handleiding was en is het realiseren van kwaliteitsvolle bestratingen met betonstraatstenen.

In deel 1 van de handleiding worden de verschillende ontwerpaspecten van een bestrating en hun specifieke kenmerken besproken.

In deel 2 komen enkele speciale toepassingen aan bod. Zo gelden er specifieke eisen voor waterdoorlatende bestratingen. Bij rotondes en fietspaden moet er extra aandacht besteed worden aan het ontwerp en de uitvoering. Fietspaden kunnen, mits een goede keuze van de materialen en een goede plaatsing, een hoog comfort-niveau bieden.

Om een hoog kwaliteitsniveau te garanderen, worden betonstraatstenen in België geproduceerd onder het BENOR-merk. De eisen en controles die hiermee gepaard gaan, komen aan bod in deel 3.

In deel 4 worden de richtlijnen voor een goede uitvoering van een bestrating in betonstraatstenen weergegeven. De aandachtspunten bij elke laag worden hierbij belicht. Ook wordt aandacht besteed aan de afwerking rond singuliere punten.

Omdat een bestrating ook jaren na aanleg in goede staat moet blijven, worden in deel 5 enkele richtlijnen voor een goed onderhoud meegegeven.

Tenslotte wordt in deel 6 dieper ingegaan op het herleggen van stenen. Dit komt immers geregeld voor, vooral na het uitvoeren van werken aan nutsleidingen.

Deze handleiding is tot stand gekomen dank zij de medewerking van vele specialisten uit de sector: leveranciers, studiebureaus, hogescholen, aannemers, overheden en uiteraard het O.C.W.

Ik wens iedereen te bedanken die op een of andere manier zijn steentje heeft bijgedragen. Ik hoop dat deze handleiding daadwerkelijk en dikwijls ter hand zal worden genomen, want ze is het waard.

ir. Henk Keymeulen
Afdelingshoofd
Voorzitter van de werkgroep

Hoofdstuk 1

Ontwerpaspecten

1.1 Dimensioneringsprincipes, indeling van het verkeer in categorieën en bijbehorende standaardstructuren

De opbouw van een bestrating ziet er door- gaans als wergegegeven op figuur 1.1:

De verschillende onderdelen van deze opbouw komen verder in deze handleiding uitvoerig aan bod.

De dimensionering van een verharding van betonstraatstenen bestaat in de bepaling van de dikte van de stenen en de straatlaag, van de aard en dikte van de fundering en van de aard en dikte van een eventuele onderfundering, als functie van de verwachte verkeersbelasting en de draagkracht van de ondergrond.

In een verharding van betonstraatstenen dragen de individuele stenen, door hun geringe hori- zontale afmetingen, nauwelijks bij tot de draag- kracht van de verharding.

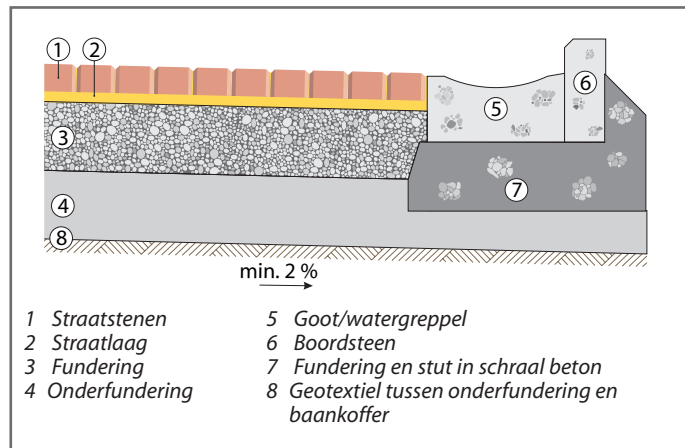
De individuele stenen bieden immers geen weerstand tegen verplaatsingen en/of rotaties. In een verharding van betonstraatstenen liggen zij echter naast elkaar en worden ze onderling verbonden door volledig gevulde voegen. Een beweging van één steen zal bijgevolg resulteren in voegkrachten, die op de omringende stenen worden overgedragen. Hierdoor ontstaat een laag van samenwerkende straatstenen, die wél bijdraagt tot de draagkracht van de verharding. Door dit "plaat-effect" kan de bestrating (straatstenen en straatlaag) als een enigszins flexibele verharding worden beschouwd.

Uit het oogpunt van dimensionering zal de fundering het zwaarst worden belast en dus bestand moeten zijn tegen de optredende spanningen en vervormingen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen flexibele, ongebonden funderingen (zand, steenslag, zand-steenslagmengsels) en stijve, hydraulisch gebonden funderin- gen (zandcement, gebonden steenslagmengsels, schraal beton, drainerend schraal beton en walsbeton).

Voor ongebonden funderingen is de permanente vervorming van de funderingslaag, met de daaraan verbonden vervorming van de onderfundering en de ondergrond, het beslissende criterium voor de dimensionering. Deze vervormingen leiden immers tot doorbuiging en spoorvorming in de bestrating.

Cementgebonden funderingen zorgen voor een betere lastspreiding en beschermen de onderliggende lagen tegen overbelasting en dus tegen permanente vervorming. Het beslissende dimensioneringscriterium is hier de verhouding tussen de trekspanning die aan de onderzijde van de funderingslaag optreedt en de maximaal toe- laatbare trekspanning van het materiaal, rekening houdend met vermoeiingseffecten. Een stijve fundering bezwijkt door scheurvorming, waardoor de stijfheid en de draagkracht van het materiaal afnemen.

Aan de hand van de specifieke kenmerken en vermoeiingswetten van de verschillende typen van funderingen kan de levensduur van de constructie worden bepaald. Deze wordt meestal theoretisch uitgedrukt in een aantal overgangen van gestandaardiseerde aslasten en kan, mits kennis van de verkeersbelasting, worden omgezet in



Figuur 1.1 Voorbeeld van opbouw van een bestrating

een levensduur in jaren. Hiertoe zijn in een aantal landen (Frankrijk, Nederland,...) berekeningsprogramma's ontwikkeld, waarmee een theoretische levensduur kan worden bepaald.

Een meer praktische en meer gebruikelijke aanpak werkt met standaardstructuren die geldig zijn voor vereenvoudigde verkeersklassen. Deze standaardstructuren worden bepaald uit bovenvermelde theoretische berekeningen of met empirische methoden, gebaseerd op de ervaringen in een bepaald land.

Zo bestaan er in Vlaanderen "Standaard Wegstructuren" als functie van de bouwklasse van de weg. Ook in andere landen (Frankrijk, Duitsland, Verenigd Koninkrijk, Australië, ...) zijn dergelijke tabellen met standaardstructuren opgesteld. Door deze verschillende ontwerprichtlijnen te vergelijken en daarbij rekening te houden met de Belgische traditie in bouwwijze en materiaalkeuze, werd voor deze handleiding een nieuwe indeling in verkeerscategorieën en een nieuwe, vereenvoudigde reeks van aanbevolen standaardstructuren opgesteld.

Er worden vier categorieën van verkeersbelasting gedefinieerd, van de zwaarst belaste categorie I tot de minst belaste categorie IV. Voor elke categorie wordt het maximaal toegelaten volume aan licht verkeer (< 3,5 t) en zwaar verkeer (> 3,5 t) bepaald. In plaats van te werken met het theoretische principe van een aantal equivalente standaardlasten wordt hier het dagelijkse aantal passerende voertuigen, samengeteld in beide rijrichtingen, als maatstaf voor het verkeer gehanteerd. Ter illustratie worden wel de bouwklassen vermeld die hier bij benadering mee overeenstemmen.

Type van verkeer				Indicatieve aanduiding van de bouwklasse volgens de Standaard Wegstructuren van de Vlaamse Overheid
Categorie	Voetgangers, fietsers, bromfietzers	Lichte voertuigen (< 3,5 t)	Zware voertuigen (> 3,5 t)	
I	Onbeperkt	Beperkt tot 5 000 per dag	Beperkt tot 400 per dag	B6-B7
II	Onbeperkt	Beperkt tot 5 000 per dag	Beperkt tot 100 per dag	B8-B9
III	Onbeperkt	Beperkt tot 500 per dag	Beperkt tot 20 per dag	B10
IV	Onbeperkt	Occasioneel	Geen	BF

Tabel 1.1 Verkeerscategorieën

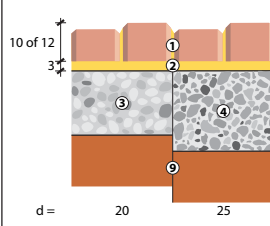
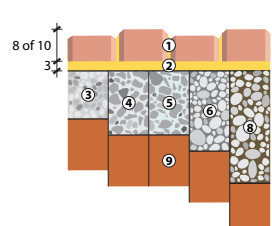
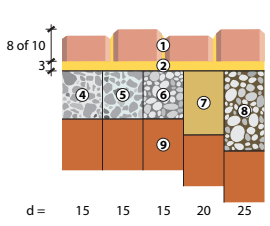
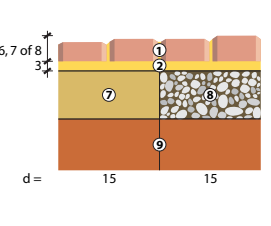
Met elke verkeerscategorie stemmen aanbevolen standaardstructuren overeen. De ontwerplevensduur van de voorgestelde standaardstructuren bedraagt twintig jaar.

Categorie		I	II	III	IV
Dikte straatstenen		10 cm of 12 cm	8 cm of 10 cm	8 cm of 10 cm	6 cm of 7 cm of 8 cm
Dikte straatlaag		3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Aard en dikte fundering	Walsbeton	20 cm	15 cm	-	-
	Schraal beton	25 cm	20 cm	15 cm	-
	Drainerend schraal beton	-	20 cm	15 cm	-
	Hydraulisch gebonden steenslag	-	25 cm	15 cm	-
	Zandcement	-	-	20 cm	15 cm
	Steenslag	-	35 cm	25 cm	15 cm
Onderfundering	Zie verderop				

Tabel 1.2 Standaardstructuren voor de verschillende verkeerscategorieën

Er worden hier geen specifieke aanbevelingen gedaan voor de ondergrond of het baanbed, noch voor de onderfundering. Verderop in deze handleiding worden de eisen qua draagvermogen en vorstvrije diepte gesteld waaraan het baanbed en de onderfundering dienen te voldoen. Ook zal nader worden ingegaan op de materiaalkeuze van de straatlaag en op de keuze van het type, de dikte en het legverband van de stenen.

Voor de niet-ingevulde velden van tabel 1.2 geldt dat de betrokken funderingskeuzen voor de beschouwde verkeerscategorie geen aanbeveling verdienen. Een visuele voorstelling is weergegeven in figuur 1.2.

Categorie I Zware voertuigen < 400 per dag Lichte voertuigen < 5 000 per dag	Categorie II Zware voertuigen < 100 per dag Lichte voertuigen < 5 000 per dag	Categorie III Zware voertuigen < 20 per dag Lichte voertuigen < 500 per dag	Categorie IV Geen zware voertuigen Occasioneel lichte voertuigen
 d = 20 25	 d = 15 20 20 25 35	 d = 15 15 15 20 25	 d = 15 15
1. Betonstraatstenen 2. Straatlaag 3. Walsbeton 4. Schraal beton 5. Drainerend schraal beton		6. Hydraulisch gebonden steenslag 7. Zandcement 8. Steenslag 9. Onderfundering d Dikte fundering (cm)	

Figuur 1.2 Standaardstructuren in functie van de verkeersbelasting

De tabel geldt niet voor specifieke toepassingen zoals containerterminals en vliegvelden. De standaardstructuren voor waterdoorlatende bestratingen worden verderop besproken.

1.2 Keuze en specificaties van de onderdelen van een weg

1.2.1 Baanbed

Het baanbed is het ter plaatse aanwezige (of bij een ophoging: het aangevoerde) materiaal dat de wegstructuur en de verkeersbelasting in alle klimaatomstandigheden moet kunnen dragen.

De draagkracht van de grond beïnvloedt rechtstreeks de benodigde dikte van de wegstructuur onder een bepaalde verkeersbelasting.

De draagkracht van de grond is sterk afhankelijk van het watergehalte van de materialen waaruit hij is samengesteld. Bij verzadigde materialen kan de draagkracht zelfs helemaal wegvallen. Het is dan ook stellig aan te raden het baanbed onderin van drainage te voorzien als de bodem ondoorlatend is.

Als de grond uit vorstgevoelige materialen bestaat, dient te allen tijde te worden vermeden dat het vorstfront deze diepte bereikt. Dit kan door de dikte van de onderfundering te verhogen. Als vorstgevoelige materialen bevroren, zal dit immers leiden tot uitzettingen en tot opduwen van de wegconstructie. Daarom is het van groot belang enerzijds de vorstgevoeligheid van de grond na te gaan en anderzijds de diepte van het vorstfront te bepalen.

1.2.1.1 Dimensionering tegen vorst/dooi

De vorstindringingsdiepte Z , in cm, is per definitie gelijk aan: $Z = 5 \times \sqrt{J}$.

Hierin is J de vorstindex. De vorstindex is het aantal graden-dagen tussen het maximum en minimum van de cumulatieve kromme van de graden-dagen, die de vorstintensiteit en -duur kenmerkt en per winterperiode is berekend. In principe wordt de tienjaarlijkse vorstindex gehanteerd; dit is de grootste vorstindex die in een periode van tien jaar voorkomt.

Weerstation	Provincie	Tienjaarlijkse vorstindex (°C.dagen)	Z (cm)
Middelkerke	West-Vlaanderen	147	61
Moerbeke	Oost-Vlaanderen	133	58
Geel	Antwerpen	157	63
Gorseme	Limburg	154	62
Ukkel	Brussel	135	58
Bevekom	Waals Brabant	167	65
La Hestre	Henegouwen	143	60
Thirimont	Henegouwen	196	70
Ciney	Namen	210	72
Rochefort	Namen	348	93
Luik	Luik	124	56
Thimister	Luik	182	67
Hockay	Luik	212	73
Mont-Rigi	Luik	290	85
Stavelot	Luik	270	82
Nadrin	Luxemburg	340	92
Libramont	Luxemburg	223	75
Aarlen	Luxemburg	254	80

Tabel 1.3 Vorstindex en vorstindringingsdiepte Z voor verschillende locaties

1.2.1.2 Draagvermogen

De draagkracht van het baanbed is voldoende als de samendrukbaarheidscoëfficiënt M1 (bij de eerste cyclus van de plaatbelastingsproef) gelijk is aan of groter is dan 17 MPa.

Als het baanbed tijdens de uitvoering van de werkzaamheden onvoldoende draagkracht blijkt te bezitten, kan de grond worden verbeterd (praktijkids nr. 2 van handleiding A74 van het OCW) door een gepast behandelingsmiddel toe te voegen of een geogrid toe te passen.

De waarde van J wordt in tabel 1.3 weergegeven voor verschillende weerstations over de periode 1995-2005. Uit deze cijfers konden de overeenkomstige waarden voor de vorstindringingsdiepte, Z, worden berekend.

De dikte van de vorstvrije structuur (in cm) is afhankelijk van de vorstindringingsdiepte:

$$D_{\text{vorstvrij}} = a \times Z$$

De waarde van a wordt gelijk genomen aan 0,8 als het freatische vlak dieper ligt dan 1,4 m onder het bovenvlak van de verharding. In het andere geval wordt a gelijk genomen aan 1,0.

Als de geplande structuur dunner is dan de op deze manier berekende nodige dikte van de vorstvrije structuur, dient bij vorstgevoelige grond ofwel een gedeelte van de ondergrond te worden vervangen door vorstongevoelig materiaal, ofwel de grond te worden verbeterd met een geschikt behandelingsmiddel.

Plaatproef



Figuur 1.3

De plaatproef bestaat erin een cirkelvormige stijve stalen plaat met diameter 15,96 cm of 30,90 cm (oppervlak 200 cm² of 750 cm²), te kiezen in functie van de korrelverdeling van de beproefde grond (steenslag of grond), in contact te brengen met het te testen oppervlak. Een welbepaalde belasting wordt op de plaat aangebracht, waarbij het tegengewicht verzorgd wordt door een vrachtwagen, kraan, bulldozer,... en vervolgens wordt de zetting opgemeten, zodra deze gestabiliseerd is.

De zetting wordt geregistreerd in functie van de opgelegde belasting. De helling van de bekomen curve is een maat voor het draagvermogen van de beproefde grond.

$$M_E = \frac{D \Delta p}{\Delta s}$$

Δp : verschil in belasting tussen 2 trappen (MN/m²)
 Δs : zettingsverschil in cm
 D : diameter van de plaat in cm

Deze proef is ook terug te vinden in de proefmethode 50.01, MN 4078 (OCW publicatie)

1.2.1.3 Waterafvoer

Zoals al aangehaald, bepaalt het watergehalte heel sterk de draagkracht van de grond of de fundering. Een goede waterafvoer (oppervlaktewater, geïnfilterd water en opstijgend water) draagt bij tot een groter draagvermogen van de grond. Dit wordt nader toegelicht in § 1.2.4.

1.2.2 Onderfundering

De dikte van de onderfundering wordt door de ontwerper bepaald. Deze houdt rekening met de kwaliteit van het baanbed, de noodzaak om de grond vorstvrij te houden en de noodzaak om de wegconstructie te draineren.

Afhankelijk van de ondergrond dient een niet-geweven geotextiel te worden aangebracht om opstijging van fijn materiaal in de onderfundering te voorkomen.

Als het baanbed verstevigd moet worden, kunnen geogrids worden toegepast. Dit zijn monolithische grids met grote mazen van kunststof met een hoge elasticiteitsmodulus en een kleine kruip, die gebruikt worden om het materiaal op het baanbed als één geheel te doen werken en de spanningen optimaal op de grond over te brengen. Deze geogrids worden steeds in een laag steenslag geplaatst.

De onderfundering dient de volgende functies te vervullen:

- als constructief element de bovenliggende belastingen voldoende over de grond verdelen;
- door zijn dikte de ondergrond vorstvrij houden;
- als scheidingslaag de fundering beschermen tegen opstijgend vocht en tegen de indringing van fijne gronddeeltjes;
- de wegconstructie ontwateren;
- tijdens de aanleg buitensporige vervorming van het baanbed onder het bouwverkeer voorkomen en het transport, het spreiden en de verdichting van het funderingsmateriaal mogelijk maken;
- in de meeste gevallen als stabiele ondergrond dienen voor de aan te brengen trottoirbanden, straatgoten en andere lijnvormige elementen.

Om deze functies te vervullen, moeten de materialen van de onderfundering vorstbestendig en voldoende waterdoorlatend zijn. Bovendien moeten ze gemakkelijk verdichtbaar zijn en na verdichting voldoende draagkracht bezitten (samendrukbaarheidscoëfficiënt M1, gemeten tijdens de eerste cyclus van de plaatbelastingsproef, gelijk aan of groter dan 35 MPa).

Het draagvermogen moet behouden blijven, zelfs wanneer de onderfunderingslaag maandenlang aan regen en vorst is blootgesteld.

De gebruikte materialen kunnen van natuurlijke of kunstmatige oorsprong zijn. De bestekken (SB 250, TB 2000 en RW99) laten materialen van verschillende oorsprong toe. Zo zijn er natuurlijke granulaten, gerecycleerde granulaten (zoals bouw- en slooppuin) en kunstmatige granulaten (zoals slakken). Belangrijk is hier te vermelden dat de toegelaten materialen van gewest tot gewest verschillen. Het is dus aangewezen het typebestek van het betrokken gewest te raadplegen.

Algemeen onderscheidt men onderfunderingen van verschillende typen.

1.2.2.1 Onderfundering van zand

Deze onderfundering bestaat:

- ofwel helemaal uit draineerzand of zand voor onderfunderingen beschreven in de typebestekken, als de laag dun genoeg is om in één werkgang te worden aangebracht;
- ofwel uit één laag zand met daarboven een laag (ongeveer 10 cm dik) van hetzelfde zand verstevigd met grof steenslag, als de laag in meer dan één werkgang wordt aangebracht.

1.2.2.2 Onderfundering van steenslag

Deze onderfundering bestaat uit een homogeen mengsel van zand voor onderfunderingen en steenslag met een grove korrelmaat.

1.2.2.3 Onderfundering van gestabiliseerde bodem of gelijkwaardige materialen

Behandeling van grond en andere materialen in situ of in een menginstallatie heeft tot doel de fysische en mechanische eigenschappen te veranderen door een geschikt bindmiddel (kalk, cement, hydraulisch bindmiddel,...) toe te voegen. Het behandelingsmiddel moet worden afgestemd op de grond of het te behandelen materiaal. Een onderzoek in het laboratorium is noodzakelijk om de verbeteringen te begroten en de dosering vast te leggen.

Het OCW heeft een praktische gids opgesteld voor de realisatie van onderfunderingen met gestabiliseerde materialen (praktijkgids nr. 2 van handleiding A74). De vorstgevoeligheid van het gestabiliseerde materiaal dient te allen tijde te worden gecontroleerd, zeker als onmiddellijk na verdichting een periode van vorst kan intreden.

1.2.3 Fundering

De fundering wordt aangebracht op de onderfundering, of op het baanbed als er geen onderfundering wordt toegepast. Zij heeft een dubbele rol:

- een onvervormbare ondergrond vormen voor de eigenlijke verharding;
- de krachten die het verkeer uitoefent, verdelen tot een niveau dat door de onderfundering kan opgenomen worden.

Men onderscheidt niet-gebonden funderingen (steenslag en grind) en gebonden funderingen (zandcement, gestabiliseerd steenslag, al dan niet gewapend schraal beton, drainerend schraal beton en walsbeton).

Het voordeel van een cementgestabiliseerde fundering is een hogere stijfheid, stabiliteit en duurzaamheid en zo een beter gedrag van de constructie onder invloed van verkeer en vorst.

Het voordeel van een niet-gebonden fundering is dat zelfs bij een beperkte waterdoorlatendheid de mogelijkheid bestaat om stagnerend water naar de onderfundering af te voeren.

In de fundering kunnen natuurlijke of secundaire materialen worden toegepast: natuursteenslag, zand, gebroken slak, betonpuingranulaat en in enkele regio's ook asfaltpuingranulaat, mengpuingranulaat (van beton en metselwerk) en staalslak.

De meest toegepaste niet-gebonden funderingen bestaan uit:

- steenslag met continue korrelverdeling, samengesteld uit verschillende korrelmaten van grove granulaten, zand en fijne bestanddelen, waarvan de verhoudingen zo gekozen zijn dat een continue korrelverdelingskromme wordt verkregen. Deze steenslag is gemakkelijker aan te brengen dan steenslag met een discontinue korrelverdeling, omdat ze minder risico op ontmenging geven en gemakkelijker verdichtbaar zijn. Deze funderingen worden in de standaardbestekken als type I of II aangeduid;
- steenslag met discontinue korrelverdeling. Het is sterk af te raden dit type steenslagfundering onder verhardingen met straatstenen toe te passen. Steenslag met discontinue korrelverdeling is moeilijker verdichtbaar en bijgevolg is de geëiste samendrukbaarheidscoëfficiënt van 110 MPa moeilijk haalbaar. Deze is wel goed te verdichten met een verdichtingsplaat, maar niet met een bandenwals.

Als gebonden fundering worden toegepast:

- steenslag met continue korrelverdeling, gestabiliseerd met cement (type a) of behandeld met calciumchloride (type b). Deze producten moeten in een menginstallatie worden vervaardigd en het watergehalte tijdens de verwerking is bepalend voor het resultaat van de verdichting;



Figuur 1.4 Fundering met straatlaag, straatstenen en voegmateriaal

- zandcement, een homogeen mengsel van zand, cement en water. De druksterkte die verkregen wordt, is sterk afhankelijk van de naleving van het optimale watergehalte (bepaald met een proctorproef), van de verdichtingsgraad en van de aard van het gebruikte zand. Deze fundering is enkel voor licht verkeer (categorie III of IV) geschikt;
- schraal beton, eventueel met wapeningsnet. Dit stijve materiaal bestaat uit een mengsel van cement (minstens 100 kg/m³), water, zand en granulaten. Het verdeelt de verticale belastingen goed over de onderliggende lagen. Daarom wordt het voornamelijk op slecht dragende grond en voor wegen met een hoge verkeersintensiteit (categorie I en II) toegepast;
- drainerend schraal beton: schraal beton dat sterk waterdoorlatend is. Dit schraal beton wordt verkregen door uit te gaan van een niet-continue korrelverdeling van de granulaten en voorkomt dat water op de fundering blijft staan. Bij de materiaalkeuze voor de straatlaag dient rekening te worden gehouden met dit drainerende karakter en met de open structuur van de fundering. In de meeste gevallen wordt dan tussen de fundering en de straatlaag een niet-geweven geotextiel toegepast;
- walsbeton: vergelijkbaar met schraal beton, maar met een hoger cementgehalte (ten minste 200 kg/m³) en een maximale korrelafmeting van 20 mm. Walsbeton biedt het voordeel dat het vrijwel onmiddellijk na de uitvoering in gebruik kan worden genomen.

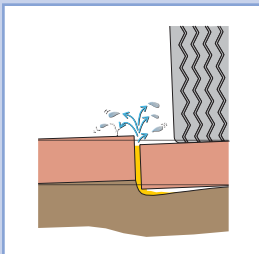
Voor verdere specificaties wordt verwezen naar de verschillende standaardbestekken.

Het oppervlak van de fundering dient volkomen evenwijdig te lopen met het oppervlak van de uiteindelijke bestrating, zodat een constante dikte aan de straatlaag kan worden gegeven. De fundering dient bijgevolg de veranderingen in lengte- en dwarsprofiel te volgen. Afwijkingen van het niveau of van het profiel van de fundering mogen in geen geval worden opgevangen door variaties in dikte van de straatlaag.

De samendrukbaarheidscoëfficiënt M1, bepaald tijdens de eerste cyclus van de plaatbelastingsproef, dient ten minste gelijk te zijn aan 110 MPa voor rijbanen en 80 MPa voor vrijliggende fietspaden.

1.2.4 Drainage en waterafvoer

Negatieve effecten van stagnerend water



Figuur 1.5

Infiltratie van water via de voegen in de straatlaag en fundering is onvermijdelijk. Om de stabiliteit van de structuur te waarborgen, is het van groot belang dat het geïnfiltreerde water zo snel mogelijk wordt afgevoerd via bv een doorlatende fundering. Water in de fundering zorgt voor een afname van de stabiliteit en draagkracht en moet dus vermeden worden.

De grootste problemen treden echter op ten gevolge van stagnerend water in de straatlaag, dus eigenlijk in de zone tussen de straatsteenverharding en de fundering.



Figuur 1.6 Schade ten gevolge van pompeffect

Indien het water niet weg kan via de onderliggende fundering, zal de straatlaag geleidelijk aan met water verzadigd geraken. Bij continue verkeersbelasting ontstaat dan het zogenaamde "pompeffect": fijn straatlaag-materiaal zal samen met het water via de voegen naar boven gepompt worden. Hierdoor verdwijnt tegelijk ook het fijn voegmateriaal uit de voegen.



Figuur 1.7 *Fijn materiaal aan oppervlak ten gevolge van pompen*

Een soortgelijk probleem stelt zich ook bij het toepassen van een zandcement-mengsel als straatlaag. Deze is niet-waterdoorlatend zodat insijpelend water zal stagneren aan de onderzijde van de betonstraatstenen en in de voegen. Het voegmateriaal zal door het pompeffect verdwijnen.

Het verlies van straatlaagmateriaal in combinatie met het ontbreken van de voegvulling heeft op middellange termijn grote gevolgen voor de stabiliteit van de verharding: plaatselijke verzakkingen van betonstraatstenen, beschadiging van het oppervlak en de randen door het kantelen van de stenen, ...

Via de voegen tussen de straatstenen zal steeds water in de wegconstructie dringen (de hoeveelheid hangt van de ouderdom, de helling en de mate waarin de voegen gevuld zijn af – bij een nieuwe bestrating is dat 20 % bij normale helling). Om negatieve effecten van water in de constructie te vermijden, is het van groot belang:

- waterindringing via de voegen zoveel mogelijk te beperken;
- het geïnfiltreerde water zo snel mogelijk af te voeren, om te voorkomen dat onder in de straatlaag water blijft staan.

1.2.4.1 Waterindringing via de voegen beperken

Om de indringing tot een minimum te beperken, is het noodzakelijk:

- het oppervlak zoveel mogelijk dicht te maken;
- een snelle afvoer van het oppervlaktewater te bewerkstelligen, door een voldoende dwarshelling te voorzien (min 2%).

Om het oppervlak zo weinig mogelijk doorlatend te maken moet de doorlatendheid van de voegen worden beperkt: goede keuze van voegvullingsmateriaal met een aangepaste korrelverdeling, volledige vulling van de voegen, eventueel een extra behandeling om het oppervlak waterafstotend te maken.



Figuur 1.8 *Goede voegvulling voor opentelling voor verkeer*

Teneinde een snelle afvoer van het oppervlaktewater te waarborgen, dient de bestrating te worden ontworpen met:

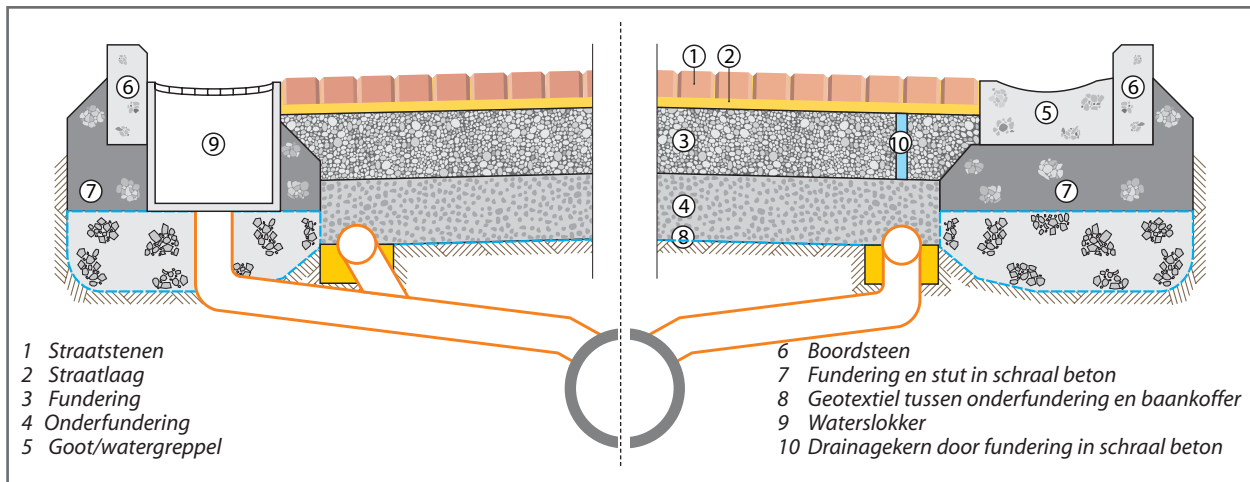
- voldoende en goed geplaatste straatkolken en straatgoten;
- voldoende dwarshelling om het water zo snel mogelijk naar de straatgoten en kolken te laten afvloeien.

1.2.4.2 Geïnfiltreerd water afvoeren

In principe kan een doorlatende fundering het water uit de straatlaag afvoeren.

Als er wegens de verkeersbelasting geopteerd is voor een weinig doorlatende fundering, is het nodig aan de zijkant één of twee doorlatende stroken of openingen te maken. Er moeten voorzieningen worden getroffen om het water uit de straatlaag en eventueel uit de fundering af te voeren. De straatlaag kan worden ontwaterd door ter hoogte van de straatgoot en in de laagste punten gaten door de ondoorlatende fundering te boren en ze met fijn steenslag te vullen alvorens de straatlaag aan te brengen.

Bij doorlatende grond volstaat doorgaans oppervlaktedrainage aan de buitenranden van de verharding (steenslag, grind, ...). Bij weinig doorlatende grond wordt aanbevolen een sleuf aan de omtrek te maken, met daarin een afhellende, geperforeerde draineerbuis die op de riolering wordt aangesloten of die het water in dieper gelegen, meer doorlatende lagen loost.



Figuur 1.9a

Afvoer van oppervlaktewater via de straatkolk

Figuur 1.9b

Afvoer van water dat in de fundering gedrongen is via een drainagebuis

1.2.5 Kantopsluiting

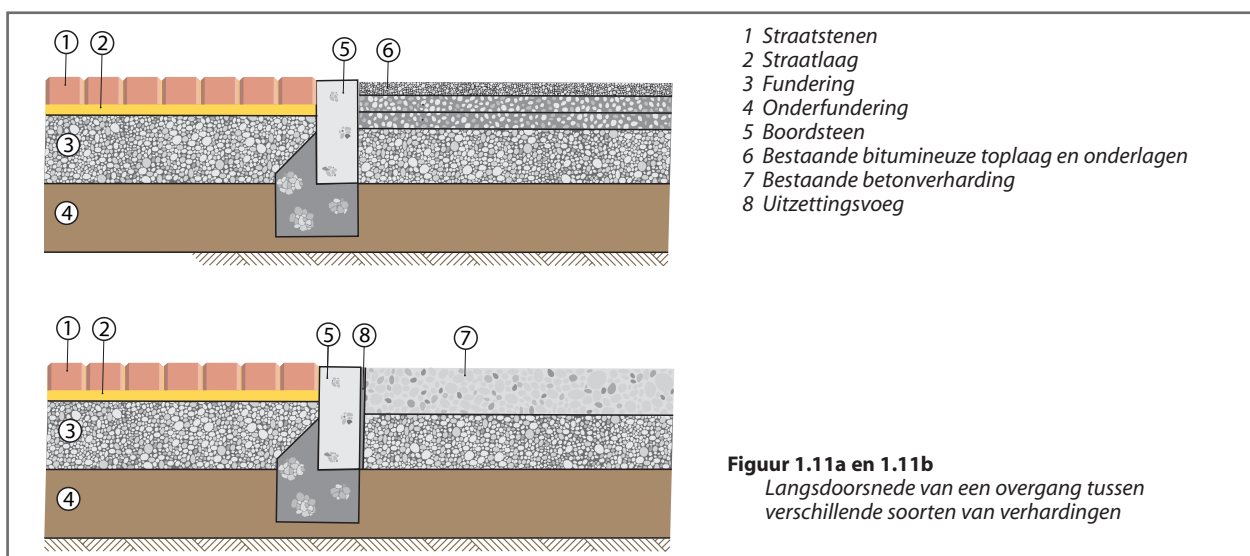


Figuur 1.10 Kantopsluiting tussen voetpad en rijbaan

Een kantopsluiting is bij een bestrating steeds nodig: enerzijds om de stenen op te sluiten en anderzijds om te beletten dat het materiaal van de straatlaag wegspoelt. Een kantopsluiting is ook nodig om zijdelingse beweging en rotatie onder belasting te vermijden. De kantopsluiting voorkomt dat betonstraatstenen onderling wegglijden, kantelen of worden weggeduwd, zowel tijdens de aanbrenging (voorlopige kantopsluiting of definitieve trottoirband wanneer één weghelft wordt aangelegd) als bij de definitieve ingebruikneming.

1.2.5.1 Te stellen eisen aan de kantopsluiting

Een kantopsluiting is altijd noodzakelijk, ongeacht de grootte van het oppervlak, het legpatroon, het type van betonstraatsteen en de te verwachten gebruiksbelasting. Een kantopsluiting moet aan het begin en einde en aan de zijanten worden toegepast en steeds voldoende zijdelings gestut worden. Bij overgangen naar andere soorten verhardingen (bijvoorbeeld bitumineuze verharding, betonverharding, ...) is een kantopsluiting ook nodig om beweging in de straatsteenverharding te vermijden die ten gevolge van een vervorming van de aangrenzende verharding kan ontstaan.



Figuur 1.11a en 1.11b
Langsdoorsnede van een overgang tussen verschillende soorten verhardingen



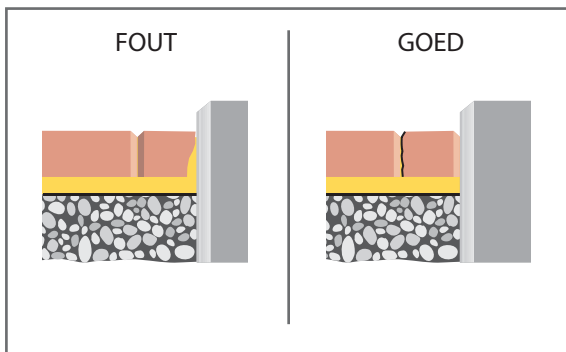
Figuur 1.12 Boordsteen bij overgang tussen straatstenen en asfaltverharding

Bij aansluiting op een bitumineuze verharding volstaat een kantopsluiting tussen beide verhardingen. Bij aansluiting op een betonverharding dient een uitzettingsvoeg te worden voorzien.

Bij verkeer van categorie I, II, III (licht verkeer – beperkt zwaar verkeer) zijn stroken van minstens 20 cm breedte en minstens 20 cm dikte te verkiezen boven smalle en hoge kantopsluitingen. Bij in elkaar grijpende profielstenen en bij visgraat- of keperverband bestaan er speciale hulpstukken (kardinaalsmuts, bisschopsmuts, ...) om de buitenranden af te werken. Deze hulpstukken vervangen de kantopsluitingen echter niet.

worden van de ideale breedte, zoals deze met de stenen is uitgelegd, verdient het aanbeveling aan één zijde van de weg de stenen op maat te zagen, om aan te sluiten op de kantopsluiting of op hulpstukken. De zaagmachine is bij voorkeur uitgerust met een afzuigsysteem. Hierbij mogen geen stukken kleiner dan een halve steen gebruikt worden.

Bij de bepaling van de breedte tussen de kantopsluiting moet worden vermeden de voegen aan te passen of kleine sluitstukken aan te brengen. Indien afgeweken dient te



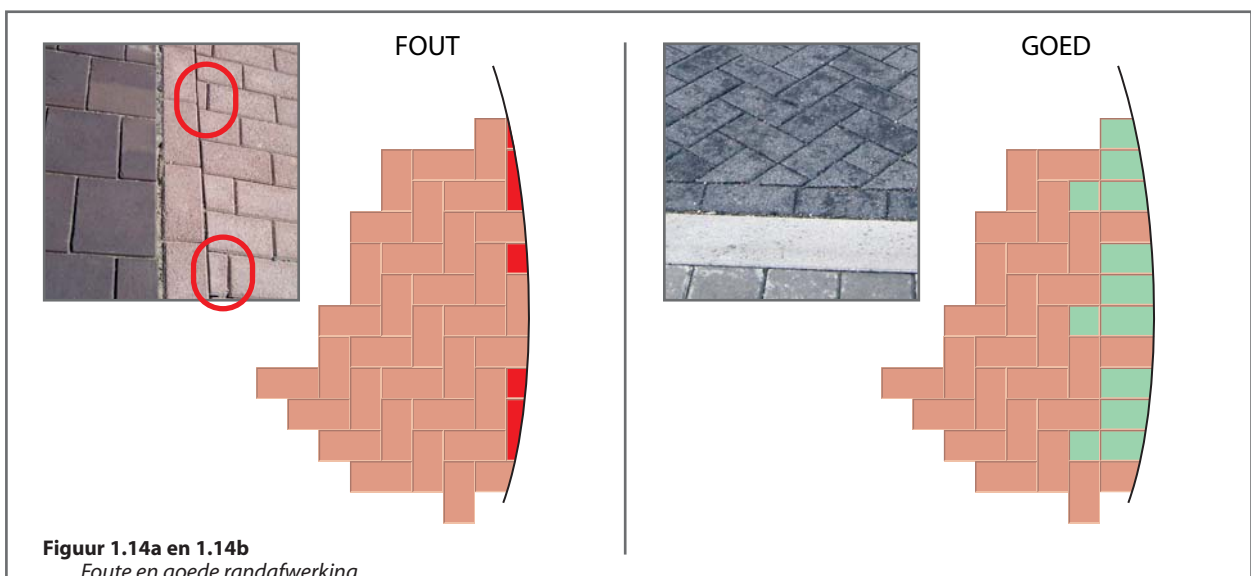
Figuur 1.13a Foutieve uitvoering: gezaagde steen tegen de kantopsluiting

Figuur 1.13b Correcte uitvoering met aangeslepen velling

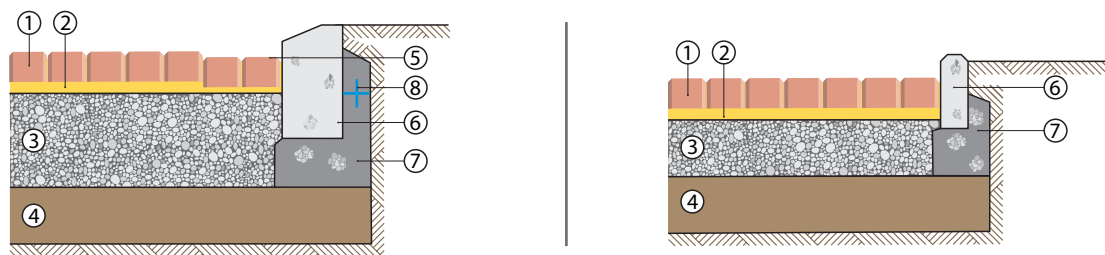
Het verdient aanbeveling met de juiste passtukken tegen de kantopsluiting aan te werken, om al te brede voegen te vermijden. Als er met gezaagde stenen gewerkt wordt dient steeds een velling te worden geslepen.

De volgende detailtekeningen kunnen worden gebruikt waar het legverband evenwijdig loopt met de kantopsluiting of er loodrecht op staat. Bij gebogen kantopsluitingen of waar het legverband niet recht tegen de kantopsluiting komt, kan een enkele of een dubbele rij volle stenen worden gelegd. Snijvlakken van straatstenen kunnen dan tegen deze enkele of dubbele rij stenen worden geplaatst, om de visuele impact van de snede te reduceren. Dit resulteert in een nette afwerking.

Deze randzones kunnen in een halfsteensverband worden uitgevoerd. Men moet er wel telkens voor zorgen dat zoveel mogelijk halve en volle stenen tegen de kantopsluiting kunnen worden gelegd.



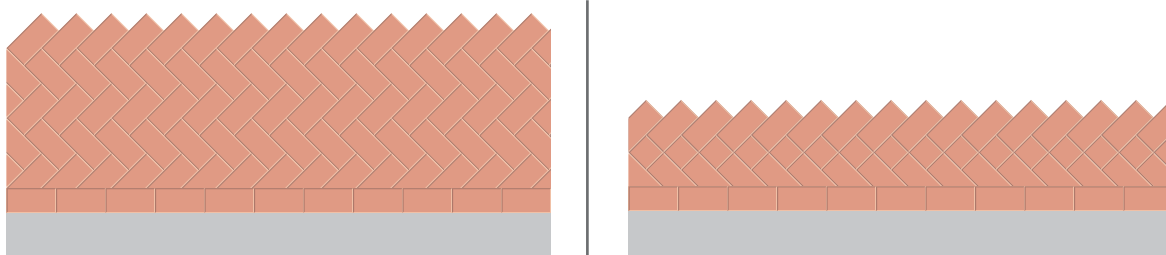
De volgende tekeningen tonen een aantal standaardoplossingen voor kantopsluitingen in verschillende situaties. In hoofdstuk 4, uitvoering, worden meer details weergegeven.



- | | |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 Straatstenen | 5 Goot/watergreppel |
| 2 Straatlaag | 6 Boordsteen |
| 3 Fundering | 7 Fundering en stut in schraal beton |
| 4 Onderfundering | 8 Mogelijke wapening van stut |

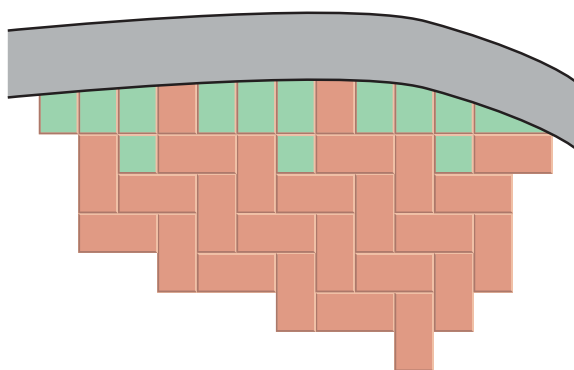
Figuur 1.15a Kantopsluiting bij verkeer van categorie III, II en I

Figuur 1.15b Kantopsluiting bij verkeer van categorie IV



Figuur 1.16a Enkele rij volledige stenen naast een kantopsluiting

Figuur 1.16b Vermijden dat halve stenen direct tegen de rij stenen gelegd worden

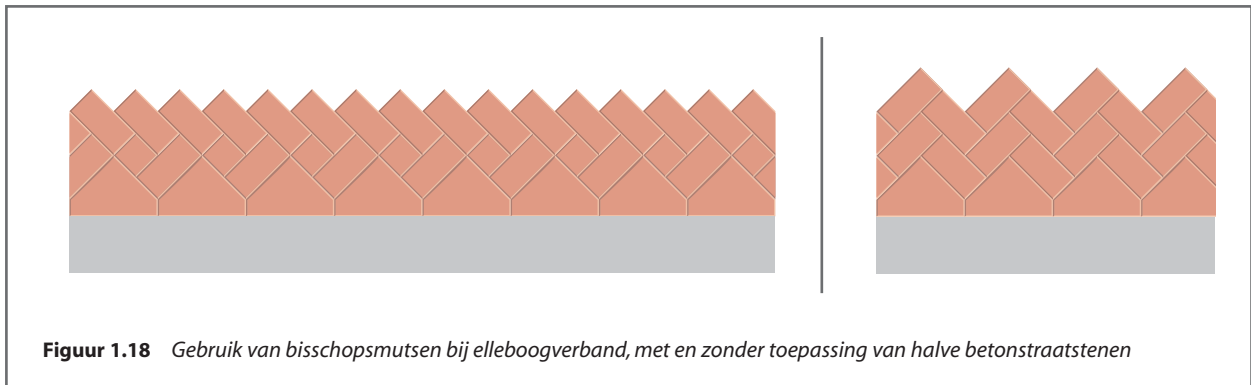


Figuur 1.17 Afwerking van een elleboogverband in een bocht

1.2.5.2 Aanwerken tegen kantopsluitingen met behulp van bisschopsmutsen

Er zijn verschillende speciale hulpstukken om een elleboogverband goed op de kantstroken van de bestrating aan te sluiten. Het is wel zo, dat deze hulpstukken enkel bruikbaar zijn als de kantopsluitingen een hoek van 45° maken met het legverband. In bochten kunnen deze hulpstukken niet worden gebruikt.

Naast bisschopsmutsen zijn er nog andere, specifieke hulpstukken, die eventueel zelfs op maat kunnen worden gemaakt (halve bisschopsmutsen, kardinaalsmutsen, ...).



Figuur 1.18 Gebruik van bisschopsmutsen bij elleboogverband, met en zonder toepassing van halve betonstraatstenen

1.2.6 Straatlaag

1.2.6.1 Te stellen eisen aan de straatlaag

De straatlaag is misschien wel het belangrijkste onderdeel van de wegconstructie, niet in het minst omdat zij meestal ook de plaats is waar de eerste schade optreedt. Het is van uiterst belang dat veel aandacht wordt besteed aan de keuze van het materiaal en aan de uitvoering van de straatlaag.



Figuur 1.19

De straatlaag dient enerzijds om eventuele lichte maatafwijkingen in de dikte van de stenen en kleine oneffenheden in de fundering op te vangen, en anderzijds om de stenen goed vast te kunnen zetten door trillen en ze op hun plaats te houden.

In eerste instantie moet de nodige aandacht worden besteed aan de structuur onder de straatlaag. Zo moet op een vlakke fundering worden gewerkt.

Ook mag de dikte van de straatlaag volgens de standaardbestekken niet meer dan 10 mm variëren. Het is echter aan te bevelen naar een kleinere variatie te streven, zowel voor de vlakheid van de fundering als voor de dikte van de straatlaag.

Belangrijke aandachtspunten zijn:

- de dikte van de straatlaag: deze bedraagt na verdichting 30 mm, met een tolerantie van 5 mm. Een te dikke straatlaag kan aanleiding geven tot spoorvorming en verzakkingen. Ongelijke dikten veroorzaken vervormingen. Een onvoldoende dikke straatlaag laat niet toe om de dikteverschillen in de stenen weg te trillen;
- de verdichting van de straatlaag: deze moet plaatsvinden nadat de straatstenen zijn gelegd. De straatlaag dient immers om hoogteverschillen tussen de stenen op te vangen. Vooraf verdichten leidt tot hoogteverschillen aan het oppervlak;
- de waterdoorlatendheid van de straatlaag: deze is steeds voldoende waterdoorlatend, tenzij met een cementgebonden materiaal wordt gewerkt. Zo wordt voorkomen dat water op de straatlaag blijft staan. De straatlaag kan zelf een drainerende functie hebben, als de fundering ondoorlatend is;
- de geslotenheid van de fundering: als de straatlaag op een fundering van steenslag wordt aangebracht, moet de bovenzijde van deze fundering goed gesloten zijn (dit is eventueel te bereiken door er fijn materiaal in te trillen en/of in te wassen). Zo niet kunnen achteraf onvlakheden in de verharding ontstaan doordat fijne deeltjes in de fundering indringen.

Bij een ondoorlatende fundering van schraal beton bestaat het gevaar dat het water zich in de straatlaag verzamelt. Dit kan worden voorkomen door een geschikt drainagesysteem toe te passen (zie 1.2.4.2).

1.2.6.2 Materialen

Het materiaal voor de straatlaag dient te worden gekozen naargelang de verkeerscategorie (zie tabel 1.1). Bij het bepalen van de juiste soorten van granulaten moet rekening gehouden worden met de weerstand tegen beschadiging; bij twijfel zijn voorafgaande beschadigingsproeven gewenst. Voor de verkeerscategorieën I en II moet een granulaat worden gebruikt dat weinig of niet onderhevig is aan beschadiging. Het materiaal dient stofvrij te zijn; dit betekent dat het gehalte aan bestanddelen fijner dan 63 µm streng moet worden beperkt volgens tabel 1.4.

Verkeerscategorie	Doorval granulaat door 63 µm-zeef	Doorval granulaat door 500 µm-zeef	Granulaat	Korrelverdeling
Categorie I	Minder dan 4,0%	Minder dan 60 %	Steenslag categorie Ab of 3 volgens PTV 411	0/2 + 2/6,3
Categorie II	Minder dan 4,0%	Minder dan 60 %	Steenslag categorie Ab of 3 volgens PTV 411	0/2 + 2/6,3
Categorie III	Minder dan 4,0%	Minder dan 70 %	Steenslag categorie Bc of 4 volgens PTV 411	0/2 + 2/6,3 0/5,6
Categorie IV	Minder dan 7,0%	Minder dan 70 %	Alle soorten natuur-zand/ steenslag/ zandcement	

Tabel 1.4 Beperking van de fijne bestanddelen volgens verkeerscategorie

De kenmerken van de granulaten dienen zeker te worden nagegaan, omdat zij bepalend zijn voor de weerstand van het straatlaagmateriaal tegen verbrijzeling. In België gaat het vooral om harde materialen zoals porfier, zandsteen en kwarts. Om ervoor te zorgen dat de straatlaag gemakkelijk kan worden aangebracht, moet bij de materiaalkeuze ook rekening worden gehouden met de verwerkbaarheid.

Alle materialen die voor een zwaardere belaste weg zijn voorgesteld, kunnen uiteraard ook bij een lagere belastingsklasse worden gebruikt.

Voor een straatlaag in een weg met zwaar gekanaliseerd verkeer worden materialen aanbevolen die voldoen aan de eisen voor categorie Ab of 3 volgens PTV 411 – zoals porfiersteenslag, zandsteen en gebroken grind.

Voor categorie III komt ook zeezand in aanmerking. Voor categorie IV zijn alle eerder vermelde materialen bruikbaar, evenals alle soorten natuurzand, zand van gebroken kalksteen en zandcement.

1.2.6.3 Dikte, profilering en verdichting van de straatlaag

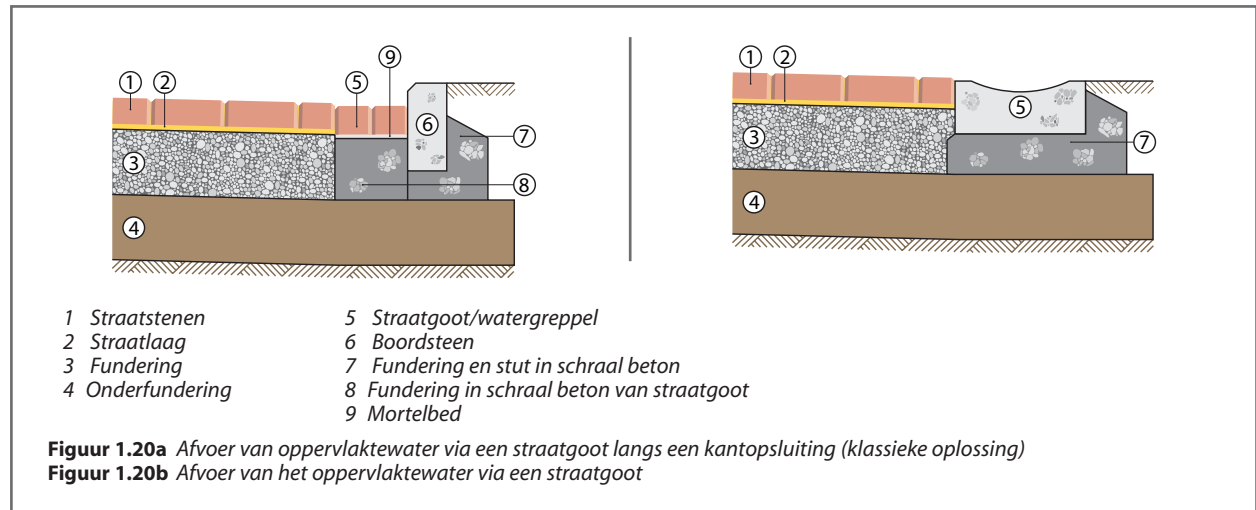
De ideale dikte van de straatlaag is 30 mm na verdichting. Het is van groot belang dat de straatlaag gelijkmatig onder het wegooppervlak verdeeld is; dit wil zeggen dat de tolerantie op de dikte van de straatlaag zo klein mogelijk moet worden gehouden en zeker niet groter mag zijn dan 5 mm. Door ervoor te zorgen dat de straatlaag een continue dikte heeft, kan schadeontwikkeling aanzienlijk worden beperkt.

De straatlaag wordt verdicht door de straatstenen met een trilplaat af te trillen. Voor eisen in verband met dit trillen wordt verwezen naar hoofdstuk 4 – uitvoering.

1.2.7 Straatgoten

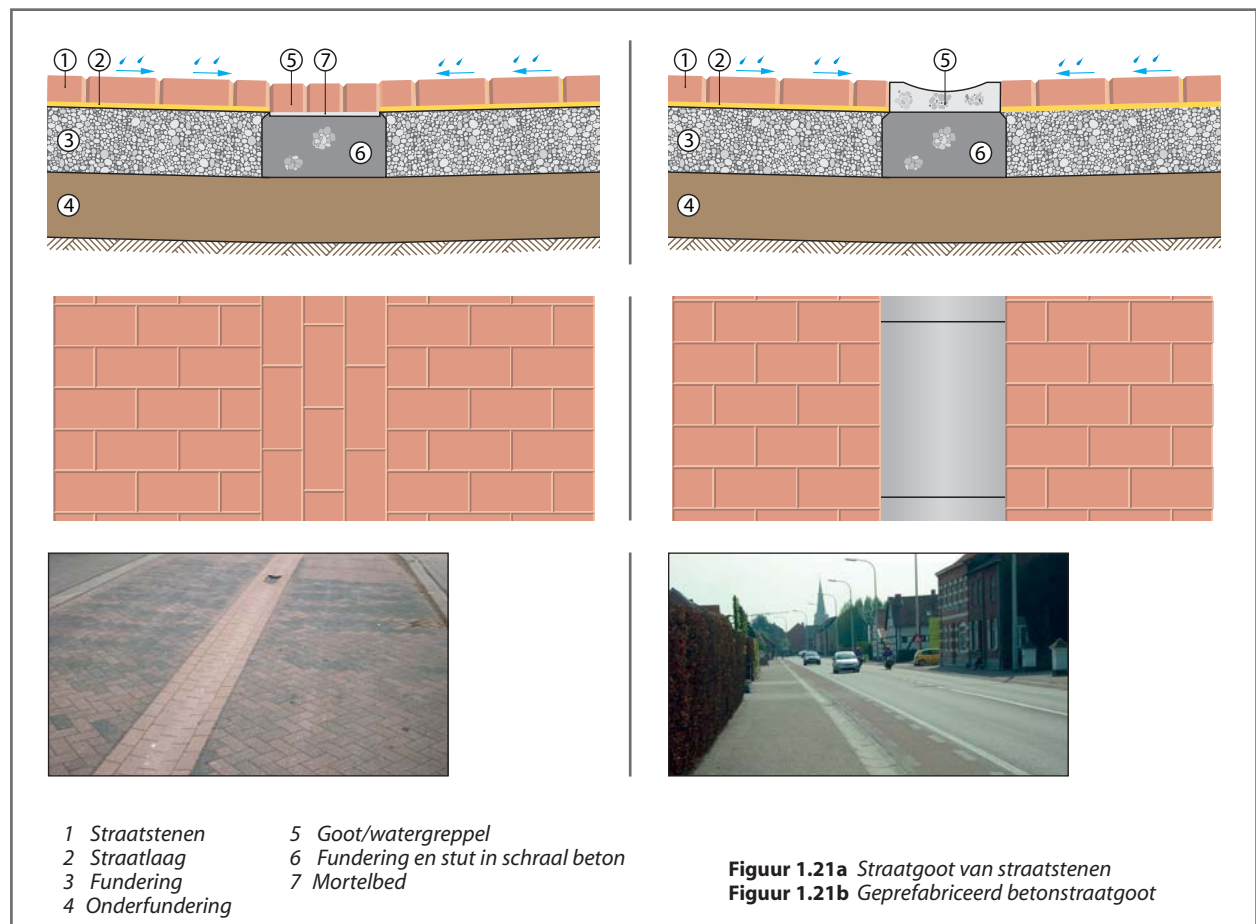
Een betonsteenbestrating moet in de mate van het mogelijke een grote dwarselling hebben, liefst groter dan 2 %. Over het algemeen moet het verzamelde water worden afgevoerd, om te voorkomen dat de grond rond de bestrating te nat wordt.

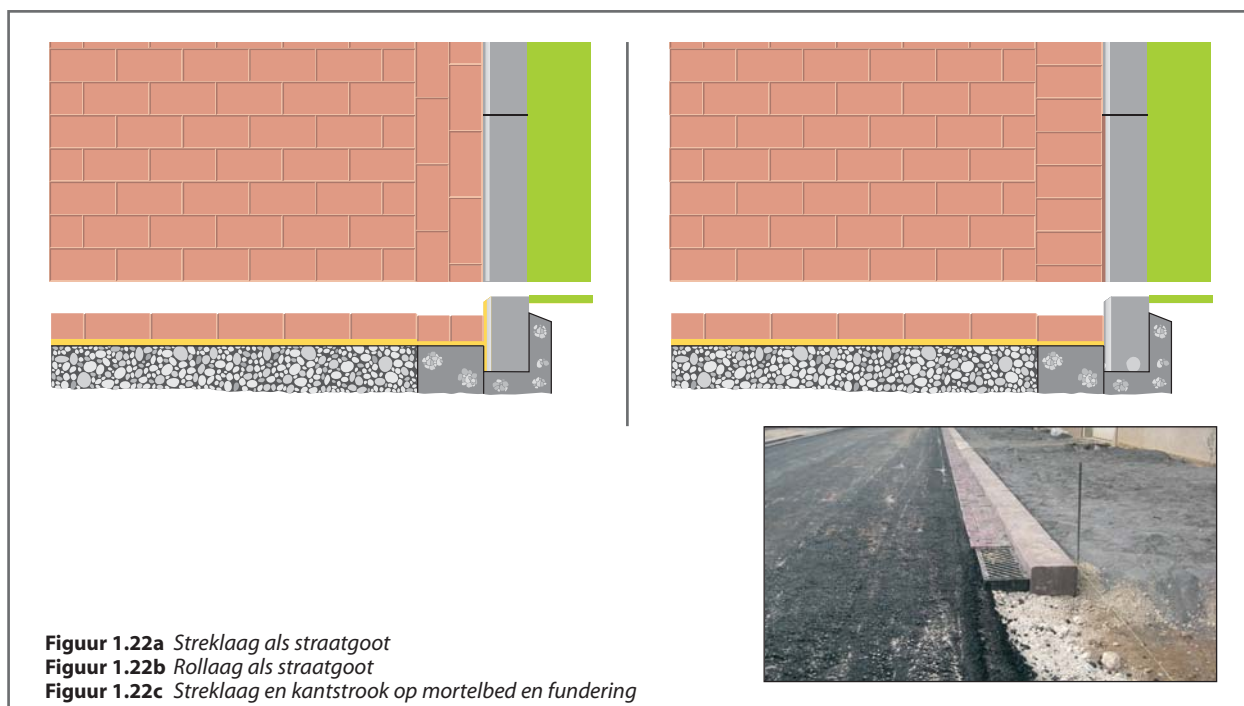
1.2.7.1 Te stellen eisen aan de straatgoten



1.2.7.2 Materialen

Straatgoten kunnen worden gevormd met rechthoekige betonstraatstenen die in een mortelbed worden gelegd; dit bed rust op een betonfundering ingeval er wegverkeer over komt. Nadat de stenen van de straatgoten zijn gelegd, worden zij ingewassen met een krimprijke, waterdichte mortelspecie. Na de verdichting moet het oppervlak van de bestrating naast de straatgoot 3 tot 6 mm hoger liggen dan het oppervlak van de straatgoot.





1.2.8 Betonstraatstenen

1.2.8.1 Keuze van de soort van betonstraatstenen

De keuze van formaat, oppervlakafwerking en kleur van de betonstraatsteen voor een project wordt vooral door de opdrachtgever en de ontwerper bepaald. Voor het welslagen van het project op lange termijn dient de ontwerper met een aantal randvoorwaarden rekening te houden.

Algemeen kan worden gesteld dat de betonstraatsteen aan de volgende voorwaarden moet voldoen om de bestrating een lange levensduur te geven:

- een BENOR-kwaliteitscertificaat hebben;
- type, dikte en formaat zijn aangepast aan de beoogde toepassing.

In dit hoofdstuk wordt een niet beperkende opsomming van de genoemde randvoorwaarden gegeven.

Betonstraatstenen voor waterdoorlatende verhardingen worden beschreven in § 2.1.

1.2.8.2 Kwaliteit

Betonstraatstenen die met een BENOR-kwaliteitscertificaat zijn geleverd, bieden de beste garantie voor goede kwaliteit. Een dergelijk kwaliteitscertificaat verklaart dat een product voldoet aan de eisen voor een bepaalde toepassingscategorie, zoals beschreven in de Belgische norm NBN B 21-311 en de Europese norm NBN EN 1338 voor betonstraatstenen. Zie hoofdstuk 3 - kwaliteitscertificatie voor verdere uitleg.

1.2.8.3 Formaat

Lengte	Breedte	Dikte
220	73	80
220	110	80
220	110	100
220	110	120
220	220	80

De keuze van vorm, formaat en kleur is een keuze van de opdrachtgever en de ontwerper, rekening houdend met de constructieve en esthetische voorwaarden van het project.

Norm NBN B 21-311 onderscheidt de volgende rechthoekige standaardformaten, weergegeven in tabel 1.5 (in mm):

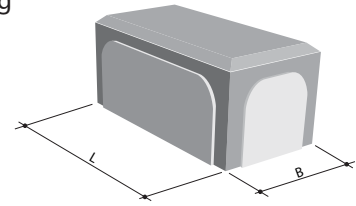
Het meest gebruikte standaardformaat is het "Belgische" formaat (220 x 110 mm).

Tabel 1.5

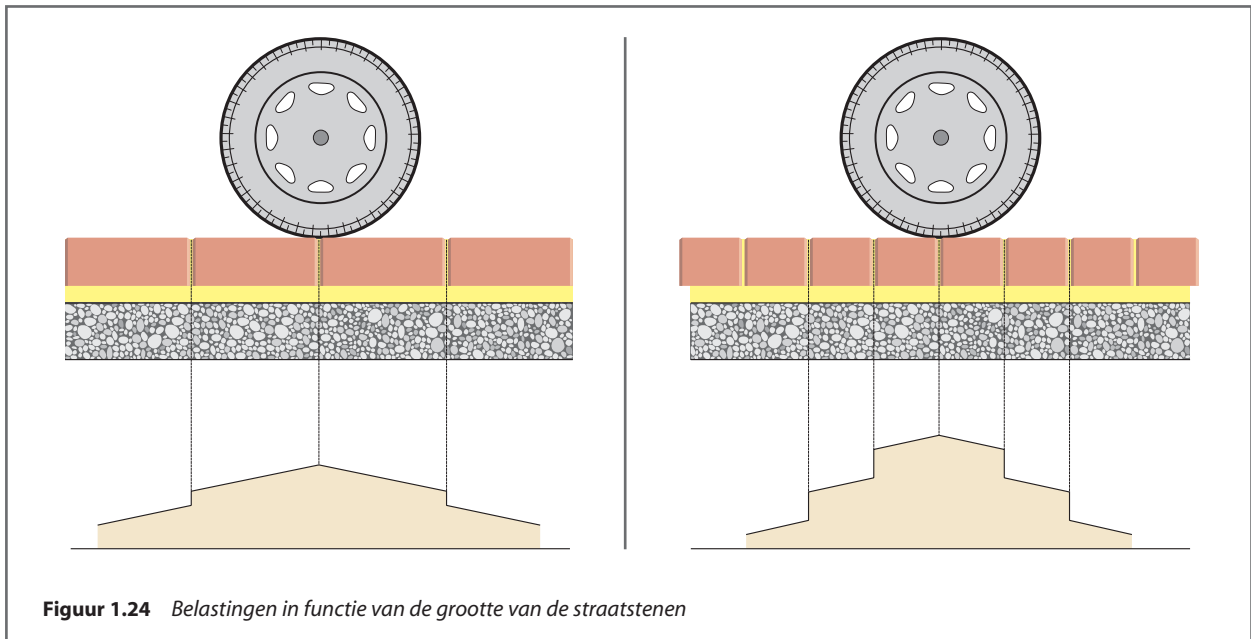
Naast deze standaardformaten worden de volgende afmetingen veelvuldig toegepast (in mm): 200 x 200, 300 x 200, 300 x 150, ...

Grotere formaten betonstraatstenen hebben enkele voor- en nadelen.

- Voordelen:
 - betere lastverdeling over de onderliggende laag;
 - minder voegen;
 - sneller aan te brengen.

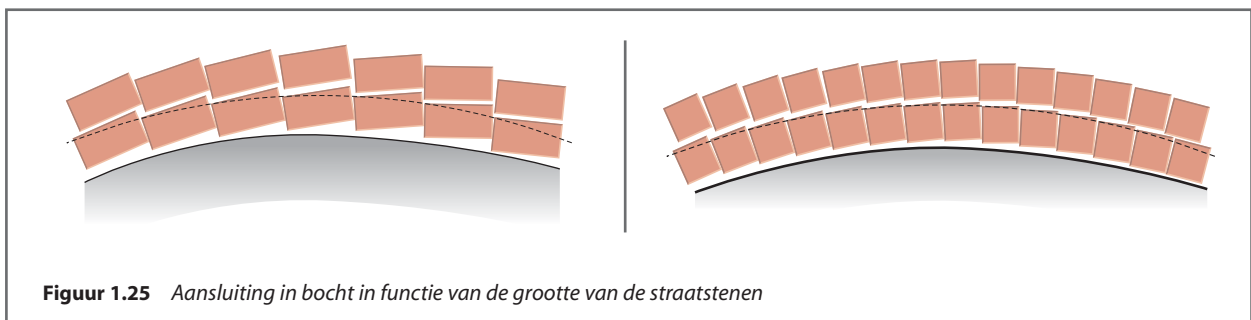


Figuur 1.23



Figuur 1.24 Belastingen in functie van de grootte van de straatstenen

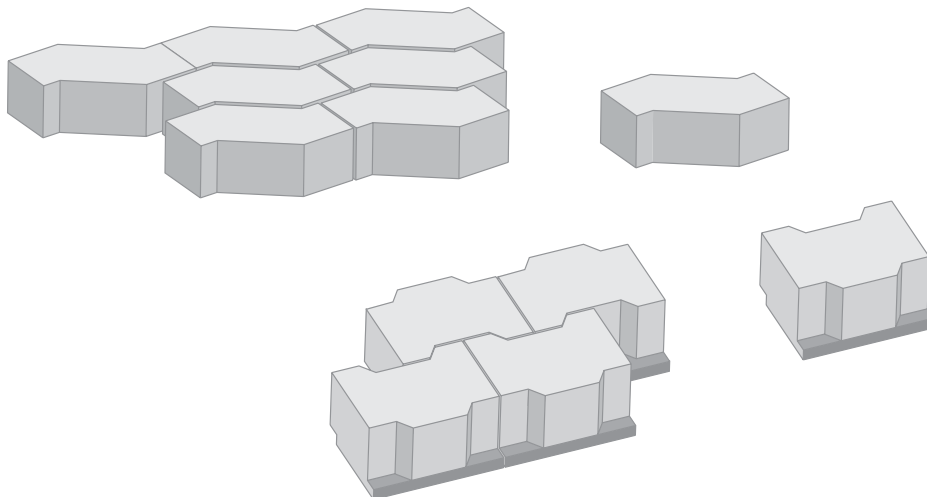
- Nadelen:
 - minder opnemen van vervormingen van de bestrating;
 - meer zaagwerk in bochten;
 - meer neiging tot kantelen;
 - groter gewicht bij aanbrenging.



Figuur 1.25 Aansluiting in bocht in functie van de grootte van de straatstenen

Voor zwaardere belastingen of plaatsen met veel wringend verkeer kan worden geopteerd voor in elkaar grijpende profielstenen (type B1 volgens NBN EN 1338). Een elleboog- of een halfsteensverband geeft daarbij zeer goede resultaten voor de stabiliteit. Een nadeel van profielstenen is de moeilijke verwerking in bochten en aan de randen.

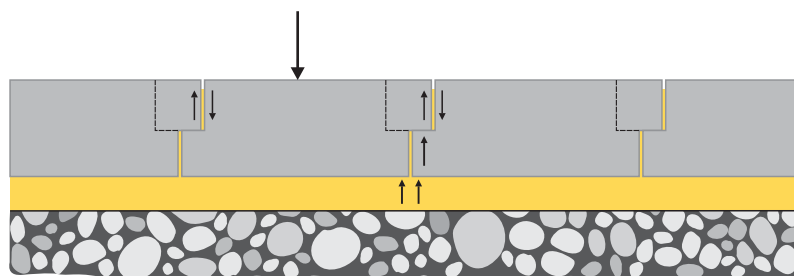
Profielstenen kunnen ook voorzien zijn van een steun (type B2 volgens NBN EN 1338). Via deze steun verdeelt elke steen de uitgeoefende verticale kracht op minstens twee aanpalende stenen.



Figuur 1.26 Verschillende vormen van profielstenen

Een nadeel van dit type is dat de stenen vrijwel niet kunnen worden verwijderd en herlegd, waardoor herstellingen zeer moeilijk worden.

Profielstenen met steun zijn in het bijzonder aan te bevelen voor bestratingen waarop zeer zware lasten worden verwacht, bijvoorbeeld op industrieterreinen en in havens.



Figuur 1.27 Werkingsprincipe van profielstenen met steun

1.2.8.4 Dikte

De meest toegepaste dikten voor betonstraatstenen zijn 60, 70, 80, 100 en 120 mm. Volgens de normen NBN B 21-311 en NBN EN 1338 zijn de maatafwijkingen, weergegeven in tabel 1.6, toegelaten.

Steendikte mm	Lengte mm	Breedte mm	Dikte mm
<100	±2	±2	±3
≥100	±3	±3	±4

Het verschil tussen twee diktemetingen van één individuele steen is 3 mm

De dikte dient steeds te worden aangepast aan het gekozen formaat en de te verwachten belastingsklasse (zie tabel 1.2).

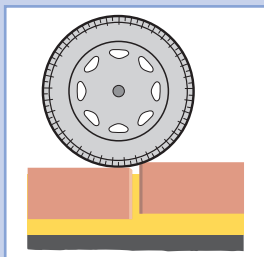
Tabel 1.6 Maatafwijkingen volgens NBN B 21-311 en NBN EN 1338



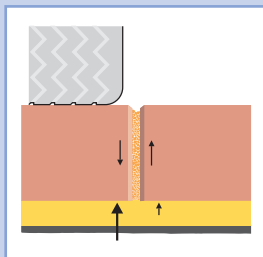
Figuur 1.28

Volgens de norm NBN EN 1338 zijn betonstraatstenen elementen met een maximale verhouding tussen de lengte en de dikte gelijk aan 4. Stenen met een lengte-dikteverhouding > 4 worden als tegel bestempeld en kunnen slechts lagere belastingen dragen. Deze worden niet in deze handleiding opgenomen.

Principe van lastoverdracht



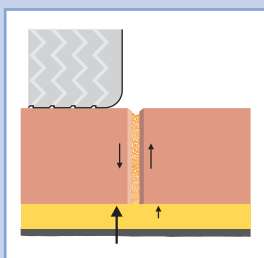
Figuur 1.29 Lastoverdracht tussen de stenen



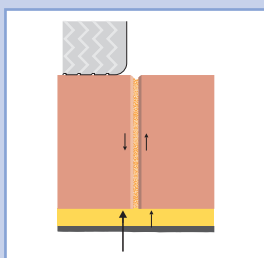
Dat een grotere dikte een hogere verkeersbelasting kan opnemen, wordt snel duidelijk uit het principe van lastoverdracht.

Bij belasting wordt de steen naar beneden gedrukt. De steen ondervindt hierbij weerstand van de materialen waarmee hij in contact is.

Ook de voegvulling biedt weerstand. Door de wrijving tussen de zijkant van de steen en de voegvulling wordt de belasting overgedragen op de naastliggende stenen.

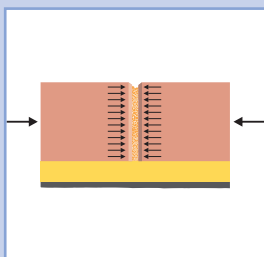


Figuur 1.30 Invloed dikte steen op verticale lastoverdracht

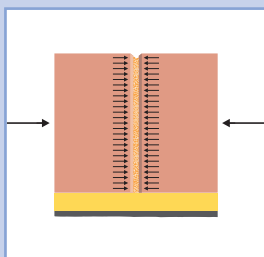


Als de voegen volledig gevuld en de betonstraatstenen door kantopsluitingen ingeklemd zijn, zijn grote lastverdelingen over de verschillende betonstraatstenen mogelijk.

Een dikkere steen heeft een hogere voeg tot gevolg. Dit zorgt voor een groter contactoppervlak tussen de betonstraatsteen en de voegvulling. Dit groter contactoppervlak resulteert op zijn beurt in een grotere lastoverdracht op de omliggende stenen.

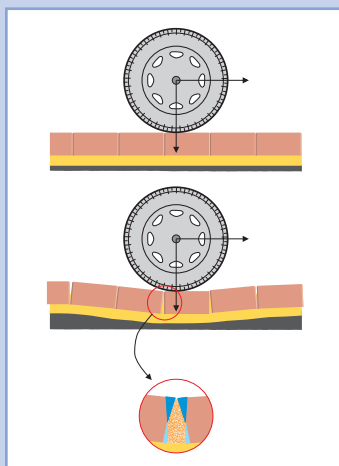
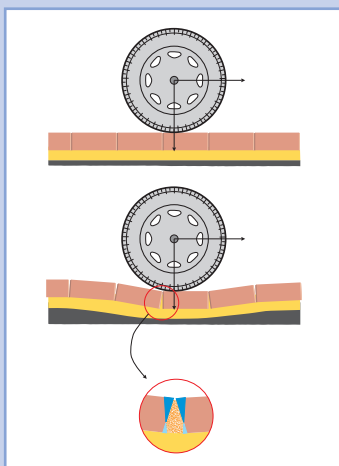


Figuur 1.31 Lastoverdracht in de voegen in functie van de dikte van de straatsteen



Bijkomend kan men stellen dat dikkere stenen ook minder mogelijkheid geven tot kantelen en bijgevolg is er ook minder kans op schade.

Daarenboven verlaagt een groter contactoppervlak de drukspanning die op de voegvulling wordt uitgeoefend. Dit verkleint de kans op verschuiving van stenen en fijnmalen van voegmateriaal.



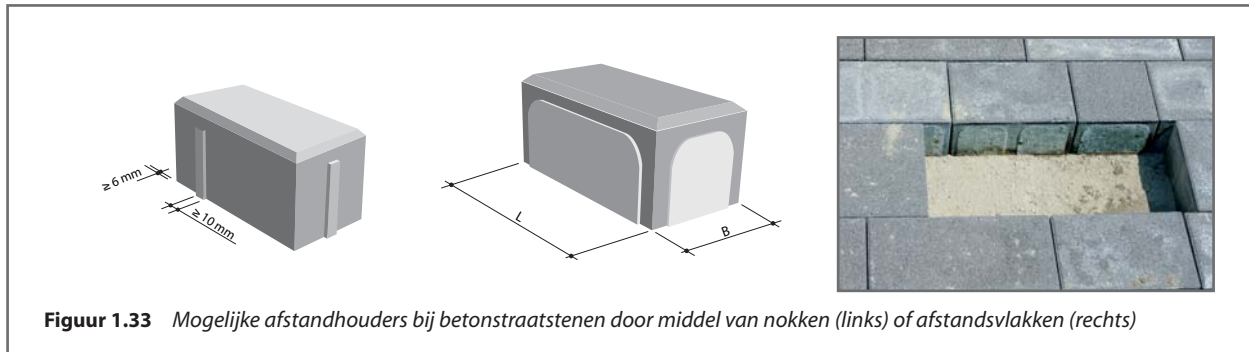
Figuur 1.32 Spanningen in de voegen in functie van de vervorming van het oppervlak en de dikte van de straatsteen

1.2.8.5 Afstandhouders

Afstandhouders zijn verbredingen van 0,5 tot 2 mm op de zijkant van de steen.

Zij waarborgen een minimale voegbreedte na plaatsing en beperken de kans op beschadiging van de bovenrand van de steen tijdens de plaatsing.

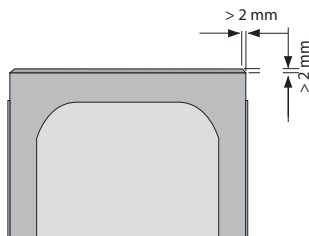
Ze worden uitgevoerd als smalle afstandhouders (nokken) of als brede afstandsvlakken (inkepingen).



Een derde mogelijkheid is een splintervrije uitvoering: hierbij is het volledige bovenvlak smaller dan het legvlak onderaan.

De ideale voegbreedte na aanbrenging bedraagt 2 tot 5 mm. Deze minimale voegbreedte is nodig om een optimale voegvulling te kunnen garanderen.

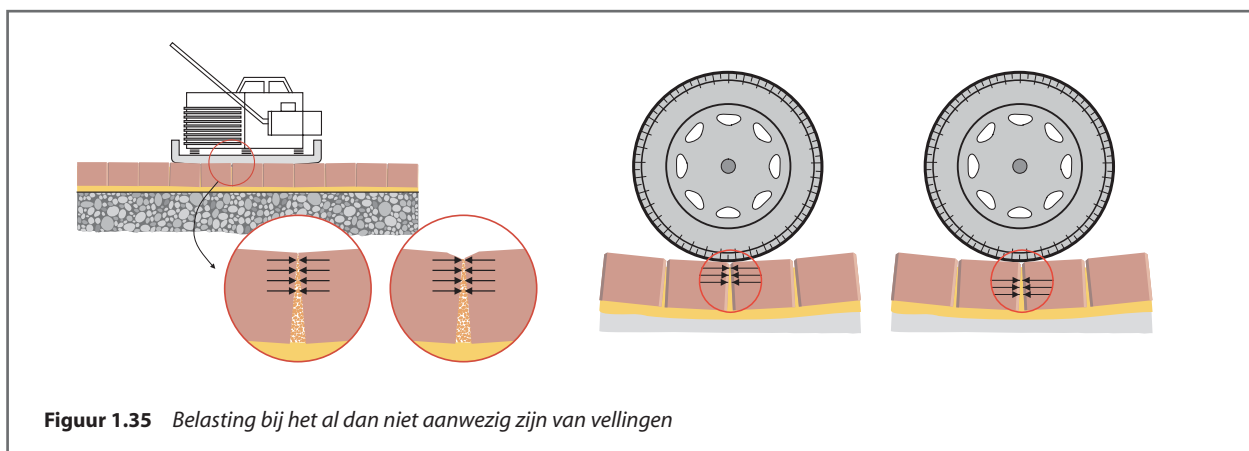
1.2.8.6 Velling



Betonstraatstenen kunnen aan de bovenzijde vlak of met een velling (ten minste 2/2 mm) worden uitgevoerd. Dit laatste heeft als groot voordeel dat de stenen tijdens het leggen en afrillen aan de randen niet beschadigd worden of afbrokkelen.

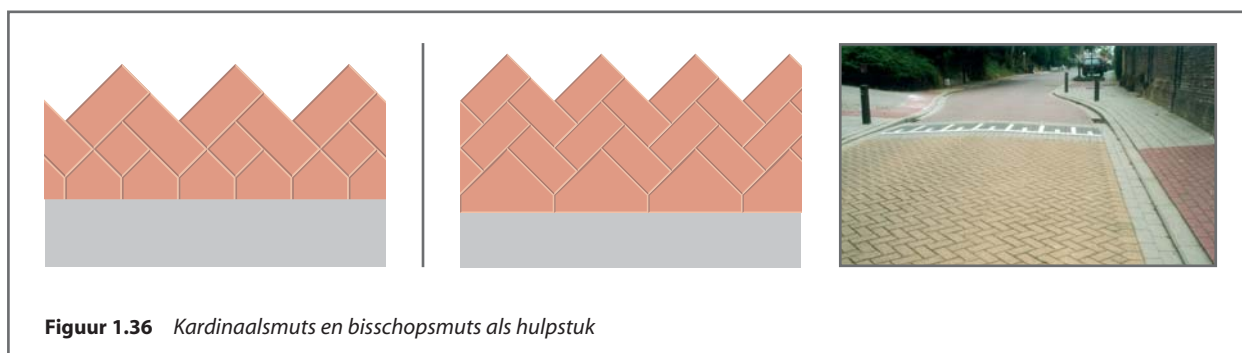
Zeker bij zwaarder verkeer is een velling in combinatie met afstandhouders van zeer groot belang om vroegtijdige schade te voorkomen.

Figuur 1.34 Velling



1.2.8.7 Hulpstukken

Om een goede aansluiting aan de zijkant van de weg te verkrijgen, zijn hulpstukken beschikbaar zoals halve stenen, 2/3 stenen, sluitstenen, kardinaalsmutsen of kapellen, bisschopsmutsen, ...



Figuur 1.36 Kardinaalsmuts en bisschopsmuts als hulpstuk

1.2.8.8 Oppervlakafwerking



Figuur 1.37

De keuze van de soort van betonstraatsteen wordt zowel door esthetiek als door functionaliteit bepaald. Er bestaan verschillende manieren om het uiterlijk van het oppervlak van een betonstraatsteen aan de gestelde eisen aan te passen.

1.2.8.8.1 Opbouw van bestonstraatstenen

Betonstraatstenen worden over het algemeen tweelagig geproduceerd, met een grovere onderlaag en een fijnere toplaag. Deze twee lagen worden in verse toestand samengeperst tot één compacte betonstraatsteen.

De onderlaag:

- heeft een grovere betonsamenstelling;
- heeft een lager cementgehalte;
- is niet in de massa gekleurd;
- zorgt voor voldoende sterkte en vormvastheid.

De toplaag:

- heeft een fijne betonsamenstelling;
- heeft een hoger cementgehalte;
- is met pigmenten in de massa gekleurd (indien anders dan grijs);
- zorgt voor kleurvastheid, slijtbestandheid en vorst- en doozoutbestandheid.



Figuur 1.38

Betonstraatstenen kunnen ook eenlagig worden geproduceerd, zonder extra toplaag (afhankelijk van machine en toepassing). De beton-specie voor de steen dient dan in de massa te worden gekleurd. Over het algemeen is deze productiewijze minder gunstig voor kleur- en slijtbestandheid.



Figuur 1.39

1.2.8.8.2 Standaardafwerking: onbehandeld

Standaard wordt het bovenvlak na het persen niet nabehandeld. Dit geeft een homogeen, gesloten uiterlijk.



Figuur 1.40

De oppervlakttextuur van betonstraatstenen kan worden bepaald door de opbouw van het betonmengsel en de keuze van de toegepaste granulaten. De korrelgrootte en het toevoegen of weglaten van fijnere zandfracties zijn bepalend voor een dichte of net een open structuur. Zo kan zelfs een zeer open toplaag worden vervaardigd, met geluidreducerende eigenschappen. Combinatie van een open toplaag met een zeer open betonmengsel in de onderlaag resulteert in een poreuze, waterdoorlatende steen.

Veel voorkomende korrelmaten van natuurlijke, gebroken granulaten voor toplagen zijn 0/2 mm, 1/3 mm en 2/5,6 mm.

Bij onbehandelde toplagen wordt de kleur vooral bepaald door de gebruikte cementkleur (wit of grijs cement), de kleur van de inerte fijne zandfractie en van de granulaten en door de toegevoegde anorganische pigmenten (meestal ijzeroxiden).

1.2.8.8.3 Kleurvaste toplagen

De kleur en textuur van de toplaag zullen gedurende het gebruik enigszins veranderen onder invloed van mechanische afslijting en weersinvloeden zoals vorst, zure regen, dooizouten, ... De cementhuid aan het oppervlak zal hierdoor lichtjes afslijten, waardoor de kleur van het gebruikte zand en de steenslag aan het oppervlak zichtbaar worden.

Toepassing van een voldoende hoog cementgehalte en van harde en kleurvaste granulaten in de verschillende fracties zorgt hierbij voor een langdurig slijt- en kleurvaste toplaag.

De kleur van het cement en de fijnste zandfractie worden in eerste instantie beïnvloed door eventueel pigmenten toe te voegen. Stabiele, anorganische kleurstoffen (ijzeroxiden) garanderen een stabiele, langdurige kleuring.

Op lange termijn is de invloed van de grofste granulaten in de toplaag doorslaggevend. In een onbehandeld oppervlak worden deze pas na de eerste afslijting zichtbaar. Het is daarom belangrijk de kleur van het grovere granulaat aan te passen aan de kleur van de toplaag. Hierdoor behoudt deze laag ook na langdurig gebruik haar originele kleur.

Natuurlijke granulaten zijn in alle kleuren verkrijgbaar: van geel tot rood, van beige tot bruin, van groen tot paars, van zwart tot wit. De rijkdom van de natuur legt de basis voor de kleurenrijkdom van betonstraatstenen.

Gebruik daarom voor kleurvaste toplagen steeds een hard granulaat met de corresponderende kleur, zoals:

- basalt voor zwart;
- porfier voor grijs;
- graniet voor rood of geel;
- kwarts voor wit.

Van belang is niet alleen de kleur van het natuursteengranulaat, maar ook de hardheid van het materiaal. Niet alle natuursteengranulaten zijn hard genoeg om ze in zwaar belaste bestratingen toe te passen. Over het algemeen geven materialen met een hardheid van ten minste 6 op de hardheidsschaal van Mohs – zoals graniet, porfier, basalt en kwarts – een goed resultaat. Zachte materialen zoals kalksteen of marmer zijn niet aan te bevelen, tenzij ze in zeer dichte, gepolijste oppervlakken worden toegepast of in beperkte mate worden gecombineerd met harde granulaten.

Naast de hardheid (op de Mohsschaal) zijn ook volgende kenmerken belangrijk voor toepassing in toplagen:

- de versnelde-polijscoëfficiënt (VPC) of het polijstgetal: geeft een idee van de polijstweerstand = mate van glad worden;
- de Los Angelescoëfficiënt: geeft een idee van de schokvastheid = mate van verbrijzeling;
- de Micro-Devalwaarde: geeft een idee van de slijtbestandheid = mate van afslijting.

Onderzoek heeft aangetoond dat een sluitende meetmethode voor de bepaling van de kleurvastheid niet mogelijk is. Mits de bovenstaande aanbevelingen in acht worden genomen, kan niettemin een duurzame kleurvastheid worden gegarandeerd.

1.2.8.8.4 Nabehandelingen

Betonstraatstenen kunnen worden veredeld door een nabehandeling toe te passen. Hierbij wordt het uiterlijk of de textuur van de toplaag gewijzigd door middel van uitwassen, kogelstralen, boucharderen, slijpen, splijten, ...

Het uiterlijk zal verschillen naargelang van de soort van nabehandeling. Na de nabehandeling worden de toegepaste granulaten en hun specifieke kleur aan het oppervlak van de toplaag zichtbaar.

Al deze bewerkingen, behalve uitwassen, vereisen eerst voldoende uitharding van het oppervlak en vinden meestal in een tweede productiefase plaats. Uitwassen gebeurt tijdens de productie op het verse betonoppervlak, onmiddellijk na het persen van de elementen.

Door middel van trommelen of kogelhameren kan een verouderingseffect worden bereikt.

Toepassing van natuurlijke granulaten bepaalt in grote mate het uiterlijk van een toplaag na de nabehandeling. Natuurlijke granulaten zijn onder andere zwart basalt, grijs porfier, rood of geel graniet, bruin marmer, wit kwarts, ...

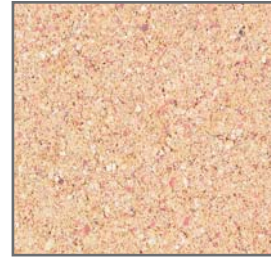
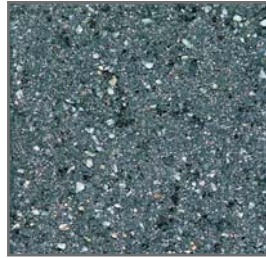
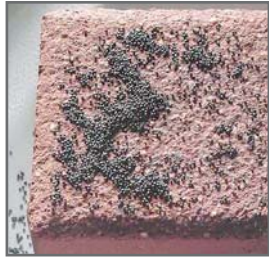
Behalve natuursteen kunnen ook andere, verrassende granulaten worden gebruikt voor speciale kleuren of glanseffecten, zoals koperslak, glanskies, glas, fluorescerende materialen, ...

a) Uitwassen



Uitwassen van de toplaag vindt onmiddellijk na het persen van de betonstraatsteen plaats, dus in verse (onverharde) toestand. In eerste instantie worden de oppervlakkige cementhuid en de fijnste zandfractie van de toplaag weggespoeld, zodat alle gebruikte, gekleurde granulaten zichtbaar worden. Het is mogelijk om fijn, middelgrof of grof uit te wassen, om het oppervlak een bepaalde structuur mee te geven.

b) Kogelstralen



Figuur 1.42

Hierbij wordt de toplaag "opgeruwd" door ze onder druk te stralen met grit of roestvaststalen korrels. Het toegepaste granulaat wordt als het ware opengebroken en de cementhuid verwijderd. Er ontstaat een enigszins doffer oppervlak.

Ook hier bestaat de mogelijkheid tot fijn, middelgrof en grof stralen. Zelfs een lijnen- of blokkenpatroon is mogelijk, door het oppervlak slechts gedeeltelijk te stralen.

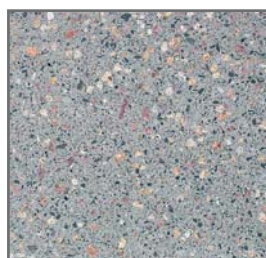
c) Boucharderen



Bij boucharderen wordt het uiterlijk van het oppervlak bepaald door het te bewerken met hamertjes met stalen punten. Boucharderen zorgt voor een oneffen structuur en is in feite een grovere bewerking dan kogelstralen om het oppervlak op te ruwen. Het oppervlak wordt ook hierbij weer doffer en matter. De randen van de toplaag zijn na boucharderen ook meer beschadigd dan na kogelstralen, waardoor tegelijk een verouderingseffect ontstaat.

Figuur 1.43

d) Slijpen



Figuur 1.44

Bij slijpen of polieren wordt de toplaag met diamant of korund onder toevoer van water geslepen tot een effen, glad oppervlak waarin de toegepaste natuursteengranulaten volledig tot hun recht komen. In de praktijk worden hiervoor ook zachtere granulaten zoals kalksteen en marmer gebruikt, omdat zij gemakkelijker polijstbaar zijn.

Hoe fijner het oppervlak wordt geslepen, hoe briljanter en gladder het resultaat. Men kan hoogglans, gezoet of mat slijpen. Bij geslepen oppervlakken is het belangrijk dat de porositeit van het oppervlak uitermate klein is. Dit vraagt een aangepaste betonsamenstelling.

Slijpen kan ook worden gecombineerd met andere nabewerkingen zoals kogelstralen of boucharderen, waardoor extra speciale effecten, maar ook een stroever oppervlak worden verkregen.

e) Splijten

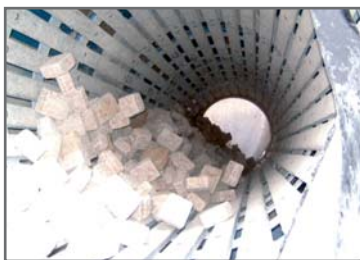


Figuur 1.45



Betonstraatstenen kunnen over het volledige oppervlak worden gespleten of gekloofd. Hierdoor wordt de binnenzijde van de steen als dagvlak gebruikt en worden dus de toegepaste natuursteengranulaten zichtbaar. Dit is de ruwste oppervlakbehandeling.

f) Trommelen



Figuur 1.46



Door betonstraatstenen te trommelen wordt een verouderd uiterlijk bereikt. In een ronddraaiende trommel slaan de betonstraatstenen over en tegen elkaar, zodat kanten en hoeken kunstmatig worden beschadigd. Hierbij wordt niet enkel de toplaag, maar de hele steen aan alle zijden bewerkt.

Deze bewerking is pas mogelijk nadat de producten voldoende zijn uitgehard en gebeurt dus meestal in een tweede fase, na een tussentijdse opslag.

g) In-line verouderen

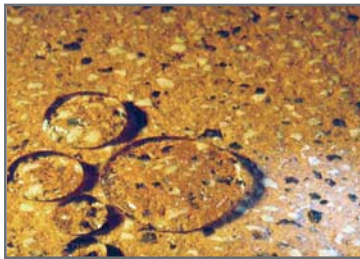


Figuur 1.47



Als alternatief voor trommelen worden tegenwoordig oplossingen aangeboden waarbij het verouderen in-line gebeurt. Door middel van klepels, kettingen, stalen bollen, ronde hamers, ... wordt het bovenzijde (inclusief de randen) beschadigd. Dikwijls geeft deze bewerking een licht strepenpatroon.

h) Impregneren



Figuur 1.48



Nadat de toplaag veredeld is, kan impregneren een extra bescherming bieden tegen externe vervuiling. Dit impregneren vindt tijdens de productie of na de aanbrenging van de stenen plaats, door het oppervlak te besproeien met een watergebonden product op basis van siliconen of acrylaten. De behandeling heeft een water-, vuil- en/of olieafstotend effect, waardoor de bijzondere karakteristieken van het oppervlak langer gewaarborgd blijven. Een bijkomend voordeel is dat de stenen na opvoegen gemakkelijker te reinigen zijn.

i) Vergelijking tussen verschillende nabehandelingen



Figuur 1.49 Niet behandeld oppervlak - uitgewassen - gekogelstraald - gebouchardeerde betonstraatsteen

Het verschil in ruwheid en oppervlaktetextuur tussen de meest voorkomende nabehandelingen wordt duidelijk in figuur 1.49.

j) Andere afwerkingen



Alu-traanplaat toplaag



Natuursteen toplaag

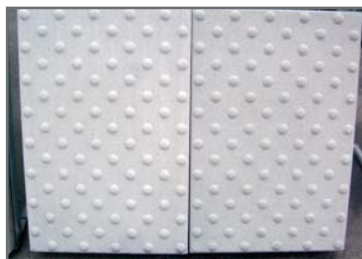


Rubber toplaag

Figuur 1.50

Ook zonder nabehandeling kan een betonstraatsteenoppervlak een specifiek uitzicht hebben, enerzijds door de combinatie van beton met andere materialen zoals traanplaat, natuursteen of rubber (gekleefd op beton of verankerd in beton). Anderzijds kan het uitzicht worden bepaald door de vorm waarmee de betonstraatsteen geperst wordt of waarin de steen gegoten wordt.

Klassiek zijn de blindegeleide-noppentegels en het natuursteen- of houtimitatie reliëf.



Noppen top laag
Figuur 1.51

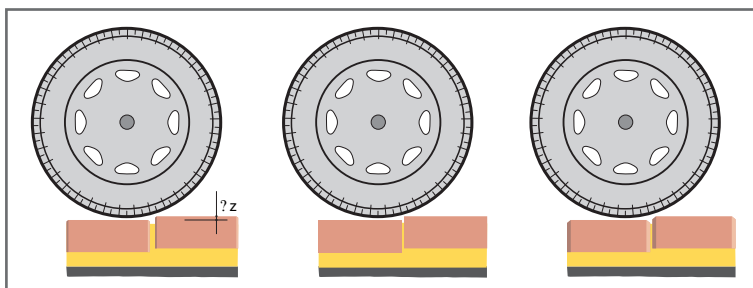


Natuursteenimitatie top laag



Houtimitatie top laag

1.2.8.9 Keuze in verband met veiligheid en comfort

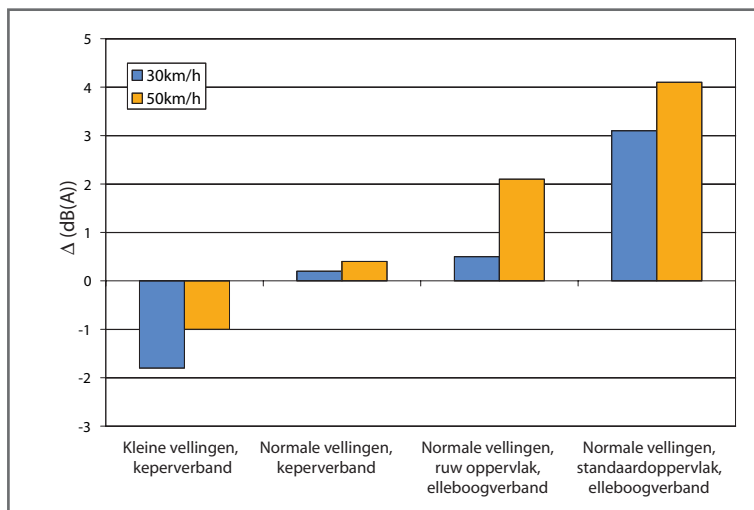


Figuur 1.52 Hoogteverschillen zijn minder voelbaar indien de stenen een velling hebben

Een nabehandeling zoals stralen, verouderen, uitwassen of boucharderen kan de veiligheid verbeteren door een verhoogde stroefheid. Een betonsteenbestrating maant in wezen een autobestuurder tot trager rijden aan, door het optische effect van de voegen. Dit gevoel vermindert bij steenafmetingen groter dan 150 mm, door het lagere voegenaandeel.

Eventuele hoogteverschillen tussen naast elkaar liggende stenen zijn minder opvallend bij stenen met een velling. Dit geeft een gevoel van beter comfort bij de gebruiker.

1.2.8.10 Keuze in verband met akoestische eisen



Figuur 1.53 Invloed van velling, legverband en oppervlakafwerking op de geluidsproductie

Vorm, formaat, vellingen, legverband, voegbreedte en bovenvlakstructuur hebben een invloed op de geluidsproductie.

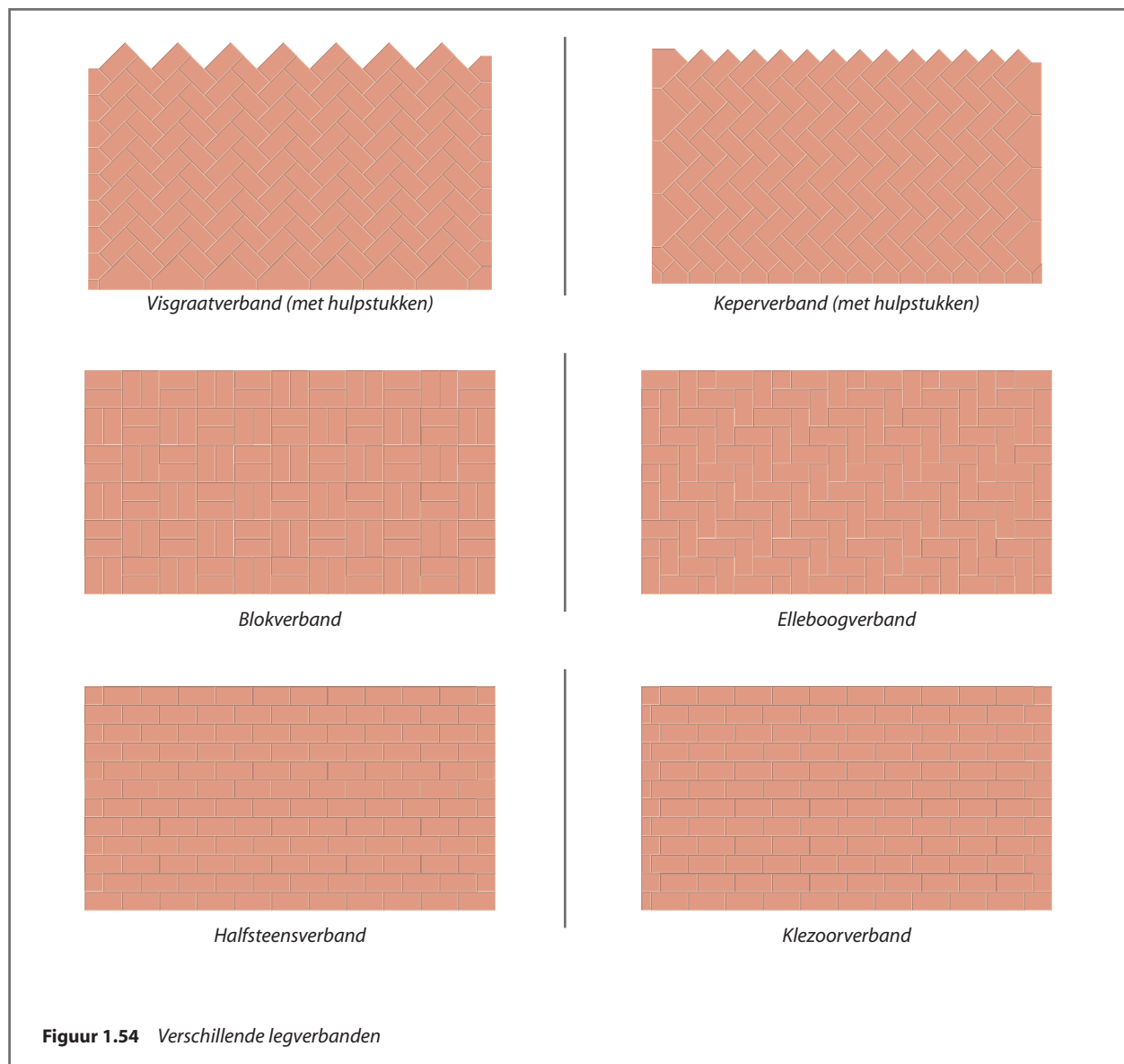
Over het algemeen kan men stellen dat het motorgeluid bij snelheden lager dan 50 km/uur het rolgeluid steeds zal overstemmen.

Het rolgeluid, veroorzaakt door de interactie van de banden van de voertuigen met het oppervlak, kan aanzienlijk worden verminderd door:

- betonstraatstenen met een open of fijn gestructureerde oppervlakttextuur te kiezen;
- een zo klein mogelijke voegbreedte te creëren door stenen met een kleinere voegopening (3 tot 5 mm) te gebruiken;
- kleine vellingen (2 x 2 mm) toe te passen;
- het legverband aan te passen: visgraat- of keperverband.

De invloed van vellinggrootte, oppervlakruwheid en legverband op de geluidsproductie is weergegeven in figuur 1.53.

1.2.8.11 Keuze van het legverband



Voor bestratingen van verkeerscategorie I tot III dient de voorkeur te worden gegeven aan keperverband, visgraatverband of elleboogverband.

1.2.9 Voegvulling

Het materiaal dient te voldoen aan de eisen in het standaardbestek dat van kracht is. De maximale korrelafmeting is 1 mm bij smalle voegen of 0,8 keer de voegbreedte, met een maximum van 8 mm.

In niet-gebonden voegvullingsmaterialen worden bij voorkeur hoekige bestanddelen toegepast, om een betere samenhang te verkrijgen.

Goede voegvullingsmaterialen zijn onder meer:

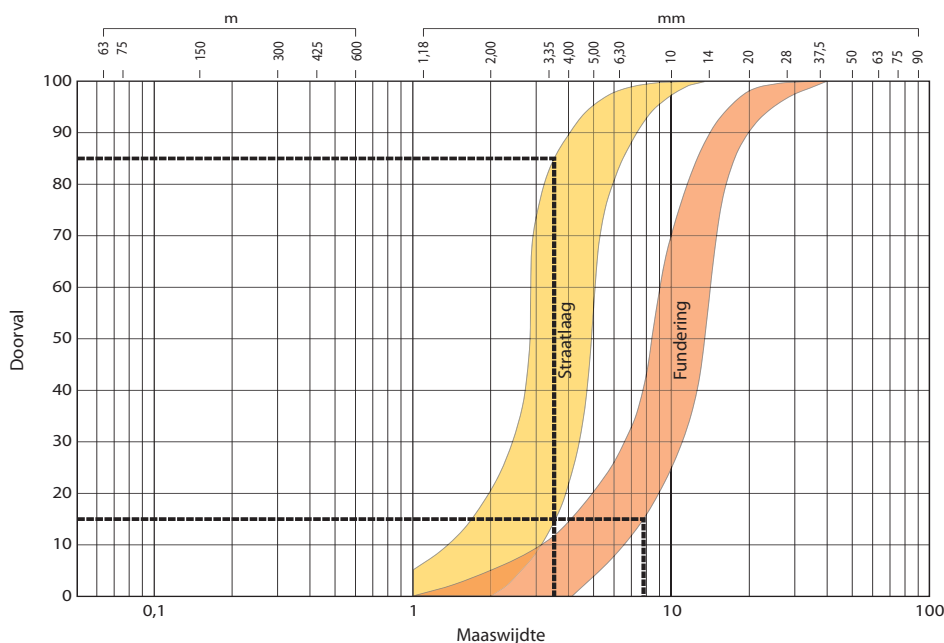
- natuurlijk of kunstmatig zand (zand 0/1 tot 0/2, droog en niet plakkend, met minder dan 10 % fijne bestanddelen < 0,063 mm);

- fijn steenslag 0/4 of 2/4 (bij verbrede voegen);
- voegmortel;
- gemodificeerde mortel (met toegevoegde polymeren).

De filterstabiliteit met de straatlaag dient gegarandeerd te worden, om te verhinderen dat de voegvulling in de straatlaag verdwijnt. Onderzoek heeft aangetoond dat deze gegarandeerd is als aan volgende regel voldaan wordt:

$$D_{15} \text{ onderliggende laag} / D_{85} \text{ bovenliggende laag} \leq 5$$

waarbij D_{15} en D_{85} de maaswijdten zijn die overeenstemmen met respectievelijk 15% en 85% doorval.



Figuur 1.55 Voorbeeld van filterstabiliteit tussen fundering en straatlaag

1.2.10 Dwarsprofiel

Er moet naar een goede afwatering van de verharding worden gestreefd, en insijpelen van hemelwater moet worden tegengegaan. Een verharding van betonstraatstenen moet een dwarshelling van ten minste 2 % hebben. Ook de gekozen steengrootte is van invloed op het voor te schrijven dwarsprofiel (en omgekeerd). Bij een groot formaat of grote dikte van stenen kan immers een probleem ontstaan met de vlakheid op de kruin van de weg. De meest gebruikte dwarsprofielen worden hierna beschreven.

1.2.10.1 Hangend dakprofiel

Bij dit profiel wordt het hemelwater naar één zijde afgevoerd.

Het wordt vaak toegepast voor wegen met een straatgoot aan één zijde, in bochten, voor fietspaden en trottoirs,



Figuur 1.56

1.2.10.2 Dakprofiel

Dit profiel wordt in de regel zeer weinig voor stadsstraten toegepast.

Het is een dubbel hangend dwarsprofiel, waarbij het hemelwater naar beide zijden wordt afgevoerd.

Men verkrijgt in het midden een scherpe rand, die oncomfortabel aanvoelt.

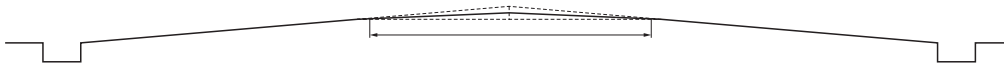
Een dakprofiel kan niet met stenen van groot formaat of grote dikte worden aangelegd, omdat het midden van de weg dan niet vlak kan worden uitgevoerd.



Figuur 1.57

1.2.10.3 Gewijzigd tonrond profiel

De wang is bij een gewijzigd tonrond profiel minder bol. Dit profiel voldoet het beste aan de eisen die tegenwoordig aan wegdekken worden gesteld.



Figuur 1.58

1.2.10.4 Omgekeerd dakprofiel

Dit profiel wordt in straten met weinig verkeer toegepast. Het is een dubbel hangend dwarsprofiel waarbij het hemelwater naar het midden wordt afgevoerd. In het midden bevindt zich een goot.



Figuur 1.59

Hoofdstuk 2

Bijkomende eisen bij het ontwerp van betonsteen- bestratingen voor speciale toepassingen

2.1 Specifieke voorschriften bij waterdoorlatende bestratingen



Figuur 2.1

2.1.1 Inleiding

Waterdoorlatende bestratingen worden toegepast als bufferings- en infiltratiesysteem. Door het water ter plaatse op te vangen, te bufferen in de structuur en te infiltreren of vertraagd af te voeren is het mogelijk het rioleringsstelsel te ontlasten, het in werking treden van overstorten te vermijden en de kans op overstroming te verkleinen.

Waterdoorlatende bestratingen hebben niet alleen het voordeel dat vermeden wordt dat afvloeiend hemelwater onmiddellijk in de riolering of een waterloop terechtkomt, maar zorgen ook voor een verhoging van de grondwaterspiegel. Als er geen infiltratie mogelijk is, wordt het water tijdelijk in de structuur opgeslagen en vertraagd naar een nabijgelegen infiltratiebekken of sloot afgevoerd.

2.1.2 Types waterdoorlatende bestratingen

Algemeen kunnen waterdoorlatende betonstraatstenen in vier verschillende types worden ingedeeld.

2.1.2.1 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 in feite 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 122 minimaal 10 % bedragen. Om voldoende oppervlakdoorlatendheid te verkrijgen, dient de doorlatendheidscoëfficiënt van het voegvullingsmateriaal minimaal $5,4 \times 10^{-4}$ m/s te bedragen.

Figuur 2.2

2.1.2.2. Betonstraatstenen met drainageopeningen



Figuur 2.3

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 in feite, 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 122 minimaal 10 % bedragen. Ook hier dient de doorlatendheidscoëfficiënt van de voegvulling minimaal gelijk te zijn aan $5,4 \times 10^{-4}$ m/s.

Stenen met verbrede voegen en drainageopeningen beantwoorden voor de overige kenmerken zoals splijttreksterkte, maatafwijkingen, ...aan dezelfde normen (NBN EN 1338 en NBN B 21-311) als klassieke betonstraatstenen.

2.1.2.3 Poreuze betonstraatstenen



Figuur 2.4

Deze betonstraatstenen zijn waterdoorlatend door een poreuze betonsamenstelling.

Voor dit type van steen volstaat het in feite 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 122 minimaal gemiddeld $5,4 \times 10^{-5}$ m/s te bedragen.

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.

	Stenen met verbrede voegen Stenen met drainageopeningen	Poreuze straatstenen
NORM	NBN EN1338 en NBN B 21-311	PTV 122
SPLIJTTREKSTERKTE in N/mm ²	3,6	2,5
MAATAFWIJKINGEN in mm		
Lengte	± 2	± 2
Breedte	± 2	± 2
Hoogte	± 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
Min. Gemiddelde WATERDOORLATENDHEID in l/s/ha	Niet van toepassing	540 l/s/ha ($5,4 \times 10^{-5}$ m/s)
Min. individuele WATERDOORLATENDHEID in l/s/ha	Niet van toepassing	270 l/s/ha ($2,7 \times 10^{-5}$ m/s)
Oppervlakte openingen of verbrede voegen in % (van de totale oppervlakte)	10 %	Niet van toepassing

Tabel 2.1 Voorschriften voor waterdoorlatende bestratingen

2.1.2.4 Grasbetontegels



Figuur 2.5

Ook grasbetontegels kunnen als waterdoorlatende bestrating worden gebruikt, op voorwaarde dat ze op een doorlatende structuur worden aangebracht en dat de openingen met steenslag worden gevuld. Meer informatie over grasbetontegels is te vinden in de brochure "Grasbetontegels" uitgegeven door FEBE.

De eisen voor grasbetontegels zijn weergegeven in PTV 121.

2.1.3 Werkingsprincipe

Het werkingsprincipe van waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen is gebaseerd op volgende elementen:

- opnemen van water aan het oppervlak: dit gebeurt door de straatstenen. Deze dienen daartoe een voldoende grote doorlatendheid te hebben, hetzij door de steen zelf, hetzij door verbrede voegen of drainageopeningen. De straatstenen brengen het water zo snel mogelijk naar de onderliggende lagen;
- draagkracht voor verkeer. De draagkracht wordt verzekerd door de fundering. Tijdens de buffering wordt zoveel mogelijk vermeden dat de fundering verzadigd is met water om geen verlies aan draagkracht te hebben. De fundering zal het water doorgeven aan de onderfundering, waar het gebufferd wordt.
- buffering van het hemelwater: dit gebeurt onder in de structuur. De onderfundering doet dienst als buffer, zeker als de grond weinig doorlatend is;
- afvoer van het hemelwater, bij voorkeur door infiltratie in de ondergrond en anders door vertraagde afvoer naar een nabijgelegen infiltratiebekken of sloot. Belangrijk hierbij is dat de waterafvoer door middel van een knijpleiding voldoende wordt vertraagd om stroomafwaarts geen overbelasting te krijgen en de buffering in de structuur te laten gebeuren.

2.1.4 Toepassingsgebied



Figuur 2.6

Op het vlak van ontwerp en dimensionering dienen alle aspecten die bij klassieke verhardingen aan bod komen, zoals een goede verdichting van de materialen en een goede kwaliteit van de granulaten (vooral in de straatlaag), ook hier in acht te worden genomen. Het is immers zo, dat de waterdoorlatende structuur in droge toestand even draagkrachtig moet zijn als een structuur met klassieke straatstenen: aan het baanbed en de fundering worden dezelfde eisen gesteld.

Het feit dat de draagkracht in de perioden van waterbuffering in de structuur zal afnemen, beperkt echter de toepassingsmogelijkheden tot de verkeerscategorieën II, III en IV (zie tabel 1.1). In de praktijk betekent dit dat per dag niet meer dan een honderdtal vrachtwagens mag voorbijkomen. Dit resulteert in de volgende toepassingsgebieden:

- bedrijfsterreinen, kmo-zones, winkelcentra;
- woonstraten;
- parkeerplaatsen voor personenauto's;
- pleinen en wandelstraten;
- fietspaden;
- voetpaden;
- opritten, terrassen.

Qua rijcomfort zijn betonstraatstenen met verbrede voegen of met drainageopeningen minder geschikt voor fietspaden; poreuze betonstraatstenen met hun smalle voegen en kleine afschuining zijn voor fiets- en voetpaden des te meer aangewezen.

In beschermingszones 1 en 2 van drinkwaterwingebieden is het niet toegestaan het water in de grond te laten infiltreren, wegens de specifieke regelgeving die hier van kracht is. De indeling van de waterwingebieden kan teruggevonden worden op volgende website: <http://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/3waterwingebieden.html>.

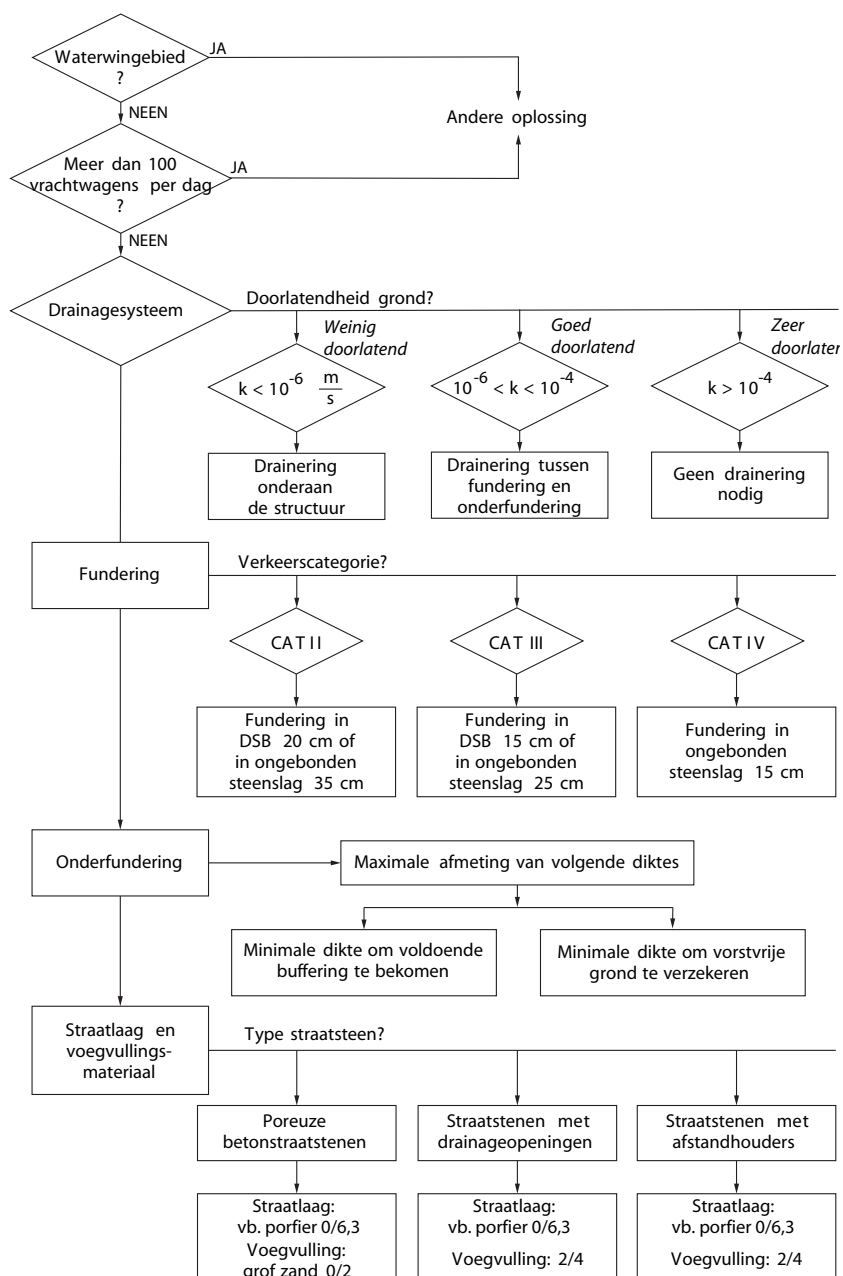
2.1.5 Dimensionering

De opbouw wordt bepaald door de volgende factoren: draagkracht, buffercapaciteit en type van ondergrond. De structuur moet bestand zijn tegen de verkeersbelastingen en moet, afhankelijk van de doorlatendheid van de aanwezige grond, het water transporteren, bufferen en laten infiltreren. Bovendien moet de grond beschermd worden tegen vorst, om swelling van vorstgevoelige grond te voorkomen.

Waterdoorlatende structuren kunnen zowel voor infiltratie als voor buffering dienen. De doorlatendheid van het geheel (bestrating, straatlaag, fundering en eventueel onderfundering) dient ten minste gelijk te zijn aan $5,4 \times 10^{-5}$ m/s. Dit stemt overeen met een regenbui van 16 mm of omgerekend 270 l/s/ha, rekening houdend met een veiligheidsfactor gelijk aan 2. Een 10 minuten durende bui van deze intensiteit heeft statistisch gezien een terugkeerperiode van 30 jaar.

Voor de dimensionering kan de hiernaast gepresenteerde beslissingsboom worden gebruikt.

De verschillende punten worden hier verder toegelicht. Belangrijk is tijdens de dimensionering het doel van de verschillende onderdelen voor ogen te houden:



Figuur 2.7 Beslissingsboom voor het ontwerp van waterdoorlatende bestratingen

- drainage: water afvoeren als de grond niet doorlatend genoeg is;
- onderfundering: water bufferen om infiltratie of afvoer met behulp van een knijpleiding mogelijk te maken. De onderfundering dient tevens vorstgevoelige grond te beschermen;
- fundering: draagkracht aan de structuur leveren;
- straatlaag: de straatstenen vastzetten en kleine hoogteverschillen wegwerken;
- straatstenen: het oppervlak van de verharding vormen en water naar de onderliggende structuur doorlaten.

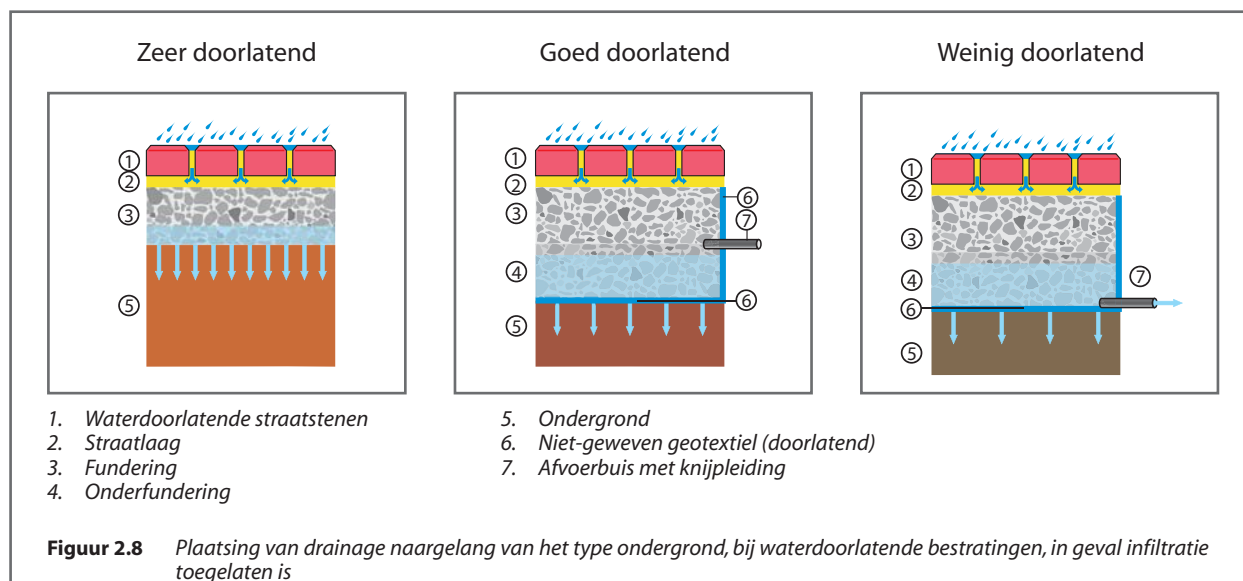
2.1.5.1 Dimensionering van de waterafvoer en het drainagesysteem

Aan het oppervlak zijn in principe geen straatkolken meer nodig, en dus ook geen riolering: de waterdoorlatende straatstenen nemen het water op en geven het door aan de onderliggende lagen. Wel kan extra veiligheid worden ingebouwd door bijvoorbeeld in de trottoirbanden openingen te laten voor afvoer naar "groene zones", of door aan de zijkant van de structuur een lager gelegen grasperk aan te leggen. Monitoring van gerealiseerde projecten heeft aangetoond dat de doorlatendheid van de stenen ook over langere periodes behouden blijft. Als er toch vervuiling met dichtslibbing optrad, bleek zij zich voornamelijk aan het oppervlak voor te doen en dus reinigbaar te zijn.

Afhankelijk van het type van ondergrond zal onder in de structuur drainage moeten worden aangebracht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen zeer doorlatende bodem ($k > 10^{-4}$ m/s), goed doorlatende bodem (10^{-6} m/s $< k < 10^{-4}$ m/s) en weinig doorlatende bodem ($k < 10^{-6}$ m/s):

- in het eerste geval is geen drainage nodig;
- in het tweede geval kan drainage worden toegepast ter hoogte van de onderzijde van de fundering. Deze drainage dient als overloop. Dit heeft het voordeel dat het meeste water nog in de bodem zal dringen. Bij zeer zware neerslag of aanhoudende regen zal de noodoverloop voorkomen dat het water te hoog in de structuur komt;
- bij een ondoorlatende bodem, of als het water onderin wordt opgevangen door een waterdicht membraan, moet men er zeker van zijn dat al het water uit de structuur kan wegvloeien. Hiervoor moet onder in de structuur een drainagevoorziening worden aangebracht. Deze voorziening hoeft niet in de bodem te worden ingegraven, aangezien de onderfundering zelf drainerend zal werken en het water automatisch naar het laagste punt zal vloeien. Daar is het van belang dat al het water via een knijpleiding verder wordt afgevoerd.

Figuur 2.8 geeft aan waar de drainage dient aan te sluiten, afhankelijk van het type van ondergrond.



In het geval geen infiltratie toegelaten is, dient gewerkt te worden met een ondoorlatend membraan op de bodem van het baanbed. Dit membraan wordt beschermd door een geotextiel om perforatie door de steenslag te vermijden. Ter hoogte van het baanbed wordt een helling naar de drainagebuis voorzien, om er zeker van te zijn dat al het water afgevoerd wordt onderaan de structuur. Dit is weergegeven in figuur 2.9.

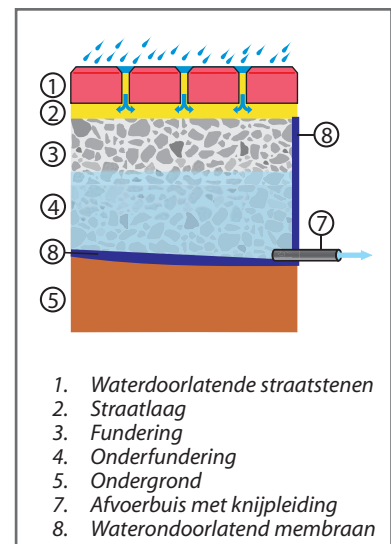
De grootte van de draineerbuis is afhankelijk van de hoeveelheid water die moet en mag worden afgevoerd, en dus van de grootte van het oppervlak en de capaciteit van het opvangbekken. Het afvoerdebiet wordt bepaald door de toegestane lozing van hemelwater. De drainage zelf dient geen rekening te houden met buffering van hemelwater en kan bijgevolg in afmeting worden beperkt. Bij voorkeur wordt een knijpleiding aangebracht, waardoor aan de vereisten kan worden voldaan.

De waterdoorlatendheid van de grond kan worden gemeten met een "open-end test". Met deze proef wordt de effectieve doorlatendheid ter hoogte van het baanbed bepaald. Het is echter ook mogelijk de waterdoorlatendheid te bepalen aan de hand van de grondanalyse die gebeurt op ontnomen stalen. Volgende doorlatendheidscoëfficiënten kunnen worden aangenomen:

- 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.

Belangrijk voor de toepassing van waterdoorlatende bestratingen is echter de homogeniteit van de grond over het hele oppervlak. Daarom wordt aangeraden bijvoorbeeld met de open-end-test of de eenvoudigere putmethode de doorlatendheid van de grond rechtstreeks te bepalen in ten minsten vier verschillende punten per 1 000 m².

Onder in het baanbed kan een waterdoorlatend geotextiel worden toegepast, om te voorkomen dat fijne gronddeeltjes in de onderfundering of fundering dringen. Dit is zeker aan te raden als de structuur op een kleigrond wordt aangebracht.



Figuur 2.9 Drainage in geval geen infiltratie in de ondergrond is toegelaten



Figuur 2.10 Open-end-methode



Figuur 2.11 Putmethode

Meetmethoden voor doorlatendheid ondergrond

Er bestaan verschillende methoden om de doorlatendheid in situ te bepalen, zoals de "open-end test".

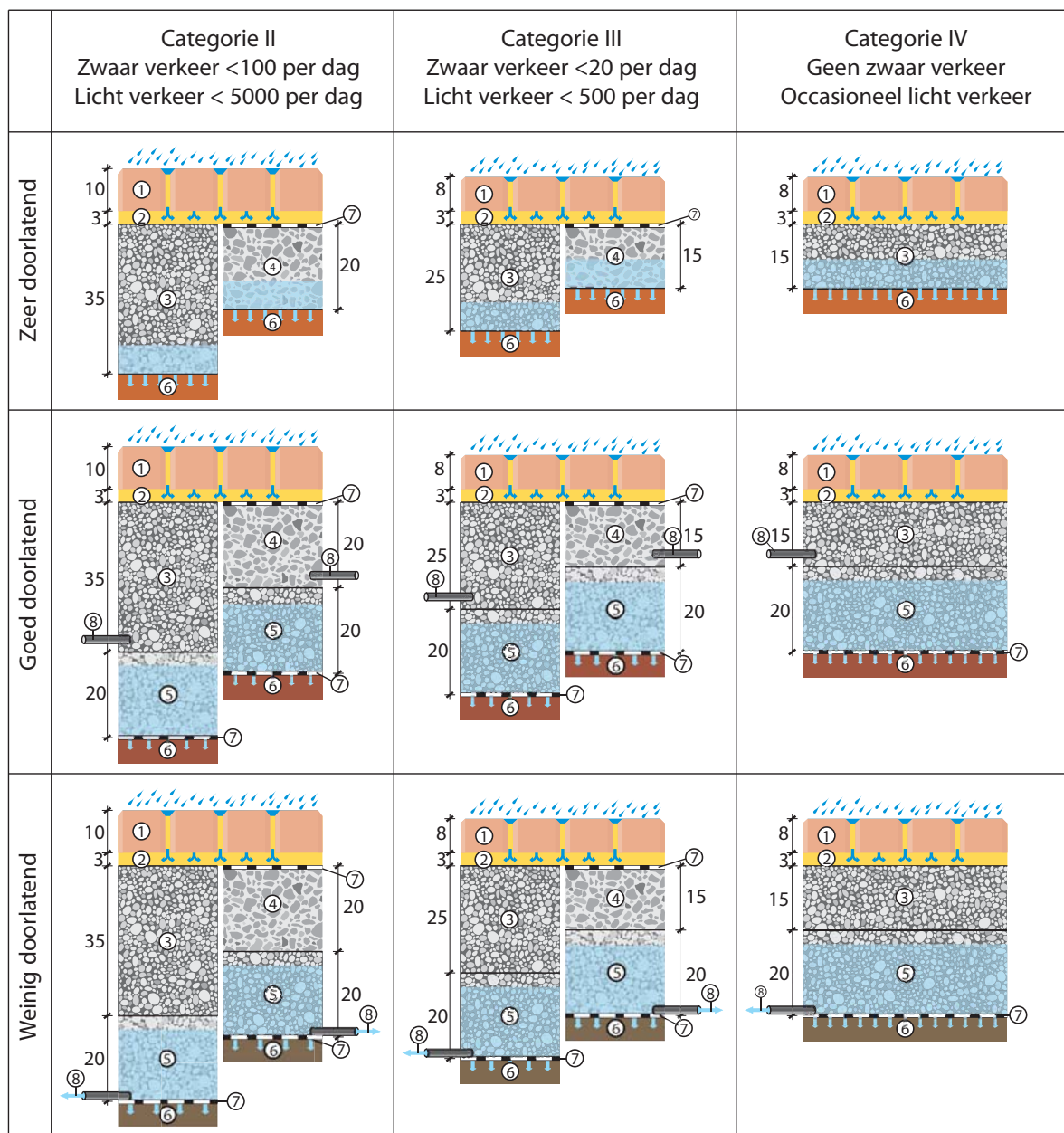
Bij deze methode wordt een waterkolom met een constante hoogte van 1 m op de grond aangebracht. Uit een continue meting van het aangevoerde water gedurende ten minste 20 minuten kan de doorlatendheid van de ondergrond worden bepaald.

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:

$$\text{Waterdoorlatendheid (m/s)} = \frac{\text{Hoeveelheid water (l)}}{\text{tijd (s)} / \text{oppervlakte van de put (m}^2\text{)} / 1000}$$

2.1.5.2 Dimensionering van de fundering

De fundering wordt gedimensioneerd ten aanzien van de verkeersbelasting. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende categorieën zoals aangegeven in tabel 1.1. Bij zwaar verkeer gaat de voorkeur naar drainerend schraal beton. Bij minder zwaar belaste structuren kan voor ongebonden steenslag worden geop- teerd, steeds met een beperking van de hoeveelheid fijne bestanddelen of met een discontinue korrelverdeling.



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

5. Onderfundering in steenslag
6. Ondergrond
7. Doorlatend geotextiel
8. Afvoerbuys met knijpleiding

Figuur 2.12 Overzicht structuur voor waterdoorlatende bestratingen in functie van verkeersbelasting en doorlatendheid van de grond

De fundering heeft natuurlijk ook als taak het water naar de onderfundering door te voeren. Daarom is ook de waterdoorlatendheid van het funderingsmateriaal belangrijk. Deze doorlatendheid dient minimaal gelijk te zijn aan $5,4 \times 10^{-5}$ m/s. In extreme gevallen levert de fundering een extra buffercapaciteit.

De doorlatendheid van het materiaal wordt voornamelijk bepaald door de aanwezigheid van fijne bestanddelen. In de literatuur wordt vermeld dat de doorlatendheid met een factor 40 toeneemt als de fijne fractie ($< 0,6$ mm) weggelaten wordt, en met een factor 100 als de fractie tot 1,18 mm weggelaten wordt. Dit wordt vertaald in de volgende eisen: fijne fractie ($< 63 \mu\text{m}$) $< 3\%$, fractie tot 2 mm $< 25\%$.

De bufferingscapaciteit zal zeer sterk toenemen als voor een discontinue korrelverdeling wordt gekozen. Dit houdt echter ook in dat er meer energie nodig is om tot een goede verdichting te komen. Zo worden granulaten met een discontinue korrelverdeling bij voorkeur met een trilplaat verdicht, en niet met een bandenwals.

In de fundering en onderfundering mag betonpuingranulaat worden toegepast. Wel is het zo, dat daarbij rekening moet worden gehouden met mogelijke vorming van fijne bestanddelen tijdens de aanbrenging van het materiaal. Het is dan ook raadzaam voor een discontinue korrelverdeling te kiezen en eventueel een voorproef ter bepaling van de doorlatendheid uit te voeren. Toepassing van metselwerkpuin of mengpuingranulaat in de fundering of onderfundering wordt ten stelligste afgeraden, omdat het risico op vorming van fijne bestanddelen zeer reëel en ook het gedrag bij verzadiging veel minder gekend is.

Aan de funderingsmaterialen worden de volgende eisen gesteld:

- drainerend schraal beton volgens de standaardbestekken, bijvoorbeeld SB 250:
 - minimale gemiddelde druksterkte: 13 N/mm²;
 - doorlatendheidscoëfficiënt bij verzadiging, in het laboratorium bepaald aan kernmonsters uit de fundering: ten minste 4×10^{-4} m/s.
- ongebonden steenslag met continue korrelverdeling, bijvoorbeeld 0/32:
 - fractie fijne bestanddelen ($< 63 \mu\text{m}$): beperkt tot 3 %;
 - fractie 0/2 mm: beperkt tot 25 %.
- ongebonden steenslag met discontinue korrelverdeling:
 - kleinste diameter bij voorkeur gelijk aan 2 mm, om een goede verdichting te verkrijgen.

Voor de bepaling van de buffercapaciteit wordt verwezen naar de volgende paragraaf.

2.1.5.3 Dimensionering van de onderfundering

De onderfundering heeft meerdere functies. Enerzijds moet zij de structuur de nodige buffercapaciteit bezorgen, afhankelijk van de mogelijke infiltratiesnelheid; anderzijds moet zij de grond beschermen tegen de inwerking van vorst. Daarnaast zal zij natuurlijk ook bijkomende draagkracht verschaffen. Deze functies gaan veelal samen: een weinig of niet doorlatende ondergrond, zoals kleigrond, is tevens zeer gevoelig voor de inwerking van vorst. Wanneer het water in de zeer fijne poriën van de grond bevroert, zal deze uitzetten en mogelijk de bovenliggende structuur opduwen. Het is daarom van belang dat de dikte van de bovenliggende structuur minstens gelijk is aan de vorstindringingsdiepte in de beschouwde regio. Hiervoor wordt verwezen naar § 1.2.1.1.

Voor de bepaling van de buffercapaciteit speelt vooral de porositeit van de materialen een grote rol. Onderzoek heeft aangetoond dat de buffercapaciteit kan worden bepaald uit de hoeveelheid watertoegankelijke holten in het verdichte materiaal. Deze hoeveelheid kan in het laboratorium worden gemeten. Er wordt een veiligheidsfactor van 1,5 toegepast, om rekening te houden met mogelijke luchtinsluitels in de structuur.

De nodige buffercapaciteit is afhankelijk van het type van ondergrond en de bijbehorende infiltratiecapaciteit. In de "stedenbouwkundige verordening hemelwater"¹ is vastgelegd dat het buffervolume minimaal 1 500 l/100 m² moet zijn indien alles geïnfiltreerd wordt en 2 000 l/100 m² referentieoppervlak indien gewerkt wordt met een begrenzer die de afvoer beperkt tot maximaal 1 500 l/uur/100 m².

¹ Besluit van de Vlaamse regering van 1 oktober 2004 houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater (22/8/2006).

De statische buffercapaciteit kan als volgt worden bepaald uit de dikte van het materiaal en de watertoegankelijke porositeit.

Berekening buffercapaciteit

Structuur:

- straatstenen met verbrede voegen;
- straatlaag 0/6,3: 4 cm;
- fundering 0/32: 18 cm;
- onderfundering 0/32: 30 cm.

Buffervolume voor 100 m²:

- onderfundering: $0,30 \times 23 \% \text{ (watertoegankelijke porositeit)} \times 100 \times 1\,000 = 6\,900 \text{ l}$;
- fundering: $0,18 \times 23 \% \times 100 \times 1\,000 = 4\,140 \text{ l}$;
- straatlaag: $0,04 \times 28 \% \times 100 \times 1\,000 = 1\,120 \text{ l}$.

Het buffervolume dat, rekening houdend met de veiligheidscoëfficiënt, nodig is ($1,5 \times 2\,000 \text{ l}/100 \text{ m}^2 = 3\,000 \text{ l}/100 \text{ m}^2$), wordt dus ruimschoots bereikt in de onderfundering. De buffercapaciteit van de fundering kan als bijkomende veiligheid worden beschouwd.

Mogelijk kan de onderfundering ook worden gebruikt als buffer voor het hemelwater afkomstig van naastgelegen ondoorlatende verhardingen of zelfs van naastgelegen woningen. In Nederland wordt dat al veelvuldig toegepast.

In werkelijkheid zal de buffercapaciteit natuurlijk sterk afhangen van de leegloopsnelheid, dus van ofwel de infiltratiesnelheid in de ondergrond, ofwel de vertraagde afvoer via de drainage.

2.1.5.4 Keuze van het type van waterdoorlatende bestrating

De functie van waterdoorlatende straatstenen is via een poreuze steenstructuur of via verbrede voegen of drainageopeningen, of door een combinatie van deze laatste, het water van aan het oppervlak door te laten naar de fundering en onderfundering. Er wordt geen water in de stenen zelf gebufferd.

De keuze van het type van waterdoorlatende bestrating wordt bepaald door het gebruik van het oppervlak. Straatstenen van poreus beton zijn beter geschikt voor fiets- en voetpaden dan straatstenen met drainageopeningen. Deze laatste hebben anderzijds een hogere weerstand tegen zwaar verkeer en zijn ook in een grotere dikte verkrijgbaar.

De vereiste waterdoorlatendheid van straatstenen van poreus beton wordt bepaald door PTV 122. Hier wordt een minimale individuele doorlatendheid van $2,7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ geëist, met een gemiddelde doorlatendheid van $5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. De doorlatendheid van straatstenen met verbrede voegen of met drainageopeningen is sterk afhankelijk van het gebruikte voegvullingsmateriaal. Volgens PTV 122 dient 10 % van het oppervlak uit "openingen" te bestaan. Dit brengt met zich mee, dat de doorlatendheid van het voegvullingsmateriaal ten minste $5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ moet bedragen om tot een gelijkwaardige doorlatendheid te komen als met poreuze stenen.

In werkelijkheid is gebleken dat de oppervlakdoorlatendheid van structuren met een verharding van straatstenen met verbrede voegen of drainageopeningen aanvankelijk veel groter is dan het geëiste minimale gemiddelde van $5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Na verloop van tijd neemt zij echter geleidelijk af, tot zij ongeveer gelijk is aan die van poreuze straatstenen.

Belangrijk is ook dat een eventuele vervuiling aan het oppervlak bijgevolg kan worden verwijderd door reiniging met hoge druk of met een borstel- of veegmachine.

2.1.5.5 Keuze van de straatlaag en het voegvullingsmateriaal

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;
- weerstand tegen vergruizing: vorming van fijn materiaal onder verkeersbelastingen dient vermeden te worden.



Figuur 2.13

De dikte van de straatlaag bedraagt 3 cm na verdichting. 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. Dit betekent dat er geen materiaal van de straatlaag in de fundering mag dringen, wat mogelijk is als bijvoorbeeld een straatlaag 0/6,3 op een fundering 2/20 wordt gelegd. In dit geval kan tussen straatlaag en fundering een niet-geweven geotextiel als filter worden toegepast of, beter nog, met een aangepaste straatlaag 2/6,3 worden gewerkt. De filterstabiliteit kan nagegaan worden aan de hand van de formule weergegeven in paragraaf 1.2.9.

Ten slotte dient te worden opgemerkt dat tussen een fundering van drainerend schraal beton en de straatlaag altijd een niet-geweven geotextiel wordt aangebracht.

Waterdoorlatende bestratingen worden volgens dezelfde methode aangebracht als klassieke steenbestratingen. Als voegvullingsmateriaal wordt zo mogelijk hetzelfde materiaal gekozen als voor de straatlaag, natuurlijk als functie van de breedte van de voegen. De filterstabiliteit tussen voegmateriaal en straatlaag dient steeds gegarandeerd te worden.

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 (2008). Dit houdt in dat de LA (Los Angelescoëfficiënt) niet groter mag zijn dan 20 en de MDW (Micro-Devalcoëfficiënt) niet groter dan 15. Granulaten 2/4 mm of 2/6,3 mm dienen te behoren tot categorie Ab II f4.

2.1.5.6 Controle



Figuur 2.14 Dubbele-ringmethode

De controle kan op verschillende momenten plaatsvinden. Voordat het ontwerp wordt opgemaakt, dient de doorlatendheid van de grond te worden bepaald. Dit is mogelijk aan grondmonsters of door metingen in situ, bijvoorbeeld met de "open-end test" of volgens de dubbele-ringmethode.

Bij de uitvoering kan de doorlatendheid van de verschillende materialen worden bepaald uit doorlatendheidsproeven in het laboratorium (kolomproef op zand, op grof granulaat).

Ten slotte kan de oppervlakdoorlatendheid worden bepaald met de dubbele-ringmethode. Hierbij wordt de doorlatendheid van het bovenste gedeelte van de structuur getest, namelijk van de straatstenen en voegen, van de straatlaag en van een gedeelte van de fundering.

2.2 Rotondes van betonstraatstenen



Figuur 2.15

Het wegdek van een rotonde wordt zwaar belast. Naast veelvuldige horizontale krachten door remmen, draaien en optrekken ontstaan door overhellende voertuigen grote verticale krachten, die vooral op de rand van de verharding inwerken.

Voor beperkte verkeersbelastingen (verkeerscategorie II en III) kunnen rotondes ook met betonstraatstenen worden gerealiseerd. Dit is meestal zo in dorpskernen, in "zones 30" en in schoolomgevingen, waar weinig of geen vrachtwagens passeren.

2.2.1 Opbouw van een rotonde van betonstraatstenen

Gezien de veelvuldige inwerking van horizontale krachten in radiale en tangentiële richting, die eigen zijn aan het verkeer op een rotonde, verdient het aanbeveling betonstraatstenen met een dikte van ten minste 10 cm aan te brengen.

Voor de straatlaag gelden de strengste eisen van § 1.2.6.2 (verkeerscategorie I of II). Voor rotondes wordt vaak zandcement gebruikt. Het zand moet hier van uitstekende kwaliteit zijn (grof zand 0/4 met < 3 % fijne bestanddelen). De stenen moeten worden afgetrild voordat het bindingsproces van het zandcement begint.

Ten opzichte van de bestrating dient de funderingslaag met een extra breedte te worden aangebracht. De buitenzijde van de rotonde wordt immers zwaar belast met horizontale radiale krachten. Een goede opsluiting van de stenen is dus noodzakelijk.

Bij een rotonde is het van zeer groot belang het water zo snel mogelijk af te voeren. Bijgevolg dient naast een voldoende dwarshelling (ten minste 2,5 %) een zeer dicht oppervlak te worden gerealiseerd, wat regelmatig onderhoud van de voegvulling inhoudt.

2.2.2 Kantopsluiting



Figuur 2.16

Een stevige kantopsluiting met trottoirbanden of kantstroken (ten minste 20 cm breed) is altijd over de volledige omtrek noodzakelijk. Deze elementen dienen te worden vastgezet in een bed van mortel of beton, om elk risico op kantelen of verschuiven te vermijden. Vaak wordt bijkomend een streklaag of rollaag van betonstraatstenen toegepast.

2.2.3 Voegen, legverband, formaat

In een verharding van betonstraatstenen worden de krachten opgenomen door de wrijvingsvlakken tussen de stenen, met andere woorden in de voegen. Deze dienen zo smal mogelijk te worden uitgevoerd.

Gezien de grote belastingen en vooral de wringkrachten die op de verharding worden uitgeoefend, is een keper, elleboog- of visgraatverband het meest aangewezen; deze verbanden verdelen immers het beste de horizontale en verticale krachten over de voegen. Soms wordt ervoor gekozen een rotonde met een halfsteensverband in de lengterichting aan te leggen. Dit is enkel voor verkeerscategorie III toegestaan.

Voor fietspaden die deel uitmaken van de rotonde en bijgevolg door hetzelfde verkeer worden belast, gelden uiteraard dezelfde regels als voor de rotonde zelf. Wel worden de fietspaden dikwijls aangelegd in een halfsteensverband met doorgaande voegen in de rijrichting van de fietsers.

2.3 Fietspaden van betonstraatstenen



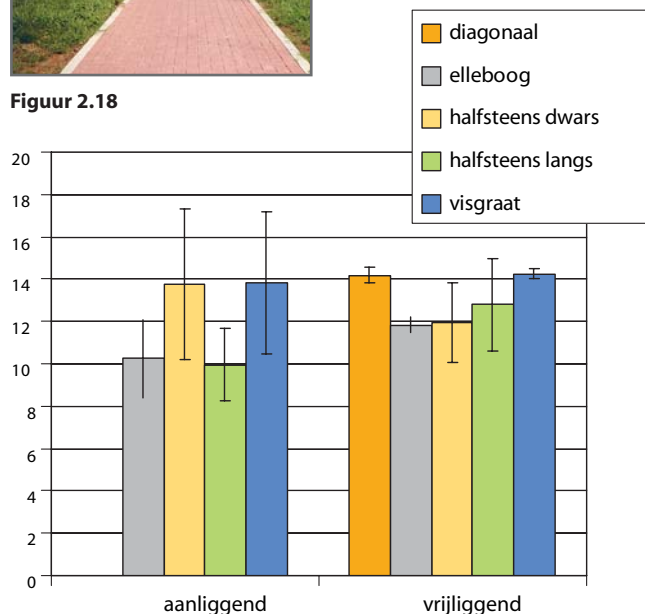
Figuur 2.17

Een onderzoek met behulp van trillingsmetingen heeft aangetoond dat veilige, goed geïntegreerde en zeer comfortabele fietspaden kunnen aangelegd worden met behulp van betonstraatstenen. Hiervoor dienen evenwel enkele parameters gerespecteerd te worden.

Een eerste belangrijk aspect is het legverband. De invloed hiervan is duidelijk groter in het geval het fietspad aanliggend is dan wanneer het over een vrijliggend fietspad gaat. Dit wordt weergegeven in figuur 2.19. Bij een aanliggend fietspad geven het elleboogverband en het halfsteensverband in langsrichting het beste resultaat (laagste waarde). Het overrijdend verkeer speelt hier duidelijk een rol.



Figuur 2.18



Figuur 2.19 Invloed van legverband op rijcomfort bij aanliggende en vrijliggende fietspaden

Om tot een goed comfort te komen dienen vooral op- en afritten zo veel als mogelijk vermeden te worden. Dit is in principe steeds zo bij een aanliggend fietspad. Bij een vrijliggend fietspad kan hiermee rekening gehouden worden door het fietspad op een zelfde niveau te houden en de kruispunten aan te passen aan dit niveau.

De velling is een tweede belangrijke parameter. De beste resultaten worden bekomen met de kleinste vellingen, beperkt tot maximaal 3 mm. Ook de voegbreedte dient beperkt gehouden te worden. Zo geven voegen van 2 tot 3 mm de beste resultaten.

Betreffende het formaat van de stenen kan gesteld worden dat een langere steen (22 tot 30 cm) een comfortabeler resultaat geeft.

Hoofdstuk 3

Kwaliteitscertificatie

3.1 Inleiding

Betonstraatstenen mogen in de Europese Unie, en dus ook in België, niet op de markt gebracht worden zonder dat zij beschikken over de CE-markering. Deze reglementaire CE-markering wordt aangebracht op basis van het zogenaamd geharmoniseerd gedeelte van de Europese norm NBN EN 1338 volgens de modaliteiten van de Bijlage ZA van die norm.

Voor betonstraatstenen bestaat in België daarnaast ook een volwaardige productcertificatie onder het BENOR-merk, gebaseerd op de volledige inhoud van de Europese norm NBN EN 1338 en de bijbehorende Belgische toepassingsvoorschriften van de NBN B 21-311.

3.1.1 CE-markering met minimale kwaliteitseisen

Het doel van de CE-markering voor bouwproducten is niet de kwaliteit van de producten te attesteren, maar wel als paspoort te dienen voor het vrij verkeer van deze goederen. De CE-markering geeft in toepassing van de Europese Bouwproductenrichtlijn (BPR) aan dat de betreffende producten voldoen aan een aantal minimale eisen inzake mechanische sterkte en stabiliteit, brandveiligheid, hygiëne, gezondheid en milieu, enz. die opgelegd worden in de nationale wet- en regelgeving van de Lidstaat waar het product op de markt wordt gebracht. Het vrij verkeer van bouwproducten die beschikken over dergelijke CE-markering en die in overeenstemming zijn met de betreffende nationale wet- en regelgeving mag niet verhinderd worden. Voor de meeste bouwproducten zoals betonstraatstenen worden de relevante kenmerken vastgelegd in geharmoniseerde Europese normen.

In het algemeen bepaalt de Europese Bouwproductenrichtlijn (BPR) dat de fabrikant zelf verantwoordelijk is voor het attesteren van de overeenkomstigheid van zijn aan geharmoniseerde normen onderworpen producten. Deze overeenkomstigheid wordt vastgesteld op basis van initiële typeproeven en productiecontrole in de fabriek en geattesteerd volgens verschillende attesteringsystemen van overeenkomstigheid, genummerd van 1 tot 4.

Voor betonstraatstenen werd door de Europese Commissie in 2003 de reglementaire CE-markering op basis van het attesteringssysteem 4 ingevoerd. In dit geval houdt de CE-markering in dat de fabrikant autonoom, zonder tussenkomst van een onafhankelijke partij, de geharmoniseerde kenmerken van zijn product verklaart. Op producten met enkel een CE-markering op basis van het attesteringssysteem niveau 4 vindt geen externe controle plaats.

Voor betonstraatstenen is het aantal geharmoniseerde kenmerken beperkt. Voor niet gepolierde betonstraatstenen voor buitentoepassingen (het meest courante product) gaat het enkel over de mechanische sterkte, de glij- en slipweerstand en de duurzaamheid, waarbij bovendien wordt aangenomen dat de laatste twee eigenschappen zonder enige beproeving voldoening geven.

Bepaalde, nochtans zeer relevante kenmerken, zoals de geometrische kenmerken en de toelaatbare maatafwijkingen, de weerbestandheid (wateropsorping en vorst-dooiweerstand), de slijtweerstand en de visuele kenmerken zijn niet geharmoniseerd.

Andere geharmoniseerde Europese normen voor bestratingsproducten zijn:

- voor betontegels: NBN EN 1339;
- voor betonboordstenen: NBN EN 1340.

3.1.2 BENOR-certificatie met hoge kwaliteitseisen

Om de overeenkomst met de volledige Europese Norm NBN EN 1338 (en dus niet enkel met het geharmoniseerde deel ervan) én met de Belgische toepassingsnorm NBN B 21-311 te garanderen, worden betonstraatstenen in België geproduceerd en geleverd onder het vrijwillig BENOR-kwaliteitsmerk.

De NBN B 21-311 bepaalt voor de in de NBN EN 1338 geclassificeerde kenmerken de toegelaten klassen en definieert toepassingscategorieën van betonstraatstenen die bestemd zijn voor bestratingen met verkeer rekening houdend met de Belgische situatie.

In het kader van het BENOR-merk past de fabrikant een interne zelfcontrole toe om de overeenkomstigheid van zijn producten te waarborgen. Periodiek extern toezicht gebeurt door een externe, onpartijdige keuringsinstelling (COPRO, SECO), die door de certificatie-instelling PROBETON (beheersorganisme voor de controle van betonproducten) wordt gemandateerd.

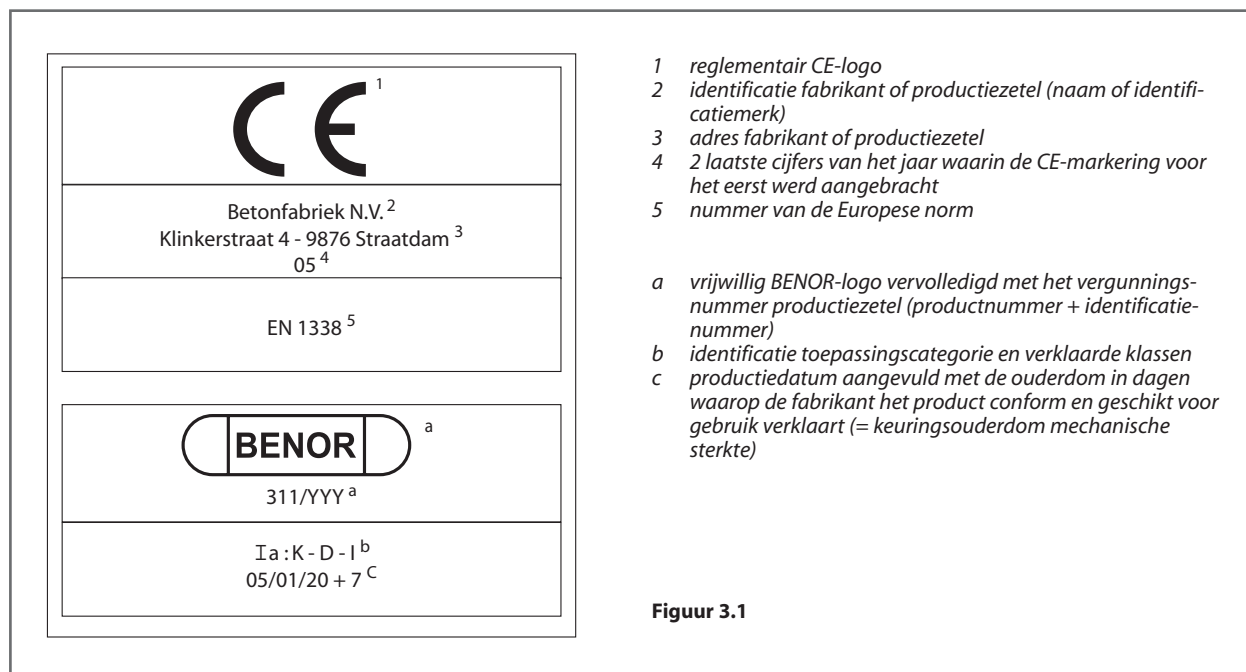
Andere Belgische toepassingsnormen voor bestratingsproducten zijn:

- voor betontegels: NBN B 21-211;
- voor betonboordstenen: NBN B 21-411.

Samengevat kan men stellen dat CE-gemarkeerde producten enkel voor een beperkt aantal kenmerken (de 'geharmoniseerde' kenmerken) aan de minimeisen moeten voldoen en dus niet noodzakelijk het kwaliteitsniveau bieden dat de klant wenst. Het Belgische BENOR-keurmerk, beheerd en gecontroleerd door een onafhankelijke certificatie-instelling, certificeert de overeenkomstigheid met de volledige normen en beantwoordt daarom veel beter aan de kwaliteitsverwachtingen van de Belgische bouwheren.

3.2 Productlabels

Op elke afzonderlijke productie dient een label te worden aangebracht, met een duidelijke productidentificatie zoals op het onderstaande voorbeeld:



3.3 Europese norm NBN EN 1338 en CE-markering

3.3.1 Toepassingsgebied

De Europese norm NBN EN 1338 legt de bestanddelen, eigenschappen, eisen en beproevingsmethoden voor ongewapende cementgebonden betonstraatstenen en hulpstukken vast. Zij is van toepassing op geprefabriceer-

de betonstraatstenen en hulpstukken voor bestratingen onder voetgangers- en/of voertuigenverkeer, zoals voetpaden, voetgangerszones, fietspaden, parkeerzones, straten, industrieterreinen (inclusief dokken en havens), vliegveldverhardingen, bushaltes, benzinestations, ...

Deze norm regelt via de Bijlage ZA ook de CE-markering en het bijbehorende attesteringsysteem.

3.3.2 Vormkenmerken - toelaatbare maatafwijkingen

Steendikte mm	Lengte mm	Breedte mm	Dikte mm
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4
Het verschil tussen twee diktemetingen van één individuele steen is ≤ 3 mm.			

Tabel 3.1 Toelaatbare maatafwijkingen van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338

Klasse	Markering	Grootst toelaatbaar verschil mm
1	J	5
2	K	3

Tabel 3.2 Grootst toelaatbare verschillen tussen de diagonalen (> 300 mm) van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338

Lengte van de meetlat mm	Grootste bolheid mm	Grootste holheid mm
300	1,5	1,0
400	2,0	1,5

Tabel 3.3 Onvlakheden en kromheid van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338

3.3.3 Mechanische kenmerken

Op het tijdstip dat de fabrikant de stenen gebruiksgeschikt verklaart (bijvoorbeeld zeven of achtentwintig dagen na productie), voldoen zij aan de hiernavolgende eisen.

3.3.3.1 Weerbestandheid (duurzaamheid)

De wateropsorping en de vorst-dooibestandheid zijn een maat voor de duurzaamheid. Beide kenmerken houden verband met de verdichting en de porositeit van de betonstraatstenen.

3.3.3.1.1 Bepaling van de totale wateropsorping

Klasse	Markering	Wateropsorping % in massadelen
1	A	geen prestatie bepaald
2	B	gemiddeld ≤ 6

Tabel 3.4 Wateropsorping van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338

De toelaatbare afwijkingen van de door de fabrikant verklaarde fabricagematen worden aangegeven in tabel 3.1.

De afwijkingen van de overige afmetingen van niet-rechthoekige stenen worden door de fabrikant verklaard. Als de lengte van de diagonalen groter is dan 300 mm, geeft tabel 3.2 het grootst toelaatbare verschil tussen de gemeten lengten van de twee diagonalen aan.

Als de grootste afmeting van een steen groter is dan 300 mm, zijn de onvlakheden en de kromheid van het bovenvlak in overeenstemming met tabel 3.3 (opmerking: als het bovenvlak niet bedoeld is vlak te zijn, verschaft de fabrikant de informatie over de afwijkingen).

Principe: nadat het proefstuk op $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ is gebracht, wordt het ondergedompeld tot constante massa en vervolgens in een (op 105°C afgestelde) droogstoof tot constante massa gedroogd. Het massaverlies wordt uitgedrukt als een percentage van de massa van het droge proefstuk. Hoe groter de wateropsorping, hoe poreuzer de steen.

De wateropslorping W_a van elk proefstuk wordt berekend als een percentage van de massa van het proefstuk, uit de vergelijking:

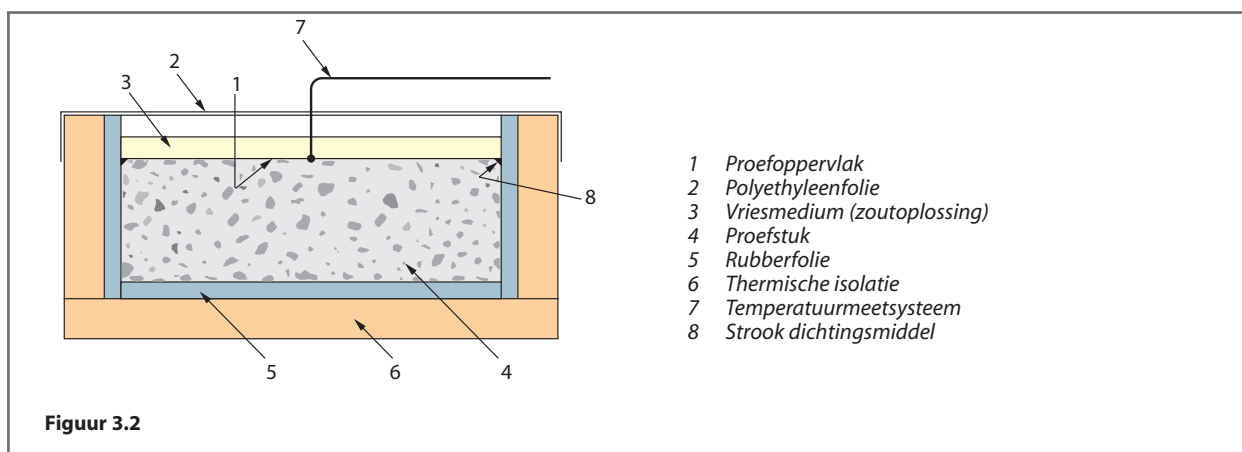
$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\%$$

waarin:

- M_1 = aanvankelijke massa van het proefstuk (g);
- M_2 = uiteindelijke massa van het proefstuk (g).

3.3.3.1.2 Bepaling van de vorst-dooibestandheid in aanwezigheid van dooizouten

Principe: het proefstuk wordt voorbereid en vervolgens onderworpen aan achtentwintig vorst-dooicycli, waarbij het oppervlak van het proefstuk bedekt wordt met een 3%-oplossing van NaCl. Het materiaal dat aan het contactoppervlak afschilfert, wordt verzameld en gewogen en het resultaat wordt uitgedrukt in kilogram per vierkante meter (= massaverlies).



Het massaverlies per oppervlakte-eenheid van het proefstuk (L) wordt berekend in kilogram per vierkante meter, volgens de vergelijking:

$$L = \frac{M}{A}$$

waarin:

- M = massa van de totale hoeveelheid losgekomen materiaal na achtentwintig cycli, uitgedrukt in kilogram;
- A = oppervlakte van het proefstukoppervlak, uitgedrukt in vierkante meter.

Klasse	Markering	Massaverlies na de vorst-dooiproef kg/m ²
3	D	gemiddeld $\leq 1,0$ geen individuele waarde $> 1,5$

Tabel 3.5 Vorst-dooibestandheid van betonstraatstenen onder dooizouten volgens NBN EN 1338

3.3.3.2 Splijttreksterkte



Figuur 3.3

Principe: de steen wordt samen met twee verdeelplaatjes in de lengterichting tussen de twee stutten geplaatst. De stutten bewegen met een constante snelheid naar elkaar toe, totdat de steen bij een bepaalde breukbelasting P breekt (= splijt).

De splijttreksterkte T van de beproefde steen wordt berekend met de volgende formule:

$$T = 0.637 \times k \times \frac{P}{S}$$

waarin:

- T = splijttreksterkte (MPa);
- P = breukbelasting (N);
- k = correctiefactor volgens de steendikte t ;
- S = splijtoppervlak (mm²).

Correctiefactor k hangt als volgt van de steendikte af:

t (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

Tabel 3.6 Correctiefactor k voor berekening van de splijttreksterkte

De karakteristieke splijttreksterkte T mag voor klassieke betonstraatstenen niet kleiner zijn dan 3,6 MPa. Geen enkel individueel resultaat mag kleiner zijn dan 2,9 MPa. Voor poreuze betonstraatstenen dient de karakteristieke splijttreksterkte minimaal gelijk te zijn aan 2,5 MPa.

3.3.3.3 Slijtbestandheid (bestandheid tegen afslijting)



Figuur 3.4 Capontoestel en getest proefstuk

De bestandheid tegen afslijting wordt bepaald met de Caponproef (breedwielslijtproef) of, als alternatief, met de Böhmeproef. De breedwielslijtproef is de referentieproef.

Principe van de Caponproef: de proef bestaat erin, het dagvlak van een straatsteen in standaardomstandigheden gedurende 60 s af te slijten met een wiel en een slijtmiddel (gesmolten aluminaat = korund). Na de proef wordt de breedte van de inslijting gemeten. Hoe breder de slijtgroef, hoe groter de afslijting.

Klasse	Markering	Eis	
		Caponproef	Böhmeproef
1	F	Geen prestatie bepaald	Geen prestatie bepaald
3	H	23 mm	$\leq 20\,000\text{ mm}^3/5\,000\text{ mm}^2$
4	I	20 mm	$\leq 18\,000\text{ mm}^3/5\,000\text{ mm}^2$

Tabel 3.7 Slijtbestandheidsklassen van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338

3.3.3.4 Glij- of slipweerstand

Betonstraatstenen hebben voldoende glij- of slipweerstand (stroefheid), op voorwaarde dat het volledige bovenvlak niet geslepen en/of gepolijst werd om een zeer effen oppervlak te verkrijgen.

3.3.3.5 Brandgedrag

Betonstraatstenen behoren tot brandreactieklasse A1 (zonder beproeving).

3.3.3.6 Warmtegeleidingsvermogen

Voor betonstenen die gebruikt worden om de thermische prestatie van een element te verhogen, verklaart de fabrikant het warmtegeleidingsvermogen volgens de ontwerpgegevens van EN 13369.

3.3.4 Visuele kenmerken

Deze kenmerken worden steeds bij natuurlijk daglicht beoordeeld, van op 2 m afstand.

3.3.4.1 Uiterlijk

Het bovenvlak van de betonstraatstenen vertoont geen gebreken zoals scheuren of afschilfering.

Tweelagige stenen vertonen geen onthechting (scheiding) tussen de lagen.

3.3.4.2 Textuur

De textuur van stenen met een speciale oppervlakttextuur wordt door de fabrikant beschreven.

De overeenkomstigheid is aangetoond als er bij controle geen aanzienlijke textuurverschillen zijn met de monsters die de fabrikant heeft bezorgd en de koper heeft goedgekeurd. Onvermijdelijke schommelingen in de eigenschappen van de grondstoffen en variaties tijdens het verhardingsproces kunnen textuurverschillen veroorzaken. Zij worden niet significant geacht.

3.3.4.3 Kleur

Kleurstoffen mogen, naar keuze van de fabrikant, in het beton van de toplaag of van de gehele steen worden toegepast.

De overeenkomstigheid is aangetoond als er bij controle geen aanzienlijke kleurverschillen zijn met de monsters die de fabrikant heeft bezorgd en de koper heeft goedgekeurd. Onvermijdelijke schommelingen in de eigenschappen van de grondstoffen en variaties tijdens het verhardingsproces kunnen kleine kleurverschillen veroorzaken. Zij worden niet significant geacht.

3.4 Belgische norm NBN B 21-311 en BENOR-merk



De overeenkomstigheid van betonstraatstenen met alle voorschriften van de normen NBN EN 1338 en norm NBN B 21-311 voor betonstraatstenen kan worden gecertificeerd onder het BENOR-merk. Dit is het vrijwillige collectieve keurmerk van overeenkomstigheid met normen, dat eigendom is van het Belgisch Bureau voor Normalisatie (NBN). De controle van betonproducten wordt beheerd door PROBETON.



Het BENOR-keurmerk bevestigt door tussenkomst van PROBETON dat de fabrikant zijn industriële zelfcontrole correct uitvoert en de door de fabrikant verklaarde prestaties van de betonstraatstenen betrouwbaar zijn. Voor het periodiek extern toezicht doet PROBETON beroep op zijn gemandateerde keuringsinstellingen (COPRO, SECO), die toezien op de correcte toepassing van de industriële zelfcontrole door de fabrikant en de nodige monsters nemen voor de uitvoering van controleproeven.



De Belgische norm NBN B 21-311 bepaalt aan welke CE-klasse uit norm NBN EN 1338 een kenmerk moet voldoen voor een bepaalde toepassing. Als een kenmerk niet in deze Belgische norm vermeld staat, geldt de laagste klasse van NBN EN 1338, of een hogere indien zij door de fabrikant is opgegeven.



Andere nationale keurmerken in Europa:

- voor Nederland: KOMO-keurmerk;
- voor Duitsland: Deutsche Überwachung-keurmerk.

3.4.1 Toegelaten klassen

3.4.1.1 Maatafwijking van diagonalen

Klasse	Markering	Grootst toelaatbaar verschil mm
2	K	3

Het toelaatbare verschil tussen de diagonalen van een rechthoekige betonstraatsteen is in overeenstemming met klasse 2 volgens NBN EN 1338, zoals aangegeven in tabel 3.8.

Tabel 3.8 Grootst toelaatbaar verschil (BENOR) tussen de diagonalen (> 300 mm) van betonstraatstenen volgens NBN B 21-311

3.4.1.2 Weerbestandheid (duurzaamheid)

De weerbestandheid (duurzaamheid) van betonstraatstenen is in overeenstemming met klasse 2 of 3 volgens NBN EN 1338, zoals aangegeven in tabel 3.9.

Klasse	Markering	Wateropslorping % in massadelen	Massaverlies na de vorst-dooiproef kg/m ²
2	B	≤ 6	-
3	D	-	gemiddeld ≤ 1,0 geen individuele waarde > 1,5

Tabel 3.9 Vorstbestandheid (BENOR) van betonstraatstenen volgens NBN B 21311

3.4.1.3 Slijtbestandheid (weerstand tegen afslijting)

Klasse	Markering	Voorschrift
		Afslijting in de Caponproef volgens NBN EN 1338
3	H	≤ 23 mm
4	I	≤ 20 mm

De slijtbestandheid van betonstraatstenen is in overeenstemming met de klasse 3 of 4 volgens NBN EN 1338, zoals aangegeven in tabel 3.10.

Tabel 3.10 Slijtbestandheidsklassen (BENOR) van betonstraatstenen volgens NBN B 21-311

3.4.2 Toepassingscategorieën

Categorie	Dikte h (mm)	Minimumklasse (markering)		
		Maatafwijking diagonalen	Weerbestandheid	Slijtbestandheid
I a	≥ 80	2 (K)	3 (D)	4 (I)
I b(1)		2 (K)	2 (B)	3 (H)
II a	< 80	2 (K)	3 (D)	3 (H)
II b		2 (K)	2 (B)	3 (H)

(1) Deze categorie is tijdelijk. Op grond van de ervaringen met de eisen en de beproevingsmethode voor de vorst-dooibestandheid in aanwezigheid van dooizouten die voor categorie I a gelden, zal op een later tijdstip worden beslist of categorie I b al dan niet geschrapt kan worden.

Betonstraatstenen, bestemd voor bestratingen onder verkeer worden ingedeeld in vier toepassingscategorieën, zoals aangegeven in tabel 3.11.

Tabel 3.11 Toepassingscategorieën van betonstraatstenen volgens NBN B 21-311

Daarbij geldt dat:

- betonstraatstenen van categorie I a aangewezen zijn voor bestratingen met hoge dooizoutbelasting, die ten minste aan voertuigenverkeer van normale intensiteit worden onderworpen;
- betonstraatstenen van categorie I b aangewezen zijn voor bestratingen met lage dooizoutbelasting, die aan voertuigenverkeer van lage intensiteit worden onderworpen;
- betonstraatstenen van categorie II a aangewezen zijn voor bestratingen met hoge dooizoutbelasting, die hoogstens aan occasioneel voertuigenverkeer worden onderworpen;
- betonstraatstenen van categorie II b aangewezen zijn voor bestratingen met lage dooizoutbelasting, die hoogstens aan occasioneel voertuigenverkeer worden onderworpen.

Belangrijk: De toepassingscategorieën betreffen volgens NBN B 21-311 enkel de klassen voor diagonale maatafwijkingen, weerbestandheid en slijtbestandheid. Voor de overige kenmerken zoals splijttreksterkte en toelaatbare dikteverschillen wordt verwezen naar de eisen van de Europese norm NBN EN 1338.

3.5 Andere voorschriften voor betonstraatstenen

3.5.1 PTV 122 voor waterdoorlatende betonstraatstenen

3.5.1.1 Betonstraatstenen met drainageopeningen of verbrede voegen

Deze stenen danken hun waterdoorlatendheid aan de aanwezige drainageopeningen of verbrede voegen. De horizontale projectie van de oppervlakte van de drainageopeningen of verbrede voegen bedraagt minstens 10 % van de bestrate oppervlakte die de waterdoorlatende betonstraatsteen inneemt. Voor de overige kenmerken (sterkte, dikte, toleranties,...) gelden de eisen die aan klassieke betonstraatstenen worden gesteld.

3.5.1.2 Poreuze betonstraatstenen

Voor poreuze betonstraatstenen gelden een speciale eis aan de splijttreksterkte en een bijkomende eis aan de waterdoorlatendheid:

- karakteristieke splijttreksterkte $\geq 2,5$ MPa;
- individuele waterdoorlatendheid $\geq 2,7 \times 10^{-5}$ m/s
- gemiddelde waterdoorlatendheid $\geq 5,4 \times 10^{-5}$ m/s.

Hoofdstuk 4

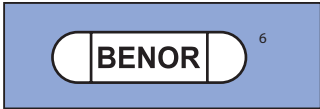
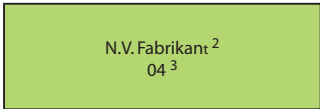
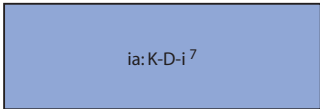
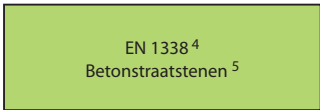
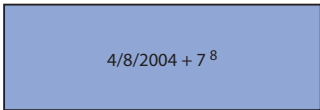
Uitvoering van een verharding van betonstraatstenen

4.1 Keuring en conformiteitscontrole van geleverde materialen

Om onnodige discussies met de leverancier van de materialen te vermijden, dient bij levering te worden gecontroleerd of het geleverde met de bestelling overeenstemt. Een bijzonder aandachtspunt daarbij is de overeenstemming van de materialen met de vermeldingen op de bestelbon en de identificatie op de pakken:

- juiste afmetingen;
- kleur;
- afwerking;
- juiste hulpstukken aanwezig;
- zijn de producten gecertificeerd?;
- uiterlijk;
- geleverde hoeveelheid.

De leveringsbon is meestal zeer duidelijk en is voor elke fabrikant van betonstraatstenen op een andere manier opgevat. De identificatie op de pakken is echter meer uniform, omdat de NBN EN 1338 hiervoor verplichtingen heeft opgelegd. Hierna volgt een voorbeeld van een dergelijke aanduiding. De vorm kan verschillen, maar de inhoud dient ten minste de onderstaande gegevens te bevatten.

		1 reglementair CE-logo
		2 naam (of identificatiemerk) en adres productiezetel van de fabrikant
		3 jaar waarin markering voor het eerst werd aangebracht
		4 verwijzing naar de Europese norm
		5 productnaam
		6 BENOR-logo met aanduiding van productnummer en identificatienummer
		7 Codes toepassingscategorie en bijhorende klassen
		8 Productiedatum en controleouderdom in dagen, dit is de ouderdom waarop de fabrikant de straatstenen conform, en dus geschikt voor gebruik, verklaart

Opmerkingen:

- de door de fabrikant verklaarde prestaties van de geharmoniseerde kenmerken moeten op het product zelf, op de verpakking OF op de begeleidende documenten weergegeven staan, bij gebruik in een gebouw is de fabrikant verplicht een bijkomende verklaring te doen omtrent specifieke kenmerken van het product waaronder asbestemissie en brandreactie
- de fabrikant mag op zijn product aanvullende informatie verstrekken.

Vooraleer de producten verwerkt worden, dient de toestand ervan te worden nagegaan:

- vrij van bramen;
- vrij van afbrokkelingen;
- vrij van uitstulpingen;
- maatvastheid als de producten niet "gebenoriseerd" zijn;
- gelijkmatigheid van kleur;
- afwerking;
- verenigbaarheid met de bijgeleverde hulpstukken.

Als er tijdens de verwerking gebreken opduiken, dient men onmiddellijk de fabrikant op de hoogte te brengen, zodat tijdig en gepast kan worden ingegrepen.

4.2 Baanbed

Voordat een geotextiel of de onderfundering wordt aangebracht, moet elke oneffenheid van het baanbed worden uitgevlakt en opnieuw worden verdicht. Een statische wals verdient daarbij de voorkeur boven een trilwals, om mogelijk oprillen van water te voorkomen.

De draagkracht van het baanbed wordt bepaald uit een plaatbelastingsproef, waarbij de samendrukbaarheidsmodulus ten minste gelijk moet zijn aan 17 MPa. Zo niet dient de aanwezige grond te worden verbeterd of vervangen.

4.3 Onderfundering



Figuur 4.1

Afhankelijk van de dikte van de onderfundering kunnen de materialen in één of meer lagen worden aangebracht. De maximumdikte per laag is 30 cm.

De verdichting moet leiden tot een draagkracht van ten minste 35 MPa, gemeten volgens de plaatbelastingsproef. Bij een onderfundering van zand wordt deze proef met een plaat van 750 cm² uitgevoerd. In de overige gevallen wordt een plaat van 200 cm² gebruikt.

4.4 Kantopsluiting en randafwerking

4.4.1 Bepaling van de breedte van de weg naargelang van de geleverde betonstraatstenen

Het spreekt vanzelf dat vóór de aanbrenging van de kantopsluiting moet worden vastgelegd hoe breed het te verharde oppervlak moet worden.

Dit is afhankelijk van de reële afmetingen van de te leggen stenen, waarbij rekening moet worden gehouden met een tolerantie in de maatvoering.

Hierbij dient te worden vermeld dat de NBN B 21-311 een breedteafwijking van ± 2 mm toestaat voor stenen met een dikte < 100 mm en van ± 3 mm voor stenen met een dikte ≥ 100 mm.



Figuur 4.2

Het beste is een paar pakken van de te leggen stenen op te vragen en enkele rijen vooraf uit te leggen, om de minimumbreedte van de weg te bepalen. Zo kan het zaag- en paswerk tijdens het straten veel worden verminderd. Het is beter de breedte niet te nauw te nemen, omdat uitvoeren met een iets bredere voeg (maximaal 3 mm) beter is dan pas- en zaagwerk.

De fundering van de kantstrook wordt aangezet op het niveau van de onderfundering van de weg of lager. De kantopsluitingen zelf worden vóór de fundering en de straatlaag aangebracht.

De bestrating en de fundering langs een kantopsluiting mogen pas worden verdicht wanneer de kantopsluitingen voldoende sterkte hebben. Deze sterkte is afhankelijk van:

- de uithardingstijd van de ter plaatse gestorte kantopsluiting;
- de uithardingstijd van de stut en fundering (schraal beton, zandcement) van de prefab kantopsluiting.

In normale weersomstandigheden duurt de uitharding meestal twee tot drie dagen. Vooral bij ter plaatse gestorte kantopsluitingen is deze wachttijd van belang.



Figuur 4.3 Splintervrije kopse zijde van kantopsluiting

Om beschadigingen van de kopse zijde van de kantopsluiting te voorkomen dienen zij steeds te worden geplaatst met een voeg van 3 tot 6 mm. De meeste geprefabriceerde boordstenen zijn tegenwoordig reeds voorzien van een splintervrije kopse zijde om randbeschadiging te vermijden.

4.4.2 Aanbrenging van een stut achter de kantopsluiting

Het is van groot belang dat de kantopsluiting niet alleen gefundeerd, maar achteraan ook voorzien wordt van een goed verdichte stut van schraal beton.



Figuur 4.4

4.5 Fundering

Het materiaal moet worden verwerkt bij het optimale watergehalte, vastgesteld met een versterkte proctorproef.

De beste resultaten voor het spreiden van het materiaal worden bereikt met een finisher. Hiermee worden een constante dikte, een homogeen mengsel zonder ontmenging en een goede verdichting en vlakheid verkregen.



Figuur 4.5 Meten van oneffenheden met behulp van regel van 3 m

In eerste instantie wordt de fundering met trillend materieel verdicht. Deze dynamische verdichting zorgt voor een eerste, efficiënte verdichting over de volledige diepte. Het aantal overgangen hangt van het type van trilmachine en het type van fundering af. Eventueel dient dit aantal vooraf te worden bepaald op een proefvak. Bij steenslag zal het afwerken veelal statisch zijn, bijvoorbeeld met een bandenwals.

Bij structuren met betonstraatstenen is het van zeer groot belang dat het oppervlak van de fundering volkomen evenwijdig loopt met het profiel van de toekomstige weg. Dit leidt tot een constante dikte van de straatlaag. Om dit te bereiken, is het raadzaam de fundering met enige extra dikte uit te voeren, waarna een perfecte eindnivellering en

een laatste verdichting het gewenste resultaat geven. Door deze techniek toe te passen, wordt vermeden dat de fundering na de laatste verdichting nog moet worden opgehoogd om tot het voorgeschreven profiel te komen.

Oneffenheden in de fundering, gemeten met een rij van 3 m, mogen nergens groter zijn dan 10 mm. Vooraleer de straatlaag wordt aangebracht, moeten eventuele oneffenheden worden bijgewerkt met microbeton voor gebonden en aangepast fijn materiaal voor ongebonden funderingen.

Voor cementgebonden materialen dienen alle handelingen binnen twee uren na aanmaak van het mengsel plaats te vinden, voordat het mengsel begint te verharderen.

Als de fundering in schraal beton of walsbeton wordt uitgevoerd, dient zij met tussenafstanden van ten hoogste 5 m van een krimpvoeg te worden voorzien door over één derde van de dikte in te zagen.

De controles op de fundering betreffen in hoofdzaak de vlakheid, de naleving van de niveaus, de dikte, de draagkracht (plaatbelastingstoeff, $M_1 > 110 \text{ MPa}$) en/of de drukweerstand.

Als een bestrating van gevel tot gevel wordt aangebracht zonder een kantopsluiting toe te passen, dient tussen de fundering en de gevel een isolatievoeg te worden gemaakt.

4.6 Spreiden, profileren en verdichten van de straatlaag

Plassen, onzuiverheden op de fundering en te grote oneffenheden moeten vooraf worden verwijderd.

Als de weersomstandigheden het vereisen, dienen maatregelen te worden genomen om de straatlaag te beschermen (bijvoorbeeld afdekken of een bindingsvertrager toevoegen).



Figuur 4.6 Profileren van straatlaag met behulp van stellatten

De straatlaag dient overal gelijkmatig te worden uitgespreid. Rechtstreeks uit een vrachtwagen storten is af te raden, om ongelijke verdichting te vermijden.

De laag wordt zo geprofileerd, dat zij na verdichting overal een gelijkmatige dikte van ongeveer 3 tot 4 cm vertoont. Een te dikke straatlaag is dikwijls de oorzaak van spoorvorming in zwaar belaste verhardingen. Het profiel is hetzelfde als dat van de uiteindelijke verharding.

Voor het profileren van de straatlaag kan gebruik worden gemaakt van stellatten die stevig zijn vastgezet, of van een stalen lat die op de kantopsluiting wordt gelegd.

De straatlaag mag NIET worden verdicht voordat de betonstraatstenen zijn gelegd en de voegvulling is aangebracht. De verdichting vindt pas bij het afrillen van de verharding plaats (§ 4.11).

Houd er rekening mee dat de afgetrilde verharding 5 mm hoger moet liggen dan de kantopsluiting. Zo kunnen zich geen plassen tussen kantopsluiting en betonstraatstenen vormen.

De geprofileerde straatlaag mag niet meer betreden of beroerd worden. Wanneer stellatten worden weggenomen, moeten de gemaakte uitsparingen degelijk worden opgevuld.

Bij een straatlaag van zandcement (verkeerscategorie IV) gelden de volgende extra aandachtspunten:

- het zandcement dient aardvochtig te worden verwerkt;
- de stenen moeten worden gelegd en verdicht voordat het zandcement begint te binden;
- bij gevaar voor vorst binnen de eerste vierentwintig uren mag geen zandcement worden aangebracht.

Als zowel de fundering als de straatlaag in zandcement worden uitgevoerd, wordt eerst de fundering verdicht en dan pas de straatlaag aangebracht.

4.7 Leggen van de stenen

4.7.1 Legvolgorde naargelang van het legverband

Normaal wordt aan de randen gestart en loodrecht op de wegas vooruitgewerkt. Bij bepaalde verbanden, bijvoorbeeld bij een elleboog-, visgraat- en keperverband, is het echter aan te raden schuin voorwaarts te vorderen, om het verband beter aan te houden.

4.7.2 Mengen van stenen uit verschillende pakken

Om eventuele kleurverschillen tussen naast elkaar liggende betonstraatstenen te vermijden, is het raadzaam de stenen uit verschillende pakken te nemen en bij het straten te mengen.

Omdat elke laag in een pak stenen in de regel van dezelfde productie afkomstig is, is het beter de stenen van boven naar beneden uit de pakken te nemen; ook dit geeft een betere menging.

4.7.3 Leggen van betonstraatstenen (click-en-dropmethode)

Te verwerken stenen worden op eerder aangebrachte stenen gelegd, zodat de straatlaag niet beroerd wordt. De richting waaruit het leggen aangevat wordt, dient zorgvuldig te worden gekozen naargelang van:

- de levering van de pakken stenen;
- de verwachte openstelling voor het verkeer;
- de dwarse aansluitingen met andere wegen.



Figuur 4.7

De click-en-dropmethode bestaat erin, dat de steen met een verticale schuifbeweging op zijn plaats wordt gebracht. Dit wordt bekomen door elke steen lichtjes tegen de reeds geplaatste stenen te brengen en vervolgens de steen naar beneden te laten glijden om hem in zijn eindpositie te brengen. Het is niet de bedoeling dat de stenen hard tegen elkaar worden geslagen. Dit kan immers schade tot gevolg hebben.

Deze methode heeft de volgende voordelen:

- er ontstaat automatisch een voegje van 1 tot 2 mm;
- het verband wordt gemakkelijker aangehouden;
- er komt geen materiaal van de straatlaag tussen de stenen;
- de vorige gelegde rij blijft onaangeroerd, zodat de rechtlijnigheid van de voegen beter wordt aangehouden;
- kleine lengte- en breedteafwijkingen van de stenen worden beter opgevangen.

4.7.4 Rechtlijnigheid van de voegen tijdens het straten

Regelmatig (om de 3 m) wordt met een touw de rechtlijnigheid van de voegen gecontroleerd, zowel in de lengte- als in de dwarsrichting.

Bij straten in een visgraat- of een keperverband dient de hoek van 45° regelmatig te worden nagemeten, bij voorbeeld met een touw of een zweihak.



Figuur 4.8

4.7.5 Prefab hulpstukken

Een halfsteens- of een elleboogverband kan aan de randen worden afgewerkt met geprefabriceerde hulpstukken. Om bestratingen in keper- of in visgraatverband aan de randen af te werken, zijn diverse prefab hulpstukken beschikbaar, zoals kardinaals- of bisschopsmutsen.

4.7.6 Zagen van passtenen



Hoewel zoveel mogelijk te mijden, dienen bij straatwerk met kleinschalige elementen soms passtukken te worden gemaakt. De stenen worden daartoe op maat gezaagd met een met water gekoeld zaagblad. Het zagen gebeurt slechts aan één zijde van de weg.

Het is zeer belangrijk passtukken te gebruiken die niet kleiner zijn dan een halve steen.

Figuur 4.9

4.7.7 Machinale aanbrenging van betonstraatstenen

Het doel van machinaal bestraten is enerzijds het zware handwerk te verlichten en anderzijds, bij grote oppervlakken, het rendement van het straatwerk te verhogen.

4.7.7.1 Voor- en nadelen van machinaal straatwerk

4.7.7.1.1 Voordelen

- De fysieke belasting voor de arbeiders is lager.
- Het geleverde werk heeft een hoge mate van constantheid en maatvastheid.
- Het tempo van uitvoering ligt hoger, wat een snellere oplevering en vroegere ingebruikneming mogelijk maakt en zo de hinder voor omwonenden en verkeer beperkt.
- De techniek kan voor grote projecten (bedrijfsterreinen, pleinen, containerterminals,..) worden toegepast.
- Er is minder vakmanschap vereist.

4.7.7.1.2 Nadelen

- De machines zijn duur en de extra transportkosten zijn hoog, waardoor het materieel enkel rendabel wordt bij voldoende werkuren per jaar.
- De methode is niet overal toepasbaar. Ze is ongeschikt voor kleinschalig of ingewikkeld werk. Zo is een combinatie van machinaal en handwerk zoals bijvoorbeeld een randafwerking, bochtenwerk,... heel moeilijk te realiseren.
- De arbeiders in een ploeg moeten goed op elkaar ingespeeld zijn. Dit is bepalend voor werksnelheid, efficiëntie en veiligheid.
- De organisatie, logistiek en voorbereiding van de werkzaamheden stellen hogere eisen.
- Er wordt altijd met machines over pas gelegde stenen gereden, vóór het opvoegen en aftrillen. Dit leidt mogelijk tot zettingen van de onverdichte straatlaag. Lichte machines op brede banden kunnen dit euvel voorkomen.
- De stenen kunnen slechts per laag worden gemengd. Dit kan leiden tot zichtbare kleurschakeringen in het oppervlak.

4.7.7.2 Verschillen met handmatig straatwerk

Enkele stappen van het bestratingsproces (na de aanbrenging van de fundering en de straatlaag) worden anders uitgevoerd naargelang men voor machinaal of handmatig bestraten opteert. Het gaat om de aanlevering van de pakken met de straatstenen, de verplaatsing op de bouwplaats en het leggen van de stenen.



4.7.7.2.1 Aanlevering van de stenen

De aanvoer van straatstenen moet worden afgestemd op machinaal straten. De pakken straatstenen moeten door de leverancier in het vereiste verband worden aangeleverd. De fabrikant dient dus al bij het fabricageproces het voorgeschreven legverband te kennen. Belangrijk is ook dat de leverancier de stenen vlak naast de te bestraten zone kan plaatsen, om het beoogde rendement te behalen.



4.7.7.2.2 Verplaatsing op de bouwplaats en leggen van de stenen

Voor het verplaatsen en leggen van de straatstenen wordt een bestratingsmachine gebruikt. Dit is een aangepaste minilader of een kraan waarop een klem wordt gemonteerd, die het mogelijk maakt één laag stenen in verband uit het pakket te nemen en neer te leggen.

Van belang is dat de bestratingsmachine zo licht mogelijk is, brede luchtbanden heeft en zeer wendbaar is. Een kraan heeft een grotere reikwijdte, maar is minder precies bij het neerleggen en ook minder mobiel.



De klemtechnieken die worden gebruikt, zijn hydraulisch of met vacuüm gestuurde opheftoestellen.

Vacuüm wordt veel bij grotere formaten gebruikt voor het oppakken, verplaatsen en het leggen van de straatstenen (in één beweging). De zuignappen komen op elk element, waarna de vacuümpomp de elementen als het ware opzuigt en op de gewenste plaats legt.



Bij een hydraulisch systeem worden de elementen zijdelings geklemd, per aangeleverde laag.

In beide systemen worden de verbanden na het leggen handmatig vervolledigd door enkele stenen, de zogenaamde sluitstenen, toe te voegen.

Figuur 4.10 Machinaal straten

4.8 Terugplaatsen van verwijderde merkstenen en merktegels

Eventuele verwijderde merkstenen of merktegels (hoogtepeilen, aanduidingen van nutsleidingen, ...) moeten met veel aandacht en zeer nauwkeurig op hun originele plaats worden teruggeplaatst.

4.9 Uitzettingsvoegen in de bestrating



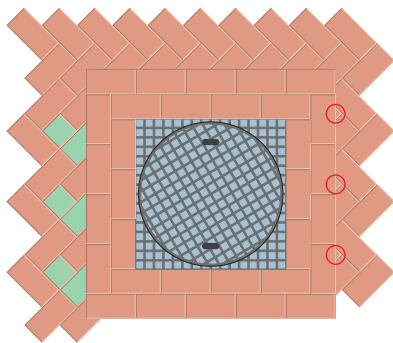
Figuur 4.11

De voegen tussen de straatstenen volstaan op zichzelf niet om de uitzettingen tijdens een warme periode op te vangen, doordat het voegvullingsmateriaal niet samendrukbaar is. Daarom moet ten minste om de 30 m een uitzettingsvoeg worden voorzien, zeker als de bestrating in een winterse periode wordt aangebracht.

Ook voor en na bochten dienen uitzettingsvoegen te worden aangebracht.

Als in een cementgebonden fundering een voeg is gemaakt, moet zij samenvallen met een voeg in de bestrating. Ter plaatse van de marking aan de uitzettingsvoeg in de fundering wordt een voegplank tussen de straatstenen gezet, tot op 3 cm van het oppervlak. Deze opening wordt elastisch opgevoegd nadat de stenen zijn afgetrild en de voeg gereinigd is.

4.10 Afwerking rond singuliere punten en aan de rand in de verharding



Figuur 4.12 Randafwerking aan de singuliere punten



Figuur 4.13a Slechte uitvoering bij bocht (met te kleine stukken)



Figuur 4.13b Goede uitvoering bij bocht (met passtukken groter dan halve steen)

Aan de afwerking rond singuliere punten en in bochten dient de nodige aandacht te worden besteed. Meestal zijn net deze details bepalend voor slagen of falen van de verharding. Door geen stenen kleiner dan een halve steen te gebruiken worden al veel problemen opgelost.

Openingen kleiner dan 3 cm worden over de hele diepte van de bestrating opgevuld met een microbeton van dezelfde kleur als de straatstenen.

4.11 Opvoegen en afrillen van de betonsteenbestrating



Nadat de volledige bestrating (met inbegrip van de randafwerking) is aangebracht, worden de voegen voor een eerste maal ingeveegd. Na dit invegen mag er geen dikke zandlaag of mogen er geen steentjes op het oppervlak achterblijven. Vervolgens worden de stenen met een trilplaat vastgezet, waarbij ook de straatlaag verdicht wordt.



Er wordt met een halve trilplaatbreedte overlapt. De gebruikte trilplaat moet onderaan bekleed zijn met rubber of kunststof, om de stenen niet te beschadigen. De trilplaat wordt zo dicht mogelijk tegen de randen van de verharding gestuurd, zoals de kantopsluiting.

Het gewicht van de trilplaat moet worden afgestemd op de soort van stenen:

- voor een dikte van 6 cm: een gewicht van 130 kg en een centrifugale kracht van 18 tot 20 kN;
- voor een dikte van 8 cm: een gewicht van 130 kg en een centrifugale kracht van 30 tot 60 kN;
- voor een dikte van 10 cm en meer: een gewicht van 200 tot 600 kg en een centrifugale kracht tot 30 kN.



Als de betonstraatstenen in verscheidene fasen (bijvoorbeeld op verschillende dagen) worden aangebracht, moet de verdichting steeds tot 1 m van het einde van het werkvak worden uitgevoerd in het geval een niet cementgebonden straatlaag gebruikt wordt.

Tijdens het afrillen worden beschadigde stenen vervangen en worden afwijkingen van het profiel, onvlakheden van het oppervlak en hoogteverschillen tussen aanliggende stenen gecorrigeerd als ze onaanvaardbaar blijken:

- de vlakheid wordt nagemeten met een rij van 3 m. Onvlakheden > 5 mm moeten worden weggewerkt;
- hoogteverschillen tussen aanliggende stenen mogen niet meer dan 2 mm bedragen. Dit geldt zeker voor stenen met een kleine of geen velling. Onder scherend licht zal de geringste ongelijkheid immers opvallen.



Het opvoegen en afrillen worden herhaald totdat de stenen volledig vastzitten en dus horizontale bewegingen kunnen opvangen.

Na deze bewerkingen wordt de bestrating afgestrooid met een laagje fijn zand.

Als de voegen met een cementgebonden materiaal zijn gevuld, is het bij droog en warm weer aangewezen het oppervlak van de stenen enkele dagen vochtig te houden.

Enkele weken na de uitvoering moeten de eventuele slecht gevulde voegen nogmaals worden gevuld.

Figuur 4.14

Figuur 4.15

Hoofdstuk 5

Onderhoud

Verhardingen met betonstraatstenen moeten gecontroleerd en onderhouden worden. Dit dient op een eenvoudige, efficiënte manier en met zo weinig mogelijk hinder te gebeuren.

Er dient op het volgende te worden gelet:

- toegankelijkheid voor de buurtbewoners;
- milieuvriendelijkheid;
- mogelijkheid van machinale uitvoering;
- beperking van de geluidshinder;
- gefaseerde uitvoering;
- stofvrije uitvoering;
- de betonstenen en de voegvulling mogen niet worden beschadigd.

5.1 Controle en hervullen van voegen

Kort na de ingebruikneming is het noodzakelijk de voegen te controleren.

Diverse omstandigheden kunnen materiaal uit de voegen doen verdwijnen, zoals:

- extreme neerslag;
- extreme wind;
- verkeerd reinigen en opzuigen van voegmateriaal;
- "air pumping"-effect in de rijsporen van de banden van voertuigen.

In al deze gevallen dienen de voegen hervuld, ingeveegd of indien mogelijk ingewaterd te worden.

Als er zich reeds verzakkingen hebben voorgedaan, moeten de stenen worden uitgenomen, moet de straatlaag worden vervangen en moeten de stenen worden herlegd en afgetrild. Deze herstelling zal enkel duurzaam zijn als de verzakking zich in de straatlaag heeft voorgedaan en niet in de fundering. In het laatste geval moet een meer uitgebreide herstelling doorgevoerd worden.

Het is niet eenvoudig een herlegde steen weer perfect te doen aansluiten op een niet-beschadigd gedeelte van de bestrating.

5.2 Reinigen

5.2.1 Vegen

Er kan machinaal of handmatig worden geveegd.

Machines die vegen en tegelijk het vuil opzuigen, zijn stellig af te raden – zeker in de eerste maanden na de aanbrenging van de bestrating, omdat ze voegmateriaal uitvegen en opzuigen.

5.2.2 Reinigen met water onder hoge druk of met warm water

Ook hier bestaat een reëel gevaar dat de voegen beschadigd worden.

Als met een te hoge druk wordt gereinigd, is er kans dat de toplaag van de stenen beschadigd wordt. Hierdoor kan de kleur veranderen en het oppervlak poreuzer worden, met vluggere mosvorming en vervuiling tot gevolg.

Uiterlijk van de stenen	Vervuiling bij normaal gebruik	Toevallige vlekken
Gewone, onbehandelde stenen	3-4-5-7	1-2-3-6-(5)
Geslepen stenen	3-4-7	1-2-3-7
Gezandstraald, gebouchardeerd, getrommeld, gehamerd,...	3-4-5	1-2-3-7-(5)
Uitgewassen stenen	2-3-4	1-2-3-6-(5)

Tabel 5.1 Enkele aanbevelingen voor het reinigen van betonstraatstenen

- 1 Met water onder normale druk
- 2 Met water onder hoge druk
- 3 Met water onder hoge druk, gecombineerd met schoonmaakmiddelen
- 4 Afstomen
- 5 Nat zandstralen
- 6 Scheikundig reinigen (zie de tabel 5.2)
- 7 Afslijpen

5.2.3 Afstomen



Figuur 5.1

Afstomen is een goed systeem, op voorwaarde dat de stenen met geringe druk worden behandeld.

Ook hier is er kans dat de toplaag van de stenen beschadigd wordt, waardoor de kleur kan veranderen en de bovenlaag mogelijk poreuzer wordt.

5.2.4 Verwijderen van vlekken

Eerst dienen de vlekken grondig te worden onderzocht.

Eenmaal de oorsprong van de vlekken ingeschat, kan een proef worden opgezet met toe te passen producten of methoden.

Veel scheikundige producten tasten beton aan (zuren) of verontreinigen het milieu (solventen).

Vooraf grondig bevochtigen en achteraf zorgvuldig afspoelen zijn vereist.

Het spreekt vanzelf dat de vlekken zo vlug mogelijk moeten worden behandeld, om indringen te verhinderen.

Tabel 5.2 geeft een overzicht.

Soort vlek	Voorbehandeling	Te gebruiken producten	Behandeling
Micro-organismen	Bevochtigen	Chloorwater (javel) 5 %	Oppervlak behandelen en enkele minuten laten inwerken. Eventueel schrobben. Vervolgens overvloedig spoelen.
Uitbloeiingen	Bevochtigen	Zoutzuur 5 % à 10 % (* - **)	Oppervlak behandelen en schrobben met nylon borstel. Onmiddellijk grondig afspoelen
Roest	Bevochtigen	Oxaalzuur 5 % (* - ** - ***) Fosforzuur 10 % (* - **)	Oppervlak behandelen en schrobben met nylon borstel. Onmiddellijk grondig afspoelen. Bij oude of hardnekkige vlekken kan men het product vermengen met talk, laten opdrogen en afvegen.
Minerale of synthetische oliën	Zoveel mogelijk opnemen met een doek	Benzeen (****) of trichloorethyleen (***) of warme bijtende soda (**)	Oppervlak behandelen en afspoelen. Bij oude of hardnekkige vlekken kan men het product vermengen met talk, laten opdrogen en afvegen.
Verf	Zoveel mogelijk opnemen met een doek	Naargelang van de verfsoort een oplosmiddel of, bij oude verf, een afbijtmiddel (** - ***)	Oppervlak behandelen en opnemen. Grondig naspoelen.
Plantaardige oliën	Zoveel mogelijk opnemen met een doek	Zeepoplossing of Na_3PO_4	Oppervlak behandelen en opnemen. Grondig naspoelen.
Asfalt of bitumen	Afschrappen	Benzeen (****) of warme bijtende soda (**)	Oppervlak behandelen en opnemen. Bij oude of hardnekkige vlekken kan men het product vermengen met talk, laten opdrogen en afvegen.
Vetten	Afschrappen	Zeepoplossing of bijtende soda (**)	Oppervlak behandelen en opnemen. Bij oude of hardnekkige vlekken kan men het product vermengen met talk, laten opdrogen en afvegen.
Kauwgum	Afkoelen en afschrappen	Chloroform of Koolstoftetrachloride (***)	Oppervlak behandelen. Bij oude of hardnekkige vlekken kan men het product vermengen met talk, laten opdrogen en afvegen.

Tabel 5.2 Overzicht van producten en behandelingen om diverse vlekken uit betonstraatstenen te verwijderen

- * Product dat beton aantast
- ** Corrosief product
- *** Giftig product
- **** Licht ontvlambaar product

5.3 Mos, algen en zwammen

Hoe poreuzer het oppervlak, hoe vlugger het vuil wordt door micro-organismen.

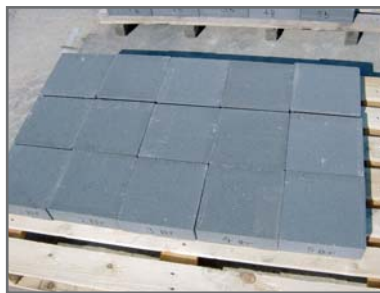
Ook de ligging is niet onbelangrijk. Als de verharding steeds in de schaduw ligt, zal dergelijke vervuiling zich gemakkelijker voordoen.

5.4 Kalkuitslag op beton

5.4.1 Wat is kalkuitslag?

Kalkuitslag is een natuurlijk proces dat zich bij alle betonproducten en cementgebonden materialen kan voordoen. Het is vergelijkbaar met de uitslag op metselwerk.

Door bepaalde klimatologische omstandigheden kan zowel tijdens als na het productieproces een grijswitte kalkuitslag aan het oppervlak van betonproducten optreden. Dit is een natuurlijke eigenschap van cementgebonden materialen.



Figuur 5.2a Oppervlak zonder kalkuitslag
Figuur 5.2b Oppervlak met kalkuitslag

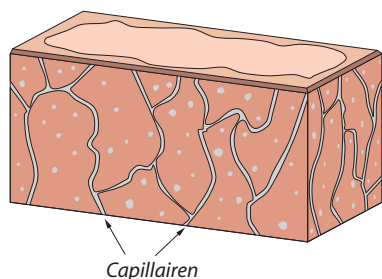
Cement reageert chemisch met water, waarbij “vrije” kalk wordt gevormd. Deze vrije kalk vertoont zich als een witte waas op het betonoppervlak. De kwaliteit van het betonproduct wordt hierdoor niet aangetast, en onder invloed van diezelfde klimatologische omstandigheden en dagelijks gebruik van de bestrating zal deze kalkuitslag na verloop van tijd vervagen en uiteindelijk verdwijnen.

Het verschijnsel is vooral goed merkbaar op gekleurde stenen en tegels, zeker bij donkere kleuren.

Soms uit de kalkuitslag zich in een mildere vorm en is slechts een witte schijn te zien, of een klein kleurverschil tussen de stenen die kalkuitbloei vertonen en de andere stenen.

Deze witte kalkuitslag is zeer goed waar te nemen op een droge steen. Op een nat oppervlak (bijvoorbeeld na een regenbui) neemt de steen zijn originele intense kleur terug aan. Dit wijst op de aanwezigheid van kalkuitslag, aangezien deze op een nat oppervlak niet of veel minder goed is waar te nemen.

5.4.2 Hoe ontstaat kalkuitslag?



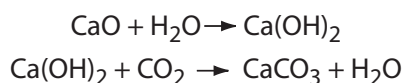
Figuur 5.3

Een van de hoofdbestanddelen van betonstraatstenen is cement en een belangrijk bestanddeel van cement is kalk. In verhard beton is deze kalk aanwezig als calciumoxide (CaO).

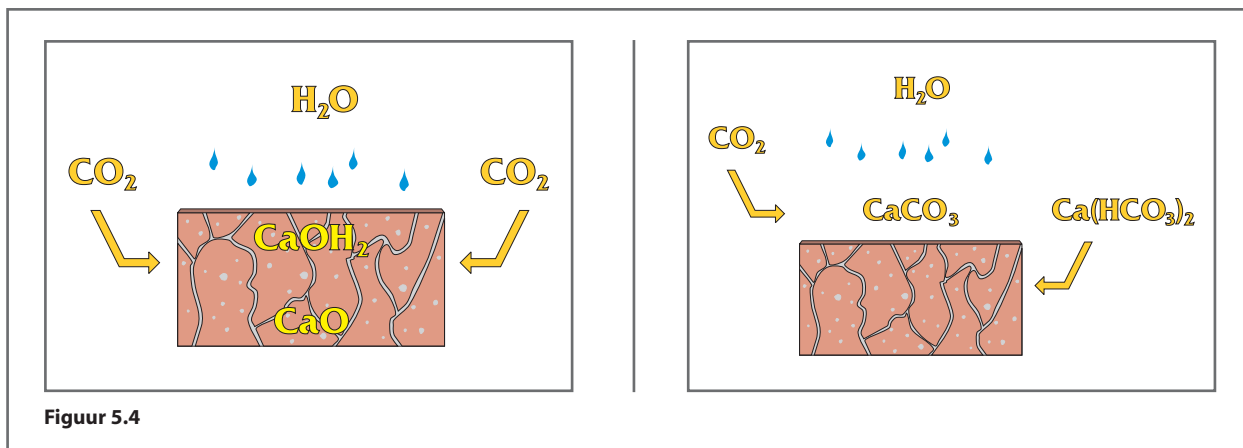
Tijdens het productieproces wordt de betonstraatsteen zeer goed verdicht, maar microscopisch bevat de steen een dicht net van uiterst kleine kanalen – capillairen – die van binnen in de steen naar de oppervlakte lopen. Het aanmaakwater van het beton, regen, grondwater en de vocht uit de lucht vullen deze kanaaltjes. Het aanwezige calciumoxide lost op in dit water (H₂O) en vormt calciumhydroxide (Ca(OH)₂). Dit calciumhydroxide is eveneens goed in water oplosbaar. Aan de oppervlakte van de steen reageert het met koolstofdioxide (CO₂) uit de lucht, waardoor calciumcarbonaat (CaCO₃) wordt gevormd.

Dit calciumcarbonaat (CaCO₃) is niet in water oplosbaar en vormt witte kristallen op het steenoppervlak: de kalkuitslag.

Bij nat weer kan overvloedig water ervoor zorgen dat de calciumcarbonaatkristallen (CaCO₃) transparant worden: dit wekt de illusie dat de kalkuitslag verdwenen is.



Het gevormde calciumcarbonaat (CaCO₃) reageert verder – maar dat is een vrij langzaam proces – met koolstofdioxide (CO₂) en water (H₂O) tot calciumbicarbonaat (Ca(HCO₃)₂).



Figuur 5.4

5.4.3 Hoe verdwijnt kalkuitslag?

Calciumbicarbonaat ($Ca(HCO_3)_2$) is oplosbaar in water en wordt dus gewoon weggespoeld bij de eerste regenbui. Maar, zoals gezegd, de vorming van calciumbicarbonaat ($Ca(HCO_3)_2$) is een vrij langzaam proces, dat afhankelijk is van heel wat externe factoren. Het duurt dus soms lang tot al het calciumcarbonaat ($CaCO_3$) in calciumbicarbonaat ($Ca(HCO_3)_2$) is omgezet.

Gelukkig zijn er andere factoren die ook meespelen om kalkuitslag te doen verdwijnen.

Calciumcarbonaatkristallen ($CaCO_3$) zijn weliswaar niet oplosbaar, maar worden net als zand en vervuiling door de regen weggewassen. Andere weersinvloeden zoals wind, hagel en sneeuw kunnen dit proces bespoedigen. Zure regen helpt de kristallen op te lossen.

5.4.4 Verschil tussen cementsoorten

Bij de reactie van hoogovencement (CEM III) of portlandvliegascement (CEM II) met water wordt veel minder vrije kalk gevormd dan bij de reactie met portlandcement. Dit komt door het verschil in samenstelling.

Vrije kalk is de boosdoener bij kalkuitslag. Uit onderzoek is echter gebleken dat de mate van kalkuitbloei voor de verschillende cementsoorten niet veel verschilt. De reden is dat er maar weinig vrije kalk nodig is om in het poriënwater tot een verzadigde kalkoplossing te komen. De gevormde hoeveelheid vrije kalk is bij alle gangbare cementsoorten ruim voldoende om kalkuitslag te veroorzaken.

Aangezien kalkuitslag een witte kleur heeft, valt hij meer op naarmate het contrast met de ondergrond groter is. Zo is er bijvoorbeeld verschil tussen beton met portland- en met hoogovencement. Beton met hoogovencement is over het algemeen (veel) lichter van kleur dan beton met portlandcement. Kalkuitslag op hoogovencementbeton wordt dan ook minder opgemerkt, terwijl hij op gekleurd beton of portlandcementbeton vaak als hinderlijk wordt ervaren.

5.4.5 Kan het proces versneld worden?

In de regel zal de kalkuitbloei geleidelijk verdwijnen in een periode van zes maanden tot een jaar. Als de stenen van de regen worden afgeschermd, zal dat iets langer duren.

Men kan dit natuurlijke proces van verdwijnen van kalkuitslag versnellen.

Afspuiten met een hogedrukreiniger of machinaal verwijderen met een stalen rolborstel wordt niet aanbevolen, omdat dit de voegvulling kan verwijderen of de betonstraatsteen kan aantasten. Dit kan gevolgen hebben voor de stabiliteit en het uiterlijk van bestratingen.

Wie onmiddellijk resultaat wil, kan gebruikmaken van speciale producten die op de markt voorhanden zijn om kalkuitslag te verwijderen. Deze producten zijn meestal op basis van een licht zuur en hiermee wordt het oppervlak van het beton licht uitgewassen. Men kan eventueel zelf een oplossing maken van verdund zoutzuur (HCl)

(één deel zoutzuur + vijf delen water) om een gelijksoortig resultaat te verkrijgen. Volg steeds de veiligheidsvoorschriften van de fabrikant (bescherm huid en ogen!). Omdat zoutzuur cementbeton licht aantast, moet het te behandelen oppervlak tevoren volledig met water worden verzadigd, opdat het zuur niet te diep in de poriën dringt.

Na een dergelijke behandeling moet grondig worden afgespoeld met zuiver water, waarbij de restproducten niet in aanraking mogen komen met planten en gazon.

Dit naspoelen is noodzakelijk omdat uit de reactie van het zuur met de kalk calciumchloride ontstaat. Dit zout trekt veel water aan en zorgt er in normale omstandigheden voor dat het oppervlak vochtig blijft. Bij zeer droog weer blijft het echter achter als een witte neerslag. Bovendien is zoutzuur schadelijk voor het milieu.

Omdat hier sprake is van een agressievere aanpak, verdient het aanbeveling deze werkwijze eerst op een kleine oppervlakte uit te testen en het resultaat te evalueren alvorens de hele bestrating te behandelen.

Omdat kalkuitslag verwijderen niet eenvoudig is, is het raadzaam het natuurlijke proces af te wachten en in eerste instantie niets te ondernemen. Vaak zal blijken dat het betonoppervlak er na verloop van tijd steeds gelijkmatiger gaat uitzien.

Hoe kalkuitslag ook te lijf wordt gegaan, de behandeling is zelden voor 100 % effectief en kan mogelijk leiden tot een ergere visuele afwijking.

Hoofdstuk 6

Opnemen en herleggen van betonstraatstenen (na aanbrenging van nutsleidingen)

Een veel voorkomend probleem bij straatstenen is het lokaal opbreken van de verharding, bijvoorbeeld voor het plaatsen van nutsleidingen. Vaak wordt weinig aandacht besteed aan het herplaatsen van de stenen, met snelle verzakkingen als gevolg. Daarom wordt in dit hoofdstuk dieper ingegaan op de specifieke aandachtspunten bij de herplaatsing van betonstraatstenen na het aanbrengen van sleuven. Deze techniek kan echter ook gebruikt worden bij het uitvoeren van lokale herstellingen op andere plaatsen of onder andere vormen.

Om de beschadiging van de stenen zoveel als mogelijk te vermijden dient bij het uitnemen van de stenen gebruik gemaakt te worden van een speciaal daarvoor ontworpen klem, die na het wegnemen van de voegvulling het opnemen van de stenen mogelijk maakt.



Figuur 6.1

Indien het niet mogelijk is de stenen ongeschonden uit te nemen, zullen een aantal stenen gebroken dienen te worden. Eerst dient natuurlijk een aantal gelijksoortige straatstenen voorzien te worden, van eenzelfde formaat en kleur, om een goede herstelling te bekomen. Eventueel kan ook een gaatje in een steen geboord worden, waarna met behulp van een schroefhuls en een bout de steen kan opgelicht worden.

Het verder uitnemen van de stenen kan mogelijk vereenvoudigd worden door even met een trilplaat over de stenen te rijden zodat ze van elkaar loskomen.

In het geval een sleuf gegraven wordt is het optimaal om twee rijen stenen, breder dan de uit te graven sleuf uit te nemen. De verwijderde stenen worden vervolgens gereinigd en op een veilige plaats gestapeld.



Figuur 6.2 *Afstrijken van straatlaag met speciaal gezaagde balk*

Het is aan te raden om zeker bij cementgebonden funderingen in het geval van regenval een bescherming van het opgebroken deel te voorzien om te vermijden dat te veel water tussen de fundering en de straatlaag indringt.

Nadat de sleuf is uitgegraven en de leiding is aangebracht of nadat de te herstellen zone is blootgelegd, wordt opnieuw een fundering aangebracht met nieuw materiaal, bij voorkeur gelijkaardig aan het bestaande materiaal of eventueel een zandcement of schraal beton. De aanvulling wordt machinaal verdicht, in lagen van ten hoogste 10 cm.

De straatlaag wordt verwijderd over de volledig uitgebroken zone en opnieuw gelegd, gebruik makend van een goede kwaliteit granulaat.

De straatlaag wordt afgestreken met behulp van een afstrijklat, die speciaal voor de toepassing ontworpen wordt. Een overdikte van enkele mm kan voorzien worden om verdere verdichting van de straatlaag in de herstelde zone door het verkeer op te vangen.

De opgeslagen stenen worden teruggeplaatst en ingezand. Vervolgens wordt het geheel afgetrild met een trilplaat en vervolgens nogmaals alles ingezand om een zeer goede voegvulling te bekomen.

Literatuur

Beeldens, A.

Fietspaden: veilig en comfortabel. Beton 200, maart 2009, blz. 42-46.

Brussel: Federatie van de Betonindustrie (FEBE), 2009.

Cimbeton

Aménagements urbains et produits de voirie en béton : conception et réalisation.

Collection technique Cimbeton. [s.l.] : Cimbeton, 1997.

Febelcem

Wegen van cementbeton.

Brussel: Febelcem, 1988.

Febelcem

Betonstraatstenen.

Dossier 6, oktober 1995. Brussel: Febelcem, 1995.

Febelcem

Bestratingen in betonstenen: ontwerp - uitvoering.

Dossier 8, april 1996. Brussel: Febelcem, 1996.

Fonds voor Vakopleiding in de Bouwnijverheid

Bestrating : Vervolmakingscursus voor werkleiders.

Brussel: Fonds voor Vakopleiding in de Bouwnijverheid (FVB), 1984.

Huurman, M. (TU Delft)

Dimensioneringsmethode voor verhardingen van betonstraatstenen.

Studiedag bestratingen, Brussel, november 19, 1996.

Interpave

Structural design of concrete block pavements.

Leicester : Interpave, 2005.

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen.

Dossier 5, 3de trimester 2008. Brussel: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW), 2008.

Schackel, B.

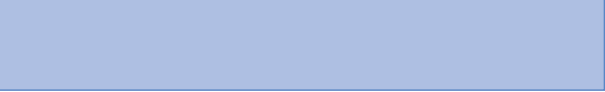
Design and construction of interlocking concrete block pavements.

London : Elsevier, 1990.

Werner, Bartolomaeus, von Becker & [et al.]

Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen : RStO 01.

Köln : Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), 2001.



Lijst van de figuren

Figuur 1.1	Voorbeeld van opbouw van een bestrating	1
Figuur 1.2	Standaardstructuren in functie van de verkeersbelasting	3
Figuur 1.3	Plaatproef	4
Figuur 1.4	Fundering met straatlaag, straatstenen en voegmateriaal	6
Figuur 1.5	Pompeffect	7
Figuur 1.6	Schade ten gevolge van pompeffect	7
Figuur 1.7	Fijn materiaal aan oppervlak ten gevolge van pompen	8
Figuur 1.8	Goede voegvulling voor openstelling voor verkeer	8
Figuur 1.9a	Afvoer van oppervlaktewater via de straatkolk	9
Figuur 1.9b	Afvoer van water dat in de fundering gedrongen is via een drainagebuis	9
Figuur 1.10	Kantopsluiting tussen voetpad en rijbaan	9
Figuur 1.11a	Langsdoorsnede van een overgang tussen verschillende soorten van verhardingen	9
Figuur 1.11b	Langsdoorsnede van een overgang tussen verschillende soorten van verhardingen	9
Figuur 1.12	Boordsteen bij overgang tussen straatstenen en asfaltverharding	10
Figuur 1.13a	Foutieve uitvoering: gezaagde steen tegen de kantopsluiting	10
Figuur 1.13b	Correcte uitvoering met aangeslepen velling	10
Figuur 1.14a	Foute en goede randafwerking	10
Figuur 1.14b	Foute en goede randafwerking	10
Figuur 1.15a	Kantopsluiting bij verkeer van categorie III, II en I	11
Figuur 1.15b	Kantopsluiting bij verkeer van categorie IV	11
Figuur 1.16a	Enkele rij volledige stenen naast een kantopsluiting	11
Figuur 1.16b	Vermijden dat halve stenen direct tegen de rij stenen gelegd worden	11
Figuur 1.17	Afwerking van een elleboogverband in een bocht	11
Figuur 1.18	Gebruik van bisschopsmutsen bij elleboogverband, met en zonder toepassing van halve betonstraatstenen	12
Figuur 1.19	Straatlaag	12
Figuur 1.20a	Afvoer van oppervlaktewater via een straatgoot langs een kantopsluiting (klassieke oplossing)	14
Figuur 1.20b	Afvoer van het oppervlaktewater via een straatgoot	14
Figuur 1.21a	Straatgoot van straatstenen	14
Figuur 1.21b	Geprefabriceerd betonstraatgoot	14
Figuur 1.22a	Streklaag als straatgoot	15
Figuur 1.22b	Rollaag als straatgoot	15
Figuur 1.22c	Streklaag en kantstrook op mortelbed en fundering	15
Figuur 1.23	Standaardformaten	16
Figuur 1.24	Belastingen in functie van de grootte van de straatstenen	16
Figuur 1.25	Aansluiting in bocht in functie van de grootte van de straatstenen	16
Figuur 1.26	Verschillende vormen van profielstenen	17
Figuur 1.27	Werkingsprincipe van profielstenen met steun	17
Figuur 1.28	Dikte van betonstraatstenen	17
Figuur 1.29	Lastoverdracht tussen de stenen	18
Figuur 1.30	Invloed dikte steen op verticale lastoverdracht	18
Figuur 1.31	Lastoverdracht in de voegen in functie van de dikte van de straatsteen	18
Figuur 1.32	Spanningen in de voegen in functie van de vervorming van het oppervlak en de dikte van de straatsteen	18
Figuur 1.33	Mogelijke afstandhouders bij betonstraatstenen door middel van nokken (links) of afstandsvlakken (rechts)	19
Figuur 1.34	Velling	19
Figuur 1.35	Belasting bij het al dan niet aanwezig zijn van vellingen	19
Figuur 1.36	Kardinaalsmuts en bisschopsmuts als hulpstuk	20
Figuur 1.37	Tweelagig geproduceerde betonstraatsteen	20
Figuur 1.38	Eenlagig geproduceerde betonstraatsteen	20
Figuur 1.39	Gekleurde bestratingen	21
Figuur 1.40	Gekleurde granulaten	21
Figuur 1.41	Uitwassen	22
Figuur 1.42	Kogelstralen	23
Figuur 1.43	Boucharderen	23
Figuur 1.44	Slijpen	23
Figuur 1.45	Splijten	24
Figuur 1.46	Trommelen	24
Figuur 1.47	In-line verouderen	24
Figuur 1.48	Impregneren	25

Figuur 1.49	Niet behandeld oppervlak - uitgewassen - gekogelstraald - gebouchardeerde betonstraatsteen	25
Figuur 1.50	Alu-traanplaat toplaag, natuursteen toplaag, rubber toplaag	25
Figuur 1.51	Noppen toplaag, natuursteenimitatie toplaag, houtimitatie toplaag	26
Figuur 1.52	Hoogteverschillen zijn minder voelbaar indien de stenen een velling hebben	26
Figuur 1.53	Invloed van velling, legverband en oppervlakafwerking op de geluidsproductie	26
Figuur 1.54	Verschillende legverbanden	27
Figuur 1.55	Voorbeeld van filterstabiliteit tussen fundering en straatlaag	28
Figuur 1.56	Hangend dakprofiel	28
Figuur 1.57	Dakprofiel	29
Figuur 1.58	Gewijzigd tonrond profiel	29
Figuur 1.59	Omgekeerd dakprofiel	29
Figuur 2.1	Parking van betonstraatstenen	31
Figuur 2.2	Betonstraatstenen met verbrede voegen	31
Figuur 2.3	Betonstraatstenen met drainageopeningen	32
Figuur 2.4	Poreuze betonstraatstenen	32
Figuur 2.5	Grasbetontegels	33
Figuur 2.6	Verschillende toepassingen	33
Figuur 2.7	Beslissingsboom voor het ontwerp van waterdoorlatende bestratingen	34
Figuur 2.8	Plaatsing van drainage naargelang van het type ondergrond, bij waterdoorlatende bestratingen, in geval infiltratie toegelaten is	35
Figuur 2.9	Drainage in geval geen infiltratie in de ondergrond is toegelaten	36
Figuur 2.10	Open-end-methode	36
Figuur 2.11	Putmethode	36
Figuur 2.12	Overzicht structuur voor waterdoorlatende bestratingen in functie van verkeersbelasting en doorlatendheid van de grond	37
Figuur 2.13	Straatlaag en voegvullingsmateriaal	40
Figuur 2.14	Dubbele- ringmethode	40
Figuur 2.15	Rotonde van betonstraatstenen	41
Figuur 2.16	Kantopsluiting	41
Figuur 2.17	Fietspad van betonstraatstenen	42
Figuur 2.18	Fietspad van betonstraatstenen	42
Figuur 2.19	Invloed van legverband op rijcomfort bij aanliggende en vrijliggende fietspaden	42
Figuur 3.1	Voorbeeld productlabel	44
Figuur 3.2	Bepaling van de vorst-dooibestandheid in aanwezigheid van dooizouten	46
Figuur 3.3	Splijttreksterkte	47
Figuur 3.4	Capontoestel en getest proefstuk	47
Figuur 4.1	Onderfundering	54
Figuur 4.2	Kantopsluiting en randafwerking	54
Figuur 4.3	Splintervrije kopse zijde van kantopsluiting	55
Figuur 4.4	Aanbrenging van een stut achter de kantopsluiting	55
Figuur 4.5	Metten van oneffenheden met behulp van regel van 3 m	55
Figuur 4.6	Profileren van straatlaag met behulp van stellatten	56
Figuur 4.7	Leggen van betonstraatstenen	57
Figuur 4.8	Rechtlijnigheid van de voegen tijdens het straten	57
Figuur 4.9	Zagen van passtenen	58
Figuur 4.10	Machinaal straten	59
Figuur 4.11	Uitzettingsvoeg in de bestrating	60
Figuur 4.12	Randafwerking aan de singuliere punten	60
Figuur 4.13a	Slechte uitvoering bij bocht (met te kleine stukken)	60
Figuur 4.13b	Goede uitvoering bij bocht (met passtukken groter dan halve steen)	60
Figuur 4.14	Opvoegen en aftrillen van de betonsteenbestrating	61
Figuur 4.15	Vlakheidsmeting	61
Figuur 5.1	Afstomen	64
Figuur 5.2a	Oppervlak zonder kalkuitslag	66
Figuur 5.2b	Oppervlak met kalkuitslag	66
Figuur 5.3	Kalkuitslag	66
Figuur 5.4	Ontstaan van kalkuitslag	67
Figuur 6.1	Opnemen en herleggen van betonstraatstenen	69
Figuur 6.2	Afstrijken van straatlaag met speciaal gezaagde balk	69

Lijst van de tabellen

Tabel 1.1	Verkeerscategorieën	2
Tabel 1.2	Standaardstructuren voor de verschillende verkeerscategorieën	2
Tabel 1.3	Vorstindex en vorstindringingsdiepte Z voor verschillende locaties	4
Tabel 1.4	Beperking van de fijne bestanddelen volgens verkeerscategorie	13
Tabel 1.5	Formaten	15
Tabel 1.6	Maatafwijkingen volgens NBN B 21-311 en NBN EN 1338	17
Tabel 2.1	Voorschriften voor waterdoorlatende bestratingen	32
Tabel 3.1	Toelaatbare maatafwijkingen van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338	45
Tabel 3.2	Grootst toelaatbare verschillen tussen de diagonalen (> 300 mm) van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338	45
Tabel 3.3	Onvlakheden en kromheid van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338	45
Tabel 3.4	Wateropsorping van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338	45
Tabel 3.5	Vorst-dooibestandheid van betonstraatstenen onder dooizouten volgens NBN EN 1338	46
Tabel 3.6	Correctiefactor k voor berekening van de splijtsterkte	47
Tabel 3.7	Slijtbestandheidsklassen van betonstraatstenen volgens NBN EN 1338	48
Tabel 3.8	Grootst toelaatbaar verschil (BENOR) tussen de diagonalen (> 300 mm) van betonstraatstenen volgens NBN B 21-311	49
Tabel 3.9	Vorstbestandheid (BENOR) van betonstraatstenen volgens NBN B 21-311	49
Tabel 3.10	Slijtbestandheidsklassen (BENOR) van betonstraatstenen volgens NBN B 21-311	50
Tabel 3.11	Toepassingscategorieën van betonstraatstenen volgens NBN B 21-311	50
Tabel 5.1	Enkele aanbevelingen voor het reinigen van betonstraatstenen	64
Tabel 5.2	Overzicht van producten en behandelingen om diverse vlekken uit betonstraatstenen te verwijderen	65

Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

- Brussel: OCW, 2009
- 70 blz.
- (Aanbevelingen, ISSN 1376 - 9332 ; 80).

Deze handleiding handelt over verhardingen van betonstraatstenen. Volgens de Europese norm EN 1338 Betonstraatstenen – Eisen en beproevingsmethoden zijn betonstraatstenen geprefabriceerde betonnen verhardingselementen met een maximale lengte-dikteverhouding gelijk aan 4.

Het eerste hoofdstuk behandelt de ontwerpaspecten en beschrijft de grondbeginselen voor de dimensionering, de keuzen en de specificaties voor de verschillende lagen van deze wegconstructies.

Het tweede hoofdstuk besteedt aandacht aan toepassingen zoals fietspaden en rotondes die een bijzondere zorg voor het ontwerp en de toepassing vereisen. In dat hoofdstuk komen ook de bijzondere voorschriften voor waterdoorlatende bestratingen aan bod.

Het derde hoofdstuk handelt over de eisen en controles die de kwaliteit van de producten in België moeten waarborgen (eventueel BENOR).

In het vierde hoofdstuk worden alle fasen van de uitvoering beschreven – van de keuring en conformiteitscontrole van geleverde materialen over de aanbrenging van het baanbed, de (onder)fundering, de kantopsluiting, de randafwerking en de straatlaag tot het leggen van de stenen, de uitvoering van uitzetvoegen en de afwerking aan singuliere punten en, ten slotte, het vullen van voegen.

Het vijfde hoofdstuk beschrijft de inspectie en het onderhoud van deze verhardingen.

In het laatste hoofdstuk wordt uitgelegd hoe betonstraatstenen het best worden verwijderd en opnieuw gelegd, bijvoorbeeld bij werkzaamheden aan nutsleidingen.

ITRD-classificatie

32 - Beton

ITRD-trefwoorden

2972 – VERHARDING ; 4508 – STRAATSTEEN ; 4755 – CEMENTBETON ; 3055 – DIMENSIONERING ; 3655 – WEG/WATERBOUWKUNDE ; 3623 – AANBRENGING (IN TOEPASS) ; 3847 – ONDERHOUD ; 5950 – LEVENSCYCLUS ; 0139 – NORM ; 0147 – AANBEVELING ; 9101 – CONTROLE ; 9107 – ESTHETIEK ; 6784 – KLEUR ; 8008 - BELGIE

Bestellen

Kenm.: A80/09

Prijs: 14.00 € (excl. 6 % btw)

Fax: +32 2 766 17 87
e-mail: publication@brrc.be



O p z o e k i n g s c e n t r u m v o o r d e W e g e n b o u w

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Woluwedal 42

1200 Brussel

Tel. : 02 775 82 20 - fax : 02 772 33 74

www.ocw.be