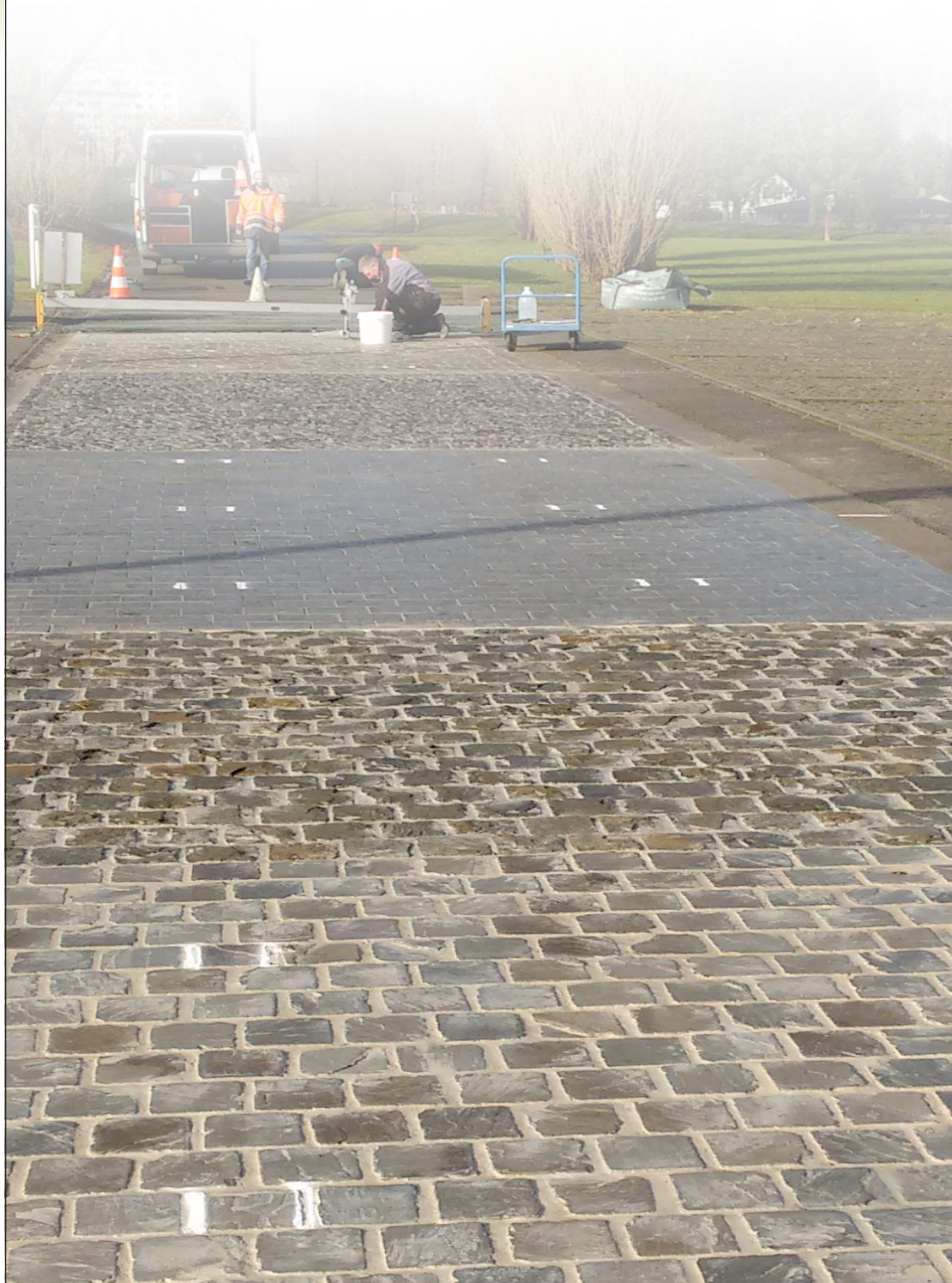




Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw  
Uw partner voor duurzame wegen

## Natuursteenverhardingen



**Aanbevelingen**

Sinds 1952 staat het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) als onpartijdig onderzoekscen-  
trum ten dienste van alle partners in de Belgische wegenbranche. Duurzame ontwikkeling door inno-  
vatie is de leidraad voor alle activiteiten in het Centrum. Het OCW deelt zijn kennis met professionals uit  
de wegenbranche onder meer door middel van zijn publicaties (handleidingen, syntheses, researchver-  
slagen, meetmethoden, informatiebladen, OCW Mededelingen en Dossiers, activiteitenverslag). Onze  
publicaties worden in het binnen- en buitenland op ruime schaal verspreid bij centra voor wetenschap-  
pelijk onderzoek, universiteiten, openbare instellingen en internationale instituten. Meer informatie  
over onze publicaties en activiteiten: [www.ocw.be](http://www.ocw.be).

Aanbevelingen A 95

## Natuursteenverhardingen

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Brussel

2018

## Samenstelling van de redactionele werkgroep

### **Voorzitter**

Y. Hanoteau (OCW)

### **Secretarissen**

E. Boonen (OCW), O. De Myttenaere (OCW), B. Janssens (OCW), M. Lybaert (OCW), S. Smets (OCW)

### **Leden**

O. Auly (Federatie van Belgische blauwe hardsteen), D. Baerts (Service public de Wallonie – SPW), A. Beeldens (OCW), A. Bonsang (Carrières du Bois d’Anthisnes), A. Dath (SECO), G. De Baerdemaeker (P.T.B.-Compaktuna®), J. de Geest (bvba J.G.S. Europe), H. Deferm (sprl H. Deferm), M. Demunter (Gewestelijke Overheidsdienst Brussel – GOB), P. De Paep (SWECO BELGIUM), P. De Smet (bvba Cochuyt-De Smet), Th. Deremince (asbl Atingo, voorheen Gamah – Groupe d’Action pour une Meilleure Accessibilité des personnes Handicapées), P. Dethier (Carrière du Bois d’Anthisnes), P. De Vos (nv BOUW TECHNIEK COMPAKTA), P. Elsen (Service public de Wallonie – SPW), M. Flament (Carrières du Hainaut), J. Floren (bvba A.B.W.), K. Hofman (Hofman), F. Jonkers (Carrières du Hainaut), K. Laeremans (Maris Natuursteen), G. Legein (Benelux Federatie van Natuursteengroothandelaars – FEBENAT), O. Lepot (Ville de Liège), J. Maeck (OCW), P. Maris (Maris Natuursteen), V. Mathieu (Service public de Wallonie – SPW), D. Nicaise (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf – WTCB), J. Nomerange (Consultant), C. Pane (Shell), O. Pilate (Sagrex), V. Platiaux (Service public de Wallonie – SPW), K. Poncelet (Shell), P. Rommel (Beltrami), Ph. Sequaris (Carrières du Hainaut SCA), D. Stove (SWECO BELGIUM), J.P. Tasiaux (Inasep), F. Thewissen (Service public de Wallonie – SPW), F. Tourneur (Pierres et Marbres de Wallonie), G. Van Camp (bvba Stonetech), J. Van Damme (Stad Antwerpen).

## Dankbetuiging

Onze dank gaat uit naar Marleen De Ceukelaire (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen) voor haar enthousiaste medewerking aan de nalezing van de Nederlandstalige versie van hoofdstuk 1 en naar Patrick Baton (opleider) voor de relevante technische informatie die hij heeft verstrekt.

## Bericht aan de lezer

Hoewel deze handleiding met de grootst mogelijke zorg is 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.

Natuursteenverhardingen / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw. – Brussel : OCW, 2018. 140 blz. – (Aanbevelingen, 1376-9332 ; A 95).

Wettelijk depot: D/2018/0690/6

© OCW Alle rechten voorbehouden



## Inhoud

### Woord vooraf

1	Inleiding	13
1.1	Geologische begrippen	13
1.1.1	Omschrijvingen	13
1.1.2	Gesteentecyclus	13
1.1.3	Classificatie van gesteenten	14
1.1.3.1	Wetenschappelijke classificatie	14
1.1.3.2	Commerciële benaming	16
1.1.4	Overzicht van de geologie in België	16
1.1.4.1	Onder-paleozoïcum (540-408 Mj: cambrium, ordovicium, siluur)	18
1.1.4.2	Devoon (408-355 Mj)	18
1.1.4.3	Carboon (355-295 Mj)	18
1.1.4.4	Jura (203-135 Mj)	19
1.1.4.5	Paleogeen (65-23 Mj)	19
1.1.5	Beschrijving van de belangrijkste in België ontgonnen gesteenten	19
1.1.5.1	Carbonaathoudende sedimentaire gesteenten of kalkgesteenten	19
1.1.5.2	Klastische sedimentaire gesteenten	20
1.1.5.3	Porfirische gesteenten	21
1.1.6	Beschrijving van buitenlandse steensoorten	21
1.1.6.1	Sedimentaire gesteenten	21
1.1.6.2	Magmatische gesteenten	22
1.1.6.3	Metamorfe gesteenten	23
1.2	Historische context	23
1.2.1	Geschiedenis van natuursteenverhardingen en bestrate constructies	23
1.2.2	Geschiedenis van de winning van gesteenten voor keibestratingen in België	25
1.2.3	Geschiedenis van de winning van gesteenten voor tegelbestratingen in België	26
1.3	Winning en fabricage van natuurstenen producten	27
1.3.1	Winning van de materialen	27
1.3.2	Fabricage	28
1.3.2.1	Traditionele fabricagewijze	28
1.3.2.2	Machinale fabricagewijze	29
2	Karakterisering en certificering van materialen	31
2.1	Karakterisering van natuurstenen bestratingselementen en proeven	31
2.1.1	Referentiedocumenten	31
2.1.2	Definities op basis van vorm en afmetingen	32
2.1.2.1	Tegels	33
2.1.2.2	Straatkeien	33
2.1.2.3	Trottoirbanden	34
2.1.3	Proeven op natuursteen voor wegenbouwtoepassingen	34
2.1.3.1	Identificatie en intrinsieke karakterisering van natuursteen	35
2.1.3.2	Proeven ter bepaling van de prestaties bij gebruik	36
2.1.3.3	Duurzaamheidsproeven	38
2.1.4	Criteria voor de keuze van natuursteenelementen	39
2.1.5	Enkele voorbeelden van bekende schadebeelden bij natuursteen	41
2.2	Certificering van materialen	45
2.2.1	Inleiding	45
2.2.2	CE-markering	45

2.2.3	ATG/BENOR-certificatie	46
2.2.3.1	Weg 1 – Vervaardiging in een werkplaats – Kwaliteitsverklaringen	47
2.2.3.2	Weg 2 – Serieproductie – ATG/BENOR-certificatie	48
2.3	Materialen voor de straatlaag	48
2.3.1	Algemeen	48
2.3.2	Ongebonden materialen	49
2.3.2.1	Straatlaag van zand of steenslag	49
2.3.3	Gebonden materialen	49
2.3.3.1	Zandcement	49
2.3.3.2	Cementmortel	50
2.4	Voegmaterialen	51
2.4.1	Algemeen	51
2.4.2	Ongebonden materialen	51
2.4.3	Gebonden materialen	52
2.4.3.1	Al dan niet gemodificeerde cementmortel	53
2.4.3.2	Zandcement	53
2.4.3.3	Bitumineuze mortel	54
2.4.3.4	Harsgebonden voegmortel	54
2.4.3.5	Polymeerzand	55
2.4.4	Hechtlaag/hechtbrug	56
3	Ontwerp en dimensionering	57
3.1	Beschrijving en rol van de onderdelen van de wegconstructie	57
3.1.1	Opbouw van de wegconstructie (wegen en daarmee gelijkgestelde voorzieningen)	57
3.1.2	Aanwezige ondergrond en baanbed	58
3.1.3	Onderfundering	59
3.1.4	Fundering	61
3.1.4.1	Ongebonden fundering	62
3.1.4.2	Gebonden fundering	62
3.1.5	Verharding	64
3.1.6	Natuursteenverhardingen	64
3.2	Algemene ontwerp- en dimensioneringsprincipes	65
3.2.1	Algemene dimensioneringsregels	65
3.2.2	Drainage en waterafvoer in het ontwerp	65
3.3	Specifieke ontwerpregels voor natuursteenverhardingen	66
3.3.1	Methodiek	66
3.3.2	Rekening houden met het verkeer	66
3.3.2.1	Referentiekader voor natuursteenverhardingen onder voertuigenverkeer	66
3.3.2.2	Referentiekader voor natuursteenverhardingen onder voetgangers- en voertuigenverkeer	67
3.3.2.3	Toepassingsgebieden van natuursteenkeien	67
3.3.3	Regels voor het dimensioneren van de lagen	69
3.3.4	Specifieke ontwerpprincipes voor structuren met een traditionele natuursteenbestrating	70
3.3.4.1	Gewelfeffect in het verticale vlak	70
3.3.4.2	Boogeffect in het horizontale vlak (mozaïekkeien)	70
3.3.4.3	Verdichtings- en stabilisatie-effect van de verdunning langs de zijvlakken	71
3.3.5	Keuze van het natuurstenen element	72
3.3.6	Keuze van het bestratingsverband voor natuurstenen elementen	72
3.3.6.1	Rechthoekige verbanden	73
3.3.6.2	Boog- of mozaïekverbanden (enkel voor straatkeien)	73
3.3.7	Specifieke ontwerpprincipes voor het bestratingsverband met natuursteenkeien	75

3.3.8	Aansluitingen in de bestrating	77
3.3.9	Keuze van de wijze van bestraten met natuurstenen elementen	77
3.3.10	Aanvullende aanbevelingen voor de voegen en de straatlaag van keibestratingen	81
3.3.10.1	Afmetingen en kwaliteit van de voegen	81
3.3.10.2	Straatlaag	81
3.3.10.3	Aanbevelingen voor het ontwerp van een stijve straatlaag van zandcement	83
3.3.11	Eisen aan natuursteenbestratingen volgens toepassingsgebied	84
3.3.12	Speciale voegen	85
3.3.12.1	Uitzetvoegen	85
3.3.12.3	Isolatievoegen	86
3.3.13	Ontwerp en dimensionering van de kant- en andere opsluitingen	87
3.3.14	Ontwerp en dimensionering van de waterafvoerinrichtingen	88
3.3.15	Rekening houden met de specifieke behoeften van voetgangers en fietsers	89
3.3.16	Aandacht voor het milieuaspect	93
3.4	Ontwerp van bijzondere constructies	93
3.4.1	In de lengte hellende bestratingen	93
3.4.2	Tegelbestratingen	94
3.4.3	Specifieke eisen voor lijnvormige elementen	94
4	Uitvoering	95
4.1	Inleiding	95
4.2	Keuring en controle van de materialen	95
4.2.1	Algemeen	95
4.2.2	Goedkeurings- en keuringsprocedures	96
4.2.2.1	Procedure in Wallonië en in het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest	96
4.2.2.2	Procedure in Vlaanderen	97
4.2.3	Bijzonder geval: hergebruikte of gerecyclede materialen	97
4.2.4	Keuring van producten in samenhang met het voorgeschreven bestratingsverband	97
4.3	Algemene voorwaarden voor de weersomstandigheden	98
4.4	Vorbereidende werkzaamheden vóór het straten	98
4.4.1	Gereedmaken van het baanbed	98
4.4.2	Aanbrengen van de drainage-inrichting	99
4.4.3	Aanbrengen van de onderfundering	99
4.4.4	Aanbrengen van de kantopsluiting en afwerken van de randen	99
4.4.5	Aanbrengen van de fundering	100
4.5	Werkzaamheden bij het straten	101
4.5.1	Aanbrengen van de straatlaag	101
4.5.2	Aanbrengen van de straatkeien	102
4.5.2.1	Algemeen	102
4.5.2.2	Rechtlijnige verbanden	104
4.5.2.3	Mozaïekverbanden	105
4.5.3	Aftrillen van de bestrating en vullen van de voegen	105
4.5.4	Uitzetvoegen in de bestrating	109
4.6	Controleverrichtingen	110
4.6.1	Fundering	110
4.6.2	Straatlaag	110
4.6.3	Oppervlak van de voltooide bestrating	111
4.6.4	Voegen	111
4.6.5	Oppervlakkenmerken	111

4.7	Bijzonderheden bij werkzaamheden voor het aanbrengen van trottoirbanden	112
4.8	Bijzonderheden bij werkzaamheden voor het aanbrengen van tegels	113
5	Onderhoud en herstelling van natuursteenverhardingen	115
5.1	Algemeen	115
5.2	Voornaamste schadebeelden en oorzaken	116
5.2.1	Schade aan een element	116
5.2.2	Verlies van constructieve samenhang	117
5.2.3	Scheuren in of schade aan (cement)gebonden voegen	118
5.2.4	Vervorming van de verharding	119
5.2.4.1	Dwarsonvlakheid	119
5.2.4.2	Langsonvlakheid	120
5.2.4.3	Plaatselijke vervormingen	121
5.2.5	Slechte afwatering en/of drainage	122
5.3	Reiniging	122
5.4	Onkruidbeheersing	123
5.4.1	Onkruidgroei op natuursteenverhardingen	123
5.4.2	Aandachtspunten bij het ontwerp	124
5.4.3	Keuze van de voegvulling en de straatlaag	125
5.4.4	Niet-chemische onkruidbestrijding	126
5.5	Preventief onderhoud	127
5.5.1	Onderhoud van de voegen	127
5.5.1.1	Ongebonden voegen	128
5.5.1.2	Gebonden materialen	128
5.5.2	Vervanging van natuurstenen elementen	128
5.5.3	Oppervlakbehandeling in situ	129
5.6	Curatief onderhoud	129
5.7	Reconstructie of renovatie	130
L	Literatuur	133

## Lijst van de figuren

Figuur 1.1	Vereenvoudigde weergave van de gesteentecyclus (Bron: WTCB TV 228 [1])	13
Figuur 1.2	Gepolijst " <i>petit granit</i> " (Foto: ©PierresEtMarbresDeWallonie)	19
Figuur 1.3	Zandsteen van de Condroz (Foto: ©PierresEtMarbresDeWallonie)	20
Figuur 1.4	Porfier	21
Figuur 1.5	Verhardingen uit vroegere tijden (Foto: ©PierresEtMarbresDeWallonie)	24
Figuur 1.6	Winplaatsen van porfier (Foto's: ©PierresEtMarbresDeWallonie)	25
Figuur 1.7	Afsplijten van een zandsteenblok	28
Figuur 1.8	Kloven tot blokken met gelijksoortige afmetingen als het afgewerkte product	28
Figuur 1.9	Behouwen en vlakken van zandsteenblokken	28
Figuur 1.10	Verskillende soorten afwerkingen van " <i>petit granit</i> " (Foto's: ©PierresEtMabresDeWallonie)	30
Figuur 2.1	Mozaïekkeien (Foto: Febenat)	33
Figuur 2.2	Langwerpige straatkeien	33
Figuur 2.3	"Platine"-straatkeien	34
Figuur 2.4	Waarneming met een polariserende optische microscoop (Foto: WTCB)	35
Figuur 2.5	Buigsterkteproef (Foto: WTCB)	37
Figuur 2.6	SRT-slinger om stroefheid te meten	37
Figuur 2.7	Voorbeeld van CE-markering en prestatieverklaring voor straatkeien	46
Figuur 2.8	Straatlaag van zandcement	50
Figuur 2.9	Principe van lastoverdracht tussen de straatkeien van een bestrating door middel van volledig gevulde voegen. De kracht die het verkeer op een straatkei uitoefent, wordt door de voegvulling en de straatlaag gedeeltelijk op de nevenliggende straatkei overgedragen	51
Figuur 2.10	Voegvulling van gebroken porfier 2/4	52
Figuur 2.11	Aanbrengen van gemodificeerde mortel	53
Figuur 2.12	Aanbrengen van bitumineuze mortel	54
Figuur 2.13	Principe van polymeerzand	55
Figuur 2.14	Aanbrengen van een hechtlaag	56
Figuur 3.1	Algemene opbouw van een wegconstructie (principetekening) [33, blz.3]	57
Figuur 3.2	Aanbrengen van een scheidend geotextiel onder de onderfundering	58
Figuur 3.3	Geotechnische proeven voor en tijdens de werken (plaatbelastingsproef en proef met het PANDA-apparaat)	59
Figuur 3.4	Algemene opbouw van een weg met een bestrating	64
Figuur 3.5	Standaarddwarsdoorsnede van een traditionele natuursteenbestrating [42, blz.56]	70
Figuur 3.6	Bestrating in boogverband - Gewelfeffect in het horizontale vlak: richting van de spanningen in een optrekzone (links) en richting van de spanningen in een remzone (rechts)	71
Figuur 3.7	Inbedden van straatkeien in de straatlaag	71
Figuur 3.8	Voorbeelden van rechthoekige bestratingsverbanden (Foto's: Febenat)	73
Figuur 3.9	Voorbeelden van bestratingsverbanden met niet-concentrische cirkels (Foto's: ©PierresEtMarbresDeWallonie)	74
Figuur 3.10	Voorbeelden van bestratingsverbanden met concentrische cirkels (Foto's: PMW)	74
Figuur 3.11	Oriëntatie van een mozaïekverband naargelang van de langshelling van de weg	76
Figuur 3.12	Verandering van richting van een mozaïekverband op de lengteas van een weg, naargelang van de rijrichting	76
Figuur 3.13	Verandering van richting van een mozaïekverband op een top in het lengteprofiel van een weg (ruit)	77
Figuur 3.14	Verandering van richting van een mozaïekverband in een dal in het lengteprofiel van een weg (runderoog)	77
Figuur 3.15	Voorbeeld van een rechthoekig verband Afwerking in een bocht door middel van een geer	77



Figuur 3.16	Voorbeelden van rechte lijnige verbanden (ridderkruis) Afwerking op een kruispunt	77
Figuur 3.17	Voorbeeld van onverenigbaarheid tussen voeg- en straatlaagmateriaal: combinatie van een stijve straatlaag van zandcement met flexibele, doorlatende zandvoegen, waarbij de straatkeien los komen te liggen onder invloed van water, vorst en verkeer	78
Figuur 3.18	Controle op filterstabiliteit tussen ongebonden straatlaag en fundering [43, blz. 36]	82
Figuur 3.19	Voorbeelden van opbouw van uitzetvoegen in een gebonden natuursteenbestrating (eventueel samenvallend met uitzetvoeg in gebonden fundering)	86
Figuur 3.20	Isolatievoeg tussen een muur van een woning en een trottoir	86
Figuur 3.21	Kantopsluiting tussen trottoir en rijbaan bij een natuursteenverharding	87
Figuur 3.22	Opsluitband op de overgang tussen een asfaltverharding en een natuursteenverharding	87
Figuur 3.23	Langsdoorsneden ter plaatse van aansluitingen tussen verschillende verhardingssoorten	87
Figuur 3.24	Kantopsluiting voor de verkeerscategorieën I, II en III (links) en IV (rechts)	88
Figuur 3.25	Voorbeeld van goede voegvulling voordat verkeer wordt toegelaten	88
Figuur 3.26	Waterafvoer via een kolk voor een ondoorlatende verharding (links) en afvoer van in de fundering gedrongen water via een drainagebuis voor een doorlatende verharding op een onderdoorlatende fundering (rechts)	89
Figuur 3.27	Weinig comfortabele natuursteenbestrating door de vele onvlakheden	90
Figuur 3.28	Marktplaats in het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest, heraangelegd met gezaagde keien	90
Figuur 3.29	Natuursteenbestrating met afwisselend gepolijste en onbewerkte straatkeien. Aan de gepolijste oppervlakken te zien blijft er gevaar om uit te glijden	91
Figuur 3.30	Comfortstrook met gezaagde straatkeien in een rijbaan met klassieke straatkeien	92
Figuur 3.31	Comfortabele inrichting voor fietsers (rijbaan met gezaagde straatkeien), maar niet voor voetgangers (trottoir met platinestraatkeien)	92
Figuur 3.32	Leggen van keien op een helling (doorsnede volgens de lengteas)	93
Figuur 3.33	Formule voor de berekening van de breuklast volgens PTV 841 [9] (versie 1.0 van 28/02/2005 – formule in herziening)	94
Figuur 4.1	Voorbeeld van bescherming van een natuursteenverharding bij ongunstige weersomstandigheden	98
Figuur 4.2	Aanbrengen van kantopsluitingen voordat de fundering en de straatlaag worden aangebracht	99
Figuur 4.3	Voorbeeld van overdwarse opsluiting in een hellende straat	100
Figuur 4.4	Belang van goede vlakheid en juiste profilering van fundering	100
Figuur 4.5	Inbedden van straatkeien in een straatlaag, gevolgd door verdichting	102
Figuur 4.6	Aanbrengen van straatkeien met visuele controle van de rechte lijnigheid van de voegen	103
Figuur 4.7	Aanbrengen van een strekklag	104
Figuur 4.8	Kleurverschillen	104
Figuur 4.9	Richting van de doorgaande voegen: haaks op de rijrichting	104
Figuur 4.10	Voorbeeld van straatwerk rond singuliere punten	105
Figuur 4.11	Goed aftrillen van bestrating, ook aan de randen	106
Figuur 4.12	Verdichten van bevochtigde straatkeien, waarna de voegen worden gevuld	106
Figuur 4.13	Vullen van voegen met gemodificeerde mortel	107
Figuur 4.14	Schoonmaken van de bestrating nadat de voegen zijn gevuld	107
Figuur 4.15	Vullen van voegen met bitumineuze mortel	108
Figuur 4.16	Vullen van voegen met epoxyharsgebonden mortel	108
Figuur 4.17	Aanbrengen van uitzetvoegen	109

Figuur 4.18	Links: toepassing van hechtbrug ( <i>Haftbrücke</i> ) tussen stijve straatlaag en natuursteen ter hoogte van uitzetvoegen, zoals toegepast in Duitsland. Rechts: voorbeeld van toepassing door dompelen van straatkeien ter hoogte van de uitzetvoeg	110
Figuur 4.19	Stroefheidsmeting met een SRT-apparaat	111
Figuur 4.20	Aanbrengen van trottoirbanden en isolatievoeg (rechts) tussen trottoirband en straatkeien	112
Figuur 4.21	Ultrasoon toestel met rolletjes	113
Figuur 4.22	Profileren en effenen van een mortelbed voor natuursteentegels	113
Figuur 4.23	Aanbrengen van gezaagde natuurstenen straatkeien met een "hechtlaag" tussen straatlaag en straatkei	114
Figuur 5.1	Voorbeeld van afsplijting of desintegratie van bepaalde natuursteensoorten onder klimatologische en/of verkeersbelasting	116
Figuur 5.2	Voorbeeld van getrommelde natuurstenen elementen die met opzet zijn verouderd en dus niet als beschadigd mogen worden beschouwd	117
Figuur 5.3	Voorbeeld van breken of afbrokkeling aan de randen van straatkeien, door te smalle voegen	117
Figuur 5.4	Voorbeelden van verlies van constructieve samenhang van de verharding door te brede voegen, een onaangepast bestratingsverband, gebrek aan kantopsluiting en/of onzorgvuldige afwerking aan de randen en rond singuliere punten	118
Figuur 5.5	Barsten in cementgebonden voegen zijn een vaak voorkomend schadebeeld waaraan een hele rist oorzaken ten grondslag kan liggen	119
Figuur 5.6	Voorbeelden van spoorvorming en "pompeffecten" in een natuursteenverharding	120
Figuur 5.7	Voorbeelden van langsonvlakheid en schade, te wijten aan thermische bewegingen en/of aansluiting op andere verhardingen	120
Figuur 5.8	Voorbeelden van plaatselijke vervormingen door onzorgvuldige uitvoering en/of gebreken in het ontwerp	121
Figuur 5.9	Moeilijker herstelling bij uitvoering volgens het stijve concept	121
Figuur 5.10	Voorbeelden van schade door gebrekkige waterafvoer van de natuursteenverharding	122
Figuur 5.11	Reinigen van natuursteen	122
Figuur 5.12	Onkruidgroei	123
Figuur 5.13	Invloed van gebruiksintensiteit op onkruidgroei (links) en afstemming van onkruidbeheer op deze intensiteit (rechts)	124
Figuur 5.14	Aandacht in het ontwerp voor machinaal onderhoud achteraf: voldoende afstand tussen of verwijderbare obstakels, vloeiende overgang tussen rijbaan en fietspad of trottoir, straatgoot tussen parkeervoorziening en rijbaan, enz.	125
Figuur 5.15	Invloed van straatlaagmateriaal op onkruidgroei in een voegvulling van vervuilde kalksteen 0/6,3 - Links: open straatlaag van porfier 2/6,3; rechts: gesloten straatlaag van kalksteen 0/6,3	126
Figuur 5.16	Verschillende niet-chemische onkruidbestrijdingstechnieken	126
Figuur 5.17	Lokale schade aan voegen in een natuursteenverharding (Foto: Febenat)	127
Figuur 5.18	Tijdig herstellen van lokale schade aan natuursteenverhardingen door vervanging van beschadigde elementen (Foto's: Febenat)	128
Figure 5.19	Ook bij werkzaamheden aan nutsleidingen dienen de basisregels voor natuursteenverhardingen te worden nageleefd	129
Figuur 5.20	Hergebruik van oude straatkeien bij volledige heraanleg van een natuursteenbestrating	130
Figuur 5.21	Natuursteenbestrating voor, tijdens en na renovatie met hergebruik van bestaande straatkeien van Zweeds graniet	131

## Lijst van de tabellen

Tabel 1.1	Classificatie van gesteenten (volgens PTV 844 [2])	14-15
Tabel 1.2	Stratigrafische schaal en in België ontgonnen steenniveaus	17
Tabel 1.3	Gebruikelijke behouwingen en afwerkingen (volgens TV 220 [5] en TV 228 [1])	29
Tabel 2.1	Definities voor natuurstenen elementen	32
Tabel 2.2	Gebruiksklassen en bijbehorende minimaal verwachte druksterkten voor straatkeien, zoals vastgelegd in PTV 842 [10, in herziening]	40
Tabel 2.3	Gebruiksklassen en bijbehorende minimaal vereiste breuklast voor natuursteentegels en natuurstenen trottoirbanden, zoals vastgelegd in de normen NBN EN 1341 (bijlage A) [6] en NBN EN 1343 (bijlage A) [8] en in de PTV's 841 [9] en 843 [11]	40
Tabel 2.4	Meest voorkomende schadebeelden bij natuursteen (Foto's: WTCB en OCW)	42-44
Tabel 3.1	Vorstindex en vorstindringdiepte Z op verschillende plaatsen	61
Tabel 3.2	Verkeerscategorieën voor natuursteenverhardingen	67
Tabel 3.3	Toepassingsgebieden en overeenkomstige verkeerscategorieën	68
Tabel 3.4	Dimensionering van de lagen voor een natuursteenbestrating, naargelang van de verkeerscategorie	69
Tabel 3.5	Lijst van de voornaamste combinaties van fundering, straatlaag en voegmateriaal	79-80
Tabel 3.6	Afmetingen en vulhoogte van de voegen	81
Tabel 3.7	Kenmerken van materialen voor een ongebonden straatlaag, naargelang van de verkeerscategorie (categorie I is niet aangewezen in dit geval)	83
Tabel 3.8	Overzicht van de eisen aan het ontwerp van natuursteenbestratingen naargelang van het toepassingsgebied	84

## Woord vooraf

In een project voor de inrichting van openbare ruimte wordt natuursteen doorgaans gekozen omdat hij een historische of esthetische aanblik biedt. Hij wordt als verhardingsmateriaal toegepast in de vorm van tegels, straatkeien en opsluitbanden, waarmee zowel de erfgoedwaarde van een locatie kan worden onderstreept als resoluut voor een moderne aankleding kan worden gegaan, bijvoorbeeld op een culturele plaats.

De laatste decennia zijn de mogelijkheden om stedelijke ruimten creatief en hedendaags in te richten sterk uitgebreid door nieuwe technieken om straatkeien te fabriceren en door de uiterst verscheiden nieuwe “kleinschalige” elementen die voor natuursteenverhardingen op de markt zijn gekomen. Door de wisselwerking tussen materialen, vormen, afwerkingen en bestratingsverbanden kan concrete invulling worden gegeven aan innovatieve projecten.

De technieken om deze nieuwe verhardingen aan te brengen, zijn veranderd en helemaal niet meer te vergelijken met die voor “traditionele” bestratingen met handmatig gekloven of behouwen straatkeien. Deze handleiding vormt een gelegenheid om de stand van zaken voor deze modernere technieken en materialen te bepalen.

Anderzijds moet worden gezegd dat straatkeien enige tijd plaats hebben moeten ruimen voor verhardingsmaterialen die als moderner werden gezien en als beter presterend bekendstaan. Later is gebleken dat natuursteenverhardingen nog steeds heel goed hun plaats verdienen, onder meer voor de inrichting van historische locaties. Doordat straatkeien tijdelijk vervuld werden, blijken de regelen der kunst voor de toepassing en verwerking van deze verhardingsmaterialen wat in de vergetelheid te zijn geraakt.

Deze handleiding voor natuursteenverhardingen wil een technisch basisdocument vormen voor iedereen die bij een inrichtingsproject met natuursteen betrokken is. Ze is bedoeld voor ontwerpers, architecten, aannemers, publieke of private wegbeheerders, of leveranciers van materialen. Ze vormt een naslagwerk voor de keuze van de materialen (zowel de natuurstenen bestratingselementen als de voeg- en de straatlaagmaterialen), het ontwerp en de dimensionering van projecten en de aanleg en het onderhoud van wegen met natuursteen. Omdat de fabricage van een natuurstenen bestratingselement in de eerste plaats haar oorsprong vindt in processen die soms honderden miljoenen jaren teruggaan, is een inleiding over geologie heel zinvol, te meer omdat de kenmerken van de steen er nauw mee samenhangen.





# Hoofdstuk 1

## Inleiding

### 1.1 Geologische begrippen

#### 1.1.1 Omschrijvingen

Vooreerst dient een aantal begrippen te worden omschreven.

Geologie is de wetenschap die de voor directe waarneming toegankelijke delen van de aarde bestudeert.

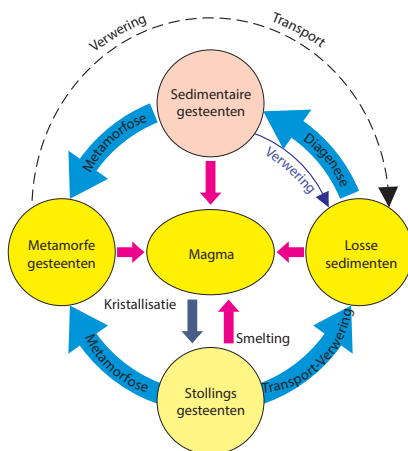
Een mineraal is een vaste stof met een geheel vaststaande chemische samenstelling en atoomstructuur. De voornaamste parameters om mineralen te identificeren, zijn de dichtheid, de hardheid (op de mohs-schaal), de glans (eigenschap om licht te weerkaatsen), de splijting of breuk, het eventuele bruisen onder chloorwaterstof, de kleur en bijzondere structuren (tweelingkristallen). Bij deze algemene kenmerken komen nog bepaalde bijzondere eigenschappen zoals radioactiviteit, magnetisme en fluorescentie.

Minerologie is de wetenschap die mineralen bestudeert. Zij hangt nauw samen met kristallografie en petrologie.

Een gesteente is een samenklontering van materialen in een losse vorm (grond, zand, klei, enz.) of vaste vorm (steen), die voortdurend evolueert in de gesteentecyclus. Het is doorgaans uit verschillende soorten van mineralen gevormd.

Petrografie is de wetenschap die zich bezighoudt met de beschrijving, de classificatie en het ontstaan van gesteenten. Zij ontleedt de omstandigheden waarin ze zijn ontstaan en verschaft zo een beter inzicht in de geschiedenis van de aarde.

#### 1.1.2 Gesteentecyclus



**Figuur 1.1** – Vereenvoudigde weergave van de gesteentecyclus (Bron: WTCB TV 228 [1])

Een gesteente is niet inert, zoals men zou kunnen denken. Het evolueert onophoudelijk, maar uiterst langzaam. De tekening van figuur 1.1 geeft de drie hoofdgroepen van gesteenten weer, en de processen voor de vorming ervan. Deze weergave geeft aan dat die processen een cyclus volgen.

**Magma** is het hoofdbestanddeel van de buitenmantel van de aarde. Het vormt het uitgangspunt voor de gesteentecyclus, die gemiddeld honderd miljoen jaren duurt.

Door opstijging van magma via de spleten in de aardkorst, waarna kristallisatie optreedt, ontstaan **magmatische gesteenten**, die vroeger **stollingsgesteenten** werden genoemd.

Deze gesteenten ondergaan erosie- en verweringsverschijnselen, met als voornaamste resultaat dat de meeste bestanddelen zich in diverse vormen afscheiden. Een deel wordt meegevoerd naar bezinkbekkens, waar het zich ophoopt in lagen die op de duur sedimenten vormen.

Met verloop van tijd verzakken de sedimenten, ondergaan zij versteningsverschijnselen (*verdichting met uitdrijving van water en verkittung van de korrels*) en vormen zij een **klastisch sedimentair gesteente**. Soms voegt zich daar nog een biologische component bij, waardoor een *carbonaathoudend gesteente*, een *koolstofhoudend gesteente* (*steenkol, veen, bruinkool*) of een *koolwaterstof* ontstaat.

Vervolgens kunnen sedimentaire en magmatische gesteenten tektonische bewegingen ondergaan, die gepaard gaan met temperatuur- en drukveranderingen waardoor de vaste gesteenten in *metamorfe gesteenten* veranderen, of in vloeibare gesteenten (*magma*). Hiermee is de cirkel rond.

De duur van de verschillende fasen in de cyclus wisselt sterk. Gesteente dat met magma in aanraking komt, kan in enkele dagen metamorferen. Een sedimentair gesteente kan er miljoenen jaren over doen om zich te vormen of om te verweren.

## 1.1.3 Classificatie van gesteenten

Natuursteen kan worden ingedeeld volgens een wetenschappelijke classificatie of naar commerciële benaming.

### 1.1.3.1 Wetenschappelijke classificatie

Tabel 1.1, ontleend aan PTV 844 [2], geeft de hoofdkenmerken van de verschillende groepen weer.

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
1. Magmatische gesteenten	1.1 Dieptegesteenten	1.1.1 Zuur	1.1.1.1 Syeniet 1.1.1.2 Graniet 1.1.1.3 Granodioriet
		1.1.2 Intermediair	1.1.2.1 Dioriet 1.1.2.2 Monzoniet
		1.1.3 Basisch	1.1.3.1 Gabbro
		1.1.4 Ultrabasisch	1.1.4.1 Peridotiet 1.1.4.2 Duniet
		1.1.5 Foïdoliet	
	1.2 Vulkanische gesteenten	1.2.1 Zuur	1.2.1.1 Trachiet 1.2.1.2 Rhyoliet 1.2.1.3 Daciet
		1.2.2 Intermediair	1.2.2.1 Andesiet 1.2.2.2 Latiet
		1.2.3 Basisch	1.2.3.1 Basalt
		1.2.4 Ultrabasisch	1.2.4.1 Tefriet
		1.2.5 Pyroclastisch	1.2.5.1 Vulkanisch tufsteen

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
	1.3 Ganggesteenten (subvulkanisch)	1.3.1 Zuur	1.3.1.1 Pegmatiet 1.3.1.2 Syenietporfier 1.3.1.3 Granietporfier
		1.3.2 Intermediair	1.3.2.1 Diorietporfier
		1.3.3 Basisch	1.3.3.1 Gabbroporfier
1.3.3.2 Doleriet			
2. Sedimentaire gesteenten	2.1 Silicaathoudende gesteenten	2.1.1 Zandsteen	2.1.1.1 Kwartsareniet
			2.1.1.2 Lithisch areniet
			2.1.1.3 Arkose en subarkose
			2.1.1.4 Wacke
			2.1.1.5 Kalkzandsteen
			2.1.1.6 Ijzerzandsteen
	2.1.2 Schieferige zandsteen		
	2.1.3 Kleisteen en schalie		
	2.1.4 Mergel		
	2.1.5 Vuursteen en verkiezelingen		
	2.1.6 Conglomeraat, puddingsteen, breccië		
	2.2 Carbonaathoudende gesteenten	2.2.1 Kalksteen	2.2.1.1 Micritische kalksteen
2.2.1.2 Fossilhoudende kalksteen			
2.2.1.3 Oölitische kalksteen			
2.2.1.4 Kalksteentuf en travertijn			
2.2.1.5 Brecciëvormige kalksteen			
2.2.2 Dolomietrijke kalksteen			
2.2.3 Kalkrijk dolomiet			
2.2.4 Dolomiet			
2.2.5 Klastische kalksteen			
3. Metamorfe gesteenten	3.1 Gefolieerde gesteenten	3.1.1 Leisteen	
		3.1.2 Fylliet en kwartsfylliet	
		3.1.3 Micaschist	
		3.1.4 Gneis	
		3.1.5 Amfiboliet en eclogiet	
		3.1.6 Myloniet	
	3.2 Niet-gefolieerde gesteenten	3.2.1 Marmer	3.2.1.1 Calciethoudend marmer
			3.2.1.2 Dolomitisch marmer
		3.2.2 Kwartsiet	
		3.2.3 Migmatiet	
		3.2.4 Hoornrots	
		3.2.5 Granuliet	
3.2.6 Serpentiniet			
<b>Opmerking:</b> de term "porfier" wordt gebruikt voor elk magmatisch (vooral vulkanisch) gesteente met grote kristallen (bijvoorbeeld veldspaten) in een fijnkorrelige (microlithische) grondmassa.			

Tabel 1.1 – Classificatie van gesteenten (volgens PTV 844 [2])

Deze classificatie heeft het nadeel dat zij vrijwel alleen door geologen begrepen wordt, maar geeft wel een aanwijzing voor de eigenschappen en samenstelling van natuursteen.

### 1.1.3.2 Commerciële benaming

Naast een wetenschappelijke naam heeft natuursteen ook een commerciële benaming, die niet steeds verband houdt met de aard van het gesteente. Deze commerciële benaming kan ook een reeks gesteenten aanduiden.

Zo stemmen de commerciële benamingen marmer (*sedimentaire en metamorfe gesteenten die gepolijst kunnen worden*) en graniet (*magmatische en metamorfe gesteenten die gepolijst kunnen worden*) niet overeen met wat de wetenschap onder marmer (*een metamorf gesteente*) en graniet (*een magmatisch gesteente*) verstaat.

Commerciële benamingen kunnen soms ook oneigenlijk worden gebruikt. Zo is de ingeburgerde term “*petit granit*” (voor Belgische blauwe hardsteen) in feite geen graniet, maar een variëteit van kalksteen.

De Europese norm NBN EN 12440 [3] geeft per land een overzicht van de officiële commerciële benamingen en de wetenschappelijke namen van een groot aantal natuursteensoorten. De commerciële benamingen van niet-Europese steensoorten zijn er niet in opgenomen. Volgens deze norm moet elke nieuwe commerciële benaming duidelijk verwijzen naar de geologische aard en de kleur van de steensoort en naar de streek waar zij ontgonnen wordt.

### 1.1.4 Overzicht van de geologie in België

In België bestaat de ondergrond hoofdzakelijk uit gesteenten van sedimentaire oorsprong; daarnaast komen zeldzaam enkele gesteenten van magmatische oorsprong voor. De grote verscheidenheid van de eerste groep is het gevolg van de vele klimaat- en zeespiegelveranderingen die het land in zijn geologische geschiedenis heeft doorgemaakt, en van twee grote tektonische vervormingen: de Caledonische orogenese en de Variscische (of *Hercynische*) orogenese.

De verschillende geologische terreinen zijn geordend in structurele eenheden die eveneens een gevolg zijn van de twee oude orogenesen en de latere evolutie van het land (zie tabel 1.2).

Tijd geleden (Mj)	Era	Systeem	Periode	Serie	Ontgonnen steenniveaus <sup>(1)</sup>				
1,7	CENOZOÏCUM	QUARTAIR	pleistoceen	holoceen					
				pleistoceen					
65		TERTIAIR	neogeen		plioceen				
					mioceen				
			paleogeen		oligoceen				
					eoceen	<b>zandige kalksteen</b>			
	paleoceen				<i>kwartsietzandsteen</i>				
245	MESOZOÏCUM	SECUNDAIR	krijt	boven-	<i>vuursteen</i>				
				onder-					
			jura		malm				
					dogger				
					lias	<b>zandige kalksteen</b>			
trias									
590	PALEOZOÏCUM	PRIMAIR	perm						
						carboon	silesiaan <sup>(2)</sup>	stephaniaan <sup>(2)</sup>	
								westfaliaan <sup>(2)</sup>	
							dinantiaan <sup>(2)</sup>	namuriaan <sup>(2)</sup>	<i>zandsteen</i>
								viseaan <sup>(2)</sup>	<b>kalksteen</b>
								tournaisiaan <sup>(2)</sup>	<b>kalksteen en dolomiet</b>
						devoon		boven-	<b>zandsteen en kalksteen</b>
								midden-	<i>kalksteen</i>
								onder-	<b>zandsteen, kwartsiet en arkose</b>
						siluur		boven-	
								onder-	
						ordovicium		boven-	<i>porfier en kwartsiet</i>
								midden-	
								onder-	
						cambrium		boven-	
midden-									
onder-	<i>kwartsiet</i>								
<b>PRECAMBRIUM</b>									
<sup>(1)</sup> Tegenwoordig ontgonnen steenniveaus voor toepassing in kleinschalige elementen <b>vet</b> – Voorheen ontgonnen steenniveaus voor toepassing in kleinschalige elementen <i>cursief</i> . <sup>(2)</sup> Deze benamingen komen niet voor in de recentste versie van de internationale stratigrafische tabel ( <a href="http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale">www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale</a> [4]). Toch worden zij in deze tabel vermeld, omdat zij in België zeer algemeen worden gebruikt.									

**Tabel 1.2 – Stratigrafische schaal en in België ontgonnen steenniveaus**



Zoals de tabel 1.2 laat zien, dateren de steenniveaus die in hoofdzaak voor de fabricage van kleinschalige elementen worden ontgonnen uit het paleozoïcum of primair, de jura en het paleogeen. Daarbij kan een onderverdeling worden gemaakt in verschillende perioden, die hierna worden beschreven.

#### 1.1.4.1 Onder-paleozoïcum (540-408 Mj: cambrium, ordovicium, siluur)

De oudst bekende gesteenten in België dateren uit het onder-paleozoïcum en komen voor als klastische sedimentaire gesteenten (*schist, fyllet, leisteen, siltiet, kwartsfyllet, zandsteen en kwartsiet*), waarin magmatische intrusiegesteenten (*porfier*) voorkomen.

Deze gesteenten dagzomen in de valleien van het Brabantse Massief (*geen ontginning, behalve porfier*), in de "Samber-Maasstrook" tussen Presles en Hermalle-sous-Huy (*geen ontginning*) en in sommige Ardense massieven zoals het massief van Stavelot (*ontginning als aggregaten en siersteen*).

#### 1.1.4.2 Devoon (408-355 Mj)

Het onder-devoon kenmerkt zich door de aanwezigheid van klastische sedimentaire gesteenten (*zandsteen, kwartsiet, enz.*), waaruit in de Ardennen plaatselijk aggregaten en siersteen worden gewonnen.

Het midden-devoon kenmerkt zich door een afwisseling van klastische sedimentaire gesteenten en kalkgesteenten (*koraalformaties van het givetiaan*), die ten noorden van de Ardennen ontgonnen worden als aggregaten en voor industriële toepassingen.

Het boven-devoon kenmerkt zich door een onderste deel (*frasniaan*), dat voornamelijk uit kalksteen bestaat, en een bovenste deel (*famenniaan*), dat opgebouwd is uit micarijke klastische sedimentaire gesteenten (*famenezandsteen, psammiet van de Condroz, enz.*). Uit beide delen worden aggregaten en siersteen gewonnen.

#### 1.1.4.3 Carboon (355-295 Mj)

Het carboon wordt verdeeld in twee grote subperioden:

- het **dinantiaan** (*onder-carboon*) kenmerkt zich door in hoofdzaak carbonaathoudende gesteenten, zoals kalksteen en dolomiet van het tournaisiaan en kalksteen van het viseaan. Deze steenniveaus worden in het Doornikse, de streek van Soignies, de valleien van de Samber, Maas en zijrivieren, de Condroz en het stroomgebied van de Vesder voornamelijk ontgonnen voor natuursteenverhardingen, als siersteen, voor industriële toepassingen en als aggregaten;
- het **silesiaan** (*boven-carboon*) kenmerkt zich door klastische sedimentaire gesteenten (*schist, zandsteen*). Hier werden vroeger steenkool (*namuriaan en westfaliaan*) en mineralen (*aluin, ijzersulfide*) gewonnen, evenals zandsteen van de formatie van Andenne, dat gebruikt werd om straatkeien en breukstenen te vervaardigen en thans ontgonnen wordt voor de fabricage van aggregaten of als bron van siliciumdioxide voor de siderurgie (*Gives, Villerot*).

#### 1.1.4.4 Jura (203-135 Mj)

De jura kenmerkt zich door afzettingen van conglomeraten en vervolgens zand-, zandige kalksteen- of mergelniveaus, die in Lotharingen ontgonnen worden als siersteen of als aggregaten.

#### 1.1.4.5 Paleogeen (65-23 Mj)

Het paleogeen bestaat in hoofdzaak uit losse terreinen waarin verharde horizonten kunnen voorkomen die plaatselijk ontgonnen worden; voorbeelden zijn de zandsteenniveaus van het landeniaan en de zandige kalksteen van het brusseliaan.

### 1.1.5 Beschrijving van de belangrijkste in België ontgonnen gesteenten

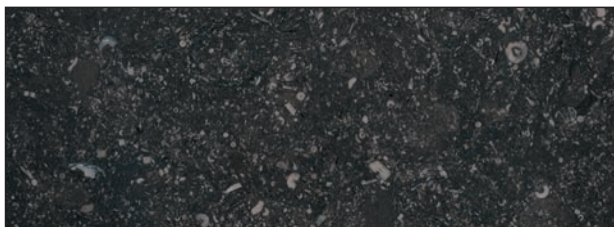
Hierna volgt een beschrijving van de belangrijkste gesteenten die in België voor de fabricage van kleinschalige elementen worden ontgonnen.

#### 1.1.5.1 Carbonaathoudende sedimentaire gesteenten of kalkgesteenten

Carbonaathoudende sedimentaire gesteenten zijn sedimentaire gesteenten samengesteld uit calciumcarbonaat ( $CaCO_3$ ) met een variabele toeslag van siliciumdioxide ( $SiO_2$ ) en klei. Zij zijn vaak het resultaat van opeenstapeling van resten van kalkhoudende skeletten van dieren of algen of van opbouw daarvan (*biologische kalksteen van riffen*), en in mindere mate van chemische of biochemische neerslag.

De nomenclatuur die traditioneel in België wordt gebruikt, onderscheidt twee soorten van kalksteen:

- **blauwe hardsteen**, genoemd naar de kleur. Het betreft meestal compacte, zeer dichte kalksteensoorten. Er bestaan verscheidene variëteiten, met als voornaamste:
  - zogenoemd "*petit granit*": een kalksteensoort die zeer rijk is aan crinoïden, met een donker vers breukvlak en een duidelijk of minder duidelijk grijsblauw patina. Zij komt uit terreinen met de stratigrafische ouderdom van het midden- of boven-tournaisiaan (dinantiaan). Dit materiaal wordt om zijn kenmerken vaak gebruikt, vooral voor buitenvloeren;
  - *blauwe hardsteen uit het viseaan* (dinantiaan): is meestal fijner van korrel en bevat doorgaans meer kalk dan "*petit granit*", waardoor hij een lichter grijs patina vertoont;
  - *Doornikse steen* (dinantiaan): heeft variabelere kenmerken, is enigszins kiezelhoudend en vertoont een patina met een lichte beige schakering;



**Figuur 1.2** – Gepolijst "*petit granit*" (Foto: ©PierresEtMarbresDeWallonie)

- **witte steen**: poreuzere kalksteen met een lichte kleur (gebroken wit, beige en geel), gewonnen uit lagen van het secundair of het tertiair. Wordt zelden in buitenvloeren toegepast.

### 1.1.5.2 Klastische sedimentaire gesteenten

De belangrijkste klastische sedimentaire gesteenten die in België ontgonnen worden, zijn:

- **famennezandsteen** (*boven-devoon*): bestaat voor een aanzienlijk deel uit fijne kwartskorrels (*met doorgaans een diameter tussen 0,05 en 0,15 mm*), samengehouden door een bindmiddel van variabele aard: kiezel-, silicaat- of zelfs wat kalkhoudend, met enkele bijmineralen waaronder mica in fijne schilfers. De aanwezigheid van dit laatste mineraal verantwoordt de traditionele benaming "psammiet". Deze zandsteen bestaat in zeer uiteenlopende tinten, die helder (*geel, groen, rood, roestbruin*) of dof (*grijs, grijsgroen, grijsblauw, wijnmoer*) kunnen zijn en waarmee oppervlakken met veel kleurvariatie kunnen worden verkregen. Zandsteen die schist- of grove horizonten (zeer grofkorrelige zandsteen en puddingsteen) en/of insluitsels van vreemde bestanddelen bevat, wordt afgekeurd;
- **zandsteen uit het onder-landeniaan** (*paleogeen*): bevat ongewone afzettingen. Zandsteenblokken van allerlei afmetingen komen los uit dikke zandseries. Deze blokken, met een bobbelig uitzien omhulsel, kunnen aanzienlijke afmetingen aannemen zonder echte gelaagdheid te vertonen. De grondmassa van kwartskorrels wordt samengehouden door een kiezelhoudend bindmiddel, dat deze materialen er nagenoeg als kwartsiet doet uitzien en hen een zeer goede sterkte bezorgt. Het gesteente heeft een heldere tint en vertoont een gebroken wit tot beige vers breukvlak. Bij toepassing als straatkei krijgt het een zeer karakteristiek rossig patina, dat wellicht verband houdt met de aanwezigheid van wat metaalzouten in de steen;
- **kalkachtige zandsteen en zandige kalksteen**: tussenvormen die bestaan uit een grondmassa van kwartskorrels, samengehouden door een kalkhoudend bindmiddel. Zij worden gewonnen uit zandterreinen uit het secundair (*sinemuriaan*) of tertiair (*brusseliaan*) en de mengverhouding tussen kiezel- en kalkbestanddelen varieert. De kleur gaat van beige tot grijsgeel of zelfs oker. Sommige bestanddelen vertonen kleiverwering of aanzienlijke holten;
- **kwartsiet uit het onder-devoon**: bestaat uit vrij grove kwartskorrels, samengehouden door een kiezelhoudend bindmiddel. Dit geeft een uiterst compact gesteente met een roomwitte, zeer lichtroze kleur. Het vertoont een conchoïdaal breukvlak – in tegenstelling tot zandsteen, dat een onregelmatiger, grofkorreliger uitzienend breukvlak vertoont. Sommige oppervlakken zijn roestbruin van kleur. Veel steensoorten die onder de naam "zandsteen" worden verhandeld, zijn eigenlijk kwartsiet;
- **arkose uit het onder-devoon** (*gedinniaan*): een homogene steensoort van roombeige tot geelachtige (soms zeer licht groenachtige) kleur, samengesteld uit grove kwartskorrels en veldspaat. De structuur is weinig compact en kan plaatselijk kleine holten van een halve centimeter doorsnede vertonen, die soms gevuld zijn met klei van dezelfde kleur. Sommige oppervlakken kunnen plaatselijk een roestbruine kleur aannemen;
- **vuursteen**: in de vorm van zeer harde concreties aanwezig in krijt van het maastrichtiaan (*krijt, secundair*). Deze grijze tot grijsblauwe kiezelklompen kunnen worden bewerkt tot decoratieve straatkeien of tot regelmatige of minder regelmatige breukstenen.



**Figuur 1.3** – Zandsteen van de Condroz (Foto: ©PierresEtMarbresDeWallonie)

### 1.1.5.3 Porfirische gesteenten

Porfier is een intrusief magmatisch gesteente dat voornamelijk uit  $\text{SiO}_2$  (+ 65 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (+ 16 %) en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (+ 7 %) is samengesteld. Het is een steensoort met een fijne en donkere, grijsblauwe, grijsgroene of wijnmoerkleurige grondmassa, doorspikkeld met zeer veel heldere veldspaatkristalletjes. Door zijn kenmerken is het een van de beste gesteenten voor aggregaten in België. Het wordt dan ook in hoofdzaak gebruikt als ballast voor spoorwegen, als bestanddeel van wegverhardingen en als aggregaat voor beton van hoge sterkte of zeer goede kwaliteit. Tegenwoordig worden er geen straatkeien meer mee gemaakt, maar oude porfierkeien worden nog vaak hergebruikt.

Deze gesteenten zijn enkel ontgonnen op de porfiervindplaatsen in Brabant en Henegouwen.

De kleuren lopen sterk uiteen, vooral naargelang van de veldspaatsoort (*wit, grijs, roze of zelfs rood*), en vertonen micaspikkels (*wit of zwart*). Deze twee silicaten, veldspaat en mica, kunnen van in het begin verweerd zijn (*wat doorgaans te zien is aan bruinachtige tinten*), waardoor het materiaal zich slecht kan gedragen. Ook is het oppassen voor microbreuken, die de steen bros kunnen maken.



Figuur 1.4 – Porfier

### 1.1.6 Beschrijving van buitenlandse steensoorten

Naast de steensoorten van Belgische herkomst bestaat een grote verscheidenheid steensoorten uit het buitenland, die in België eveneens in keibestratingen, tegelbestratingen en trottoirbanden worden toegepast.

Hierna volgt een overzicht van de voornaamste buitenlandse steensoorten die momenteel in ons land worden gebruikt. De lijst is niet volledig, want er komen geregeld nieuwe variëteiten op de markt.

#### 1.1.6.1 Sedimentaire gesteenten

Bij de sedimentaire gesteenten die het vaakst in België worden gebruikt, dienen twee grote groepen te worden vermeld:

- **de kalksteengroep**, met als voornaamste vertegenwoordigers:
  - *lerse blauwe hardsteen*: een compacte crinoïdenkalksteen van grijsblauwe kleur uit het viseaan (*carboon, primair*), die plaatselijk schelp- en koraalfossielen bevat;
  - *dolomietkalksteen of kalkrijk dolomiet uit Shandong (NO.-China)*, ook “*kalksteen van Quinglong*” of “*kalksteen van Jining*” genoemd: oölitische of pisolithische kalksteen uit het cambrium, die deels (voor 10 – 20 %) gedolomitiseerd en weinig poreus is en lensvormige structuren met wisselende

hoeveelheden metaalzouten bevat. Hij is arm aan fossielen. Het patina is grijs met beige schake-  
ringen en kan naar bruinachtiger tinten neigen;

- *Vietnamese blauwsteen (N.-Vietnam)*: gesteente met een zeer grote verscheidenheid van structu-  
ren en texturen, fossielinhoud en tinten (*van lichtgrijs over blauwgrijs tot antracietgrijs*). Het uiterlijk,  
het patina en het gedrag variëren evenzeer, tot metamorfe gesteenten zoals marmer;
  - *kleihoudende kalksteen uit Kotah (Rajasthan – N.-India)*: gesteente met een diepe of minder diepe  
kleur (*beige, groenachtig of grijsachtig*), dat echter een polijstbaarheid vertoont die moeilijk te ver-  
enigen is met de stroefheid die van een natuursteenverharding verwacht wordt. Daarom wordt  
het tegenwoordig niet al te vaak meer gebruikt, behalve als het om hergebruikte straatkeien gaat;
- **de zandsteengroep**, met als voornaamste vertegenwoordigers:
- *Kandlazandsteen (Rajasthan – N.-India)*: zeer rijk aan kwarts en in twee variëteiten verkrijgbaar, de  
ene egaal grijs geschakeerd, de andere met een waaier van diepere kleuren (*grijsbeige, bruinachtig  
tot bruin, rozerood*). Deze steen is duidelijk of minder duidelijk gelaagd;
  - *Dong Fongzandsteen (NO.-China)*: arkosezandsteen met een grofkorrelige textuur, die soms echte  
puddingsteen wordt en doorgaans pastelkleuren vertoont (*grijs, roze, lichtgroen, beige*).

### 1.1.6.2 Magmatische gesteenten

Omdat de productie van dergelijke gesteenten in België is stopgezet, worden gesteenten uit deze  
groep tegenwoordig massaal geïmporteerd.

Onder de magmatische gesteenten die het vaakst in België worden toegepast, dienen de volgende  
grote groepen te worden vermeld:

- **de granietgroep**, die in België voornamelijk wordt gebruikt wegens de grove korrel, de ongewone  
kleuren en het vermogen om er bij buitentoepassingen (in tegenstelling tot marmergesteenten, die  
dof worden in weer en wind) en als natuursteenverharding gepolijst te blijven uitzien. Hoewel er  
veel Europese winplaatsen zijn (*Vogezen, Bretagne, Tarn, Schotland, Sardinië, enz.*), zijn de belangrij-  
ste vertegenwoordigers momenteel:
- *Chinees graniet*, met een grote verscheidenheid van texturen, kleuren en kwaliteiten. Meestal  
draagt het een letter G, gevolgd door een nummer. Nummers in de 300-reeks stemmen dan over-  
een met het noorden van China, terwijl nummers uit de 600-reeks op een herkomst uit het zuiden  
van China wijzen. Soms wordt aan deze granietsoorten een zuiders klinkende naam gegeven;
  - *Portugees graniet*: draagt eveneens een letter, gevolgd door een nummer;
  - *Zweeds rood graniet*: werd in het verleden gebruikt voor natuursteenverhardingen van grote op-  
pervlakte, onder meer in Antwerpen en Brussel (*Paleizenplein*). Straatkeien van rood graniet wor-  
den vaak hergebruikt.

**Opmerking:** onder de verzamelnaam “graniet” wordt een groot aantal grofkorrelige magmatische  
gesteenten en metamorfe gesteenten zoals **gneis** verhandeld, die zich kenmerken door een dui-  
delijke foliatie en geconcentreerde micariveaus (*wat een duidelijke oriëntering in het materiaal  
brengt – in tegenstelling tot echte granietsoorten, die nagenoeg isotroop zijn*);

- **de basaltgroep**, met fijnkorrelige gesteenten die donker of zwart van kleur zijn. De belangrijkste  
vertegenwoordigers zijn:
- *Chinees basalt uit Funding (Z.-China – G 684)*: grijszwart van kleur, met donkerder vlakken. De com-  
merciële benaming is “Twilight” (er zijn echter tal van andere benamingen);
  - *Chinees “Hainan Black”-basalt*: bestaat in verschillende varianten, zoals “Basaltlava” (zeer poreus  
gesteente), “Cave Hole” of “Micro Holes” (*matig poreus gesteente*) en “Minute Hole” (*weinig poreus  
gesteente*);



- *Vietnamees basalt*: donker van kleur, met zeer kleine beige mineralen. De commerciële benaming is "Vinabasalt";
- *Eifelbasalt (Duitsland)*: fijnkorrelig zwart gesteente, dat als sinds de oudheid ontgonnen wordt voor de fabricage van straatkeien en molenstenen. De donkere straatkeien worden bij ons als marering gebruikt, in contrast met plaatselijke materialen;
- **de porfiergroep**, met vele variëteiten uit verschillende landen (Italië, China, Argentinië) en met kenmerkende kleuren en texturen. Zo is Italiaans porfier (Trentino – N.-Italië) gemakkelijk van Belgisch porfier te onderscheiden door de textuur (met grote, heldere, meer verscheiden kristallen van het ganggesteente) en vooral door de fellere kleuren, die variëren tussen rossig oker en diep wijnmoer.

**Opmerking:** de term "porfier" dekt verschillende gesteentesoorten. Zo is Belgisch porfier (ontgonnen in de streken van Quenast en Lessen) eigenlijk kwarsrijk microdioriet met een porfirische structuur, terwijl Italiaans porfier met kwartsdioriet overeenstemt.

### 1.1.6.3 Metamorfe gesteenten

De Belgische ondergrond bevat nagenoeg geen duidelijk metamorfe gesteenten. De belangrijkste groep metamorfe gesteenten die in wegen wordt toegepast, is kristallijn marmar.

Onderstreept moet worden dat dergelijke materialen nauwelijks geschikt zijn voor wegenbouwtoepassingen in ons veeleisende klimaat. Zij worden vooral gebruikt om bepaalde weggedeelten met een bijzondere bestemming – zoals voetgangersoversteekplaatsen, doelgroepstroken of parkeerplaatsen – aan te duiden door een visueel contrast te maken met regionale gesteenten, die doorgaans nogal donker van kleur zijn.

Onder de marmersoorten die in België het meest worden gebruikt, kunnen worden vermeld:

- *Carraramarmer* uit Italië (Toscane);
- "*Muğla Silver*"-marmer uit Turkije (Afyon).

## 1.2 Historische context

Steenverhardingen hebben in onze streken een traditie die duizenden jaren teruggaat. Niet alleen zijn de natuurlijke hulpbronnen in de ondergrond hier heel rijk en verscheiden, maar ook hebben de ontginnings- en bewerkingstechnieken en de daarop aansluitende verwerkingsprocedures een zeer mooie ontwikkeling doorgemaakt – dermate zelfs dat zij vroeger op ruime schaal werden geëxporteerd, zowel wat materialen als bekwame arbeidskrachten betreft.

### 1.2.1 Geschiedenis van natuursteenverhardingen en bestrate constructies

Zonder terug te gaan naar de mythische Romeinse heerbanen, waarvoor in onze streken soms steenslag is gebruikt, is de zorg voor correcte aanleg van wegen met steen al heel vroeg tot uiting gekomen en heeft zij zich van in de middeleeuwen bijzonder goed ontwikkeld. Het ging daarbij zowel om wegen binnen de stad, die moesten voldoen aan eisen met betrekking tot comfort, hygiëne en soms prestige, als om wegen tussen steden. Deze laatste zijn altijd van cruciaal belang geweest om handel en goederenvervoer te vergemakkelijken en troepenbewegingen te versnellen.

Vooral ten tijde van de Oostenrijkse overheersing hielden de politieke overheden dan ook nauw toezicht op de productie van straatkeien voor de export, om naburige landstrekken, die mogelijke tegenstanders vormden, niet te zeer te bevoordelen en tegelijk toch de economische belangen te vrijwaren.

Wat de toenmalige bestratingstechnieken betreft, zijn de gebaren van de straatmakers tot in de XXe eeuw nagenoeg ongewijzigd van generatie tot generatie doorgegeven. Het straatmakersberoep deed ware dynastieën van gespecialiseerde arbeiders rijzen (bv. *Waterloo*), die soms met de natuurlijke stroming van producten en de export ervan naar het buitenland zijn uitgezwermd om verre klanten de nodige doorgewinterde arbeidskrachten te bezorgen die nodig waren voor een goede verwerking van de geleverde producten.

In die tijd al werden ontwerpen en modellen voor bestratingen met soms zeer uitgewerkte tracés volkomen op de omgeving en de plaats afgestemd. De gebruikelijke stedelijke modellen zijn met verloop van tijd duidelijk geëvolueerd.

Opmerkelijk is dat ook vroeger al aan geluidscomfort werd gedacht. Sommige bereden weggedeelten werden namelijk in hout op zijn kant aangelegd, om het geklap van paardenhoeven en het geratel van karren en rijiutgen te dempen (*kasteel van Versailles*).

Daarnaast was, om technische redenen van duurzaamheid en ter wille van comfort en esthetiek, een strikte hiërarchie tussen materialen en producten ingesteld. In het bereden gedeelte, dat zwaar belast werd, mochten enkel materialen van hoge sterkte worden toegepast, zoals porfier en zandsteen. Bij hellende straten werd porfier echter geweerd, omdat het vooral voor paardenhoeven te glad was.

Voor binnenplaatsen tussen stallen werd zelfs de voorkeur gegeven aan wat brokkelige zandsteensoorten (zoals die uit de streek van *Attre en Brugelette*), die voor paarden comfortabeler waren. Trottoirs, die minder zwaar werden belast, werden nooit met porfier verhard, maar wel met zandsteen dat bewerkt werd tot platte, vierkante keien ("platines") die meestal diagonaal werden gelegd, of met tegels van blauwe hardsteen in verschillende formaten.

Deze zeer doordachte toepassing van materialen en producten gold lang als dé leidraad voor stadsinrichting, die het stadsbeeld in onze streken sterk heeft getekend.



**Figuur 1.5** – Verhardingen uit vroegere tijden  
(Foto: ©PierresEtMarbresDeWallonie)

Maar het verkeer is snel veranderd, de auto heeft paard en kar vervangen, de belastingen zijn op sommige plaatsen zwaarder geworden en de comforteisen zijn geëvolueerd.

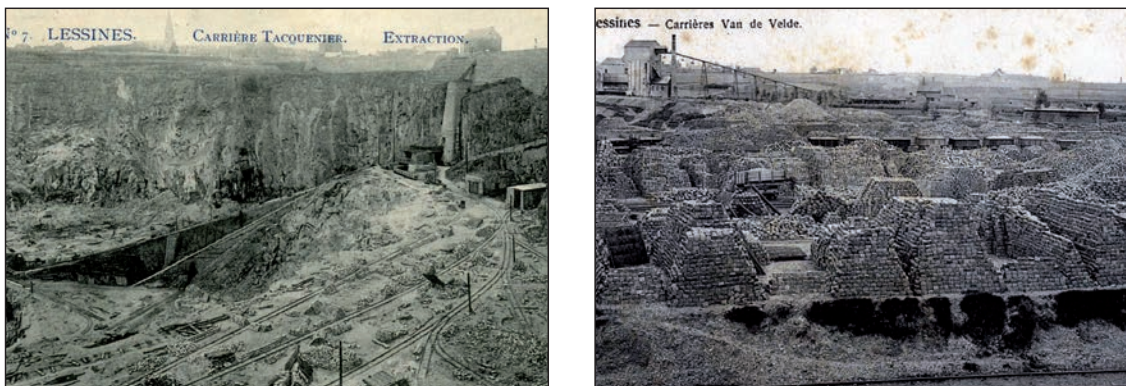
Na de Tweede Wereldoorlog verdwenen steenverhardingen dan ook op ruime schaal uit het straatbeeld en maakten zij plaats voor beton en asfalt. Talrijke steengroeven werden gesloten of stopten gewoon met de productie van straatkeien en legden zich toe op breuksteen. Porfier werd enkel nog gewonnen om gebroken te worden en zo aggregaten te leveren, die zeer gewaardeerd werden om hun prestaties.

Het duurde tot de jaren 1980 – met een vernieuwde belangstelling voor natuurlijke materialen, de regionalisering en een duidelijke politieke wil om hulpbronnen uit de ondergrond weer nuttig te gaan gebruiken – eer de straatkei zijn rentree maakte, eerst bij werkzaamheden om binnensteden weer leefbaar te maken en later op ruimere schaal. Maar het regionale aanbod was afgenomen en de deur ging open voor import, eerst uit andere Europese landen (*vooral graniet*) en later uit verdere landen (*China, India en in mindere mate Vietnam*). De ingevoerde materialen worden sinds meer dan vijftien jaar in België toegepast en hebben inmiddels de beprovingen van ons veeleisende klimaat ondergaan, zij het kennelijk met zeer wisselend succes.

## 1.2.2 Geschiedenis van de winning van gesteenten voor keibestratingen in België

Alle mogelijke vindplaatsen van gesteenten in België, waarvan de meeste in Wallonië liggen, zijn op een gegeven moment georganiseerd of op minder georganiseerde wijze ontgonnen, en in de meeste gevallen zijn hierbij ook straatkeien gefabriceerd. Maar deze lokale productie in de onmiddellijke omgeving van de winplaatsen is nooit tot een gestructureerde handel uitgegroeid.

- De ontginning van de enkele **vindplaatsen van porfier** (*magmatische gesteenten*) die interessant waren voor de vervaardiging van straatkeien dateert uit de XVIe eeuw, of zelfs nog van vroeger. De streken van Lessen, Quenast en ook wel Bierk werden intensief ontgonnen, hoewel er her en der ook wel andere ontgravingen zijn geweest. In 1705 al kreeg de weg van Bergen naar Brussel een porfierbestrating. Door de geringe uitgestrektheid van de vindplaatsen moest het porfier in steeds diepere steengroeven worden gewonnen; in het begin van de XXe eeuw werden deze groeven tot de grootste ter wereld gerekend. Voor deze diepe ontginning moesten ingenieuze systemen worden bedacht om mannen naar beneden te laten en materialen naar boven te brengen, zoals “descendeurs” (*grote metalen installaties die als lift fungeren*), kettingen zonder eind, wagons en kiepkarren die op echte sporen werden voortgetrokken, enz. Bovendien vormde veilig ontwerp en gebruik van deze installaties op duizelingwekkende hellingen een waar punt van zorg.



Figuur 1.6 – Winplaatsen van porfier (Foto's: ©PierresEtMarbresDeWallonie)

Het ontginnen ging moeizaam, evenals het handmatig bewerken tot verschillende soorten van straatkeien.

Er werden enorme hoeveelheden straatkeien geproduceerd, die per spoor werden vervoerd en grotendeels bestemd waren voor ruime export over zee. Deze onverslijtbare keien waren echt wereldwijd bekend. In 1846 leverde de steengroeve van Quenast 1 200 000 straatkeien aan de stad Parijs. In 1900 lagen er Belgische porfierkeien in Amerika en Australië. Na de Tweede Wereldoorlog dwong de massale toepassing van asfaltverhardingen de steengroeven hun activiteit bij te sturen en alleen nog aggregaten te produceren.

Naast dit porfier, dat de boventoon voerde, werden voor de productie van straatkeien nog vele andere gesteenten ontgonnen.

#### ■ **Vindplaatsen van zandsteen**

- *De traditionele “zandsteen van de Condroz”* heeft beslist de mooiste ontwikkeling doorgemaakt. De klassieke vindplaatsen bevatten een groot aantal banken waarvan de compactste, in het grijze gamma, de voorkeur genoten voor de vervaardiging van straatkeien; uit de andere werd meestal breuksteen gewonnen. In de streken waar ontgonnen werd, zoals op de rechteroever van de Ourthe ter hoogte van Poulseur, ontstonden zeer indrukwekkende industriële landschappen met nagenoeg ononderbroken, kilometers brede werkfronten. Een andere vindplaats, dicht bij de valleien van de noordelijke zijrivieren van de Samber en de Maas, leverde minder sterke, maar meer gekleurde variëteiten. Handmatige bewerking van deze gesteenten, onder rudimentaire beschutting, bleef een moeilijke taak, die naast lichamelijke kracht een materiaalkennis vereiste die enkel door lange praktijk te verwerven was. Ook nu nog gaat deze productie door, zij het in beperkte omvang en met modernere procedés.
- *Zandsteen uit het onder-landenaan* werd voornamelijk in twee streken gewonnen, die sinds de middeleeuwen daarvoor bekendstonden: de vindplaats van Bray (bij Binche) en de vindplaats van Tienen, beter bekend als “Tiens kwartsiet”. Ook hier was de productie verdeeld over straatkeien en breuksteen. De zeer bijzondere aard van de vindplaatsen verhinderde elke mechanisatie en de ontginning werd nog vóór de Eerste Wereldoorlog stopgezet.
- *Kwartzietzandsteen met kwartsiet uit het cambrium*, eveneens een zeer harde steensoort, werd vooral in de streek van Dongelberg en Opprebais ontgonnen, en op beperktere schaal in het oosten van Wallonië. Ook deze activiteit werd in het begin van de XXe eeuw gestaakt.

Deze laatste twee soorten zandsteen waren veel minder verbreid dan porfier en dan zandsteen van de Condroz.

- **Rolstenen** werden vroeger uit bepaalde delen van de bedding van de Amblève en de Vesder gewonnen. Zij werden op hun kant gelegd of als vloerbekleding toegepast. In onze streken is echter nooit een ware traditie van rolstenen vloeren gegroeid. Dit neemt niet weg dat plaatselijke toepassingen van deze specifieke materialen een regionale toets aan alleenstaande realisaties geven, die dan ook de moeite lonen om te worden bewaard of zelfs gerestaureerd.

Uit dit geologische overzicht komt naar voren dat de behoefte om materialen te importeren niet zo lang is gevoeld, omdat de regionaal beschikbare bronnen van hoge kwaliteit zijn en ruim volstaan om bouwplaatsen te bevoorraden.

### 1.2.3 Geschiedenis van de winning van gesteenten voor tegelbestratingen in België

De praktijk van tegelbestratingen heeft een heel andere geschiedenis. Tegels zijn immers behouwen stenen die in een vast verband met zo smal mogelijke voegen moeten worden gelegd, om een goed gedrag van de bestrating te waarborgen.

De materialen moeten dan ook goed behouwbaar zijn om nauwkeurig te kunnen worden bewerkt. In eerste instantie gebeurde dat met de traditionele bewegingen van een met een hamer aangeslagen puntbeitel (spitsijzer) en platte beitel, voordat de zaagmethoden werden geperfectioneerd. Voor dit zagen, dat al in de oudheid zijn intrede deed, werd vroeger een metalen blad zonder tanden gebruikt, dat met water en zand (*als slijpmiddel tegenwoordig vervangen door diamant*) werd gekoeld. Het duurde tot het midden van de XVIIIe eeuw voor er grote zagerijen in onze streken kwamen; eerst werden deze met waterkracht aangedreven, later met stoommachines en sinds het begin van de XIXe eeuw met elek-

triciteit. Hierdoor werd het mogelijk steenblokken direct in dunne plakken te zagen, waaruit dan zonder verdere grote moeilijkheden tegels van regelmatige vorm konden worden gezaagd.

Deze procedés waren al goed geperfectioneerd in het midden van de XIXe eeuw, toen het de gewoonte werd trottoirs duidelijk van rijbanen te scheiden. Tegels worden in onze streken namelijk niet gebruikt om bereiden oppervlakken te bestraten. Op dezelfde manier ontwikkelden zich lijnvormige elementen zoals trottoirbanden, meestal van behouwen steen – uit gekloven en bijgewerkt zandsteenmateriaal kunnen enkel rustieke trottoirbanden worden vervaardigd, met onregelmatige omtrekken.

Deze traditionele gewoonten zijn in aanzienlijke mate verdrongen door de technische vooruitgang, meer bepaald de intrede van diamantwerktuigen – een andere Belgische specialiteit, waarmee elk materiaal thans met grote nauwkeurigheid kan worden verzaagd.

## 1.3 Winning en fabricage van natuurstenen producten

De verkrijging van een natuurstenen straatkei, straattegel of trottoirband verloopt doorgaans in verscheidene fasen, van de winning op de vindplaats tot de eigenlijke fabricage van het product en de eventuele oppervlakbehandeling (*vooral voor tegels en trottoirbanden*).

### 1.3.1 Winning van de materialen

Uit de vindplaats worden ruwe blokken steen gehaald, die betrekkelijk parallelepipedisch van vorm zijn. Er bestaan daarvoor verschillende technieken, die worden toegepast naargelang van de te ontginnen steensoort en formatie. Afgezien van marginale technieken met hydraulische wiggen, waterstralen onder druk of uitrukken met een kraan bestaan er in hoofdzaak drie technieken:

- **mijnschieten**, waarbij boorgaten worden gemaakt en met explosieven worden gevuld. De ligging en de diepte van deze gaten is afhankelijk van de omstandigheden op de locatie en de aard van de springstof. De gaten worden met slagsnoeren verbonden, waardoor de springladingen in opeenvolgende reeksen kunnen worden afgeschoten. De hoeveelheid explosief en de volgorde voor het afschieten worden aangepast, om het blok los te maken zonder het te veel te beschadigen. De gebruikte explosieven zijn deflagrerend, waardoor de gassen en de schokgolven die deze laatste ontwikkelen het rotsblok zeer licht kunnen doen breken. Soms wordt nog zwart buskruit gebruikt, maar dit wordt tegenwoordig vaak vervangen door explosieven zoals Cisalex, Cisalite, enz. Deze springstoffen worden vaak in het snijvlak van het rotsblok aangebracht, volgens de strekking van het gesteente. Deze techniek wordt voornamelijk voor zandsteenwinning toegepast;
- **diamantkabelzagen**, waarbij een doorsnede in het gesteente wordt geslepen met een stalen kabel die bezet is met diamanten welke van elkaar gescheiden zijn door afstandsstukjes, veren en water. Deze techniek beperkt het materiaalverlies. Zij wordt vooral in kalksteen toegepast;
- **steenkettingzagen**, waarbij sleuven in het gesteente worden gemaakt met een soort kettingzaag waarvan de ketting bezet is met wolframcarbide tanden of diamantblokjes. Ook deze techniek beperkt het materiaalverlies. Zij wordt vooral in kalksteen en bij ondergrondse ontginning gebruikt.



## 1.3.2 Fabricage

In deze fase wordt een afgewerkt product vervaardigd, met een uiterlijk en een geometrische nauwkeurigheid die van de fabricagewijze afhangen. Van de twee wijzen die hierna beschreven worden, wordt de eerste meestal voor kiezelhoudende materialen toegepast en de tweede voor andere gesteenten.

### 1.3.2.1 Traditionele fabricagewijze

Bij deze techniek wordt het gesteente handmatig verkleind en wordt zoveel mogelijk gebruikgemaakt van het grote of kleinere vermogen dat het bezit om ten minste in één richting te splijten. Zij omvat de volgende bewerkingen:

1. **ruw uitnemen of afsplijten** van het blok: in de steengroeve houdt een arbeider de parallelepipedische blokken ruw uit met metalen wiggen of een hydraulische rotssplijter (DARDA). De blokken gaan in een laadbak naar een verwerkingsinstallatie. Daar worden zij tot platen verkleind (*ruwe platen van max. 20 cm dik, die manueel te hanteren zijn*);
2. **kloven van het blok of de platen** met een splijtmachine (*kloofmachine*) tot blokken met gelijksoortige afmetingen als het afgewerkte product;
3. **afwerken van het product (behouwen – vlakken)**: de onvlakheden worden verwijderd met een beitel en een hamer, of met een vlakhamer. Bij het vlakken worden de materialen op de juiste afmeting gebracht door de randen en de vlakken recht te maken.



**Figuur 1.7** – Afsplijten van een zandsteenblok



**Figuur 1.8** – Kloven tot blokken met gelijksoortige afmetingen als het afgewerkte product



**Figuur 1.9** – Behouwen en vlakken van zandsteenblokken

### 1.3.2.2 Machinale fabricagewijze

Hier worden de rotsblokken met diamantwerktuigen bewerkt. Daarbij wordt ook rekening gehouden met de kenmerken van het gesteente. Deze methode wordt tegenwoordig het meest toegepast, omdat zij een beter rendement biedt en een preciezere afwerking en constanter uiterlijk oplevert. Zij omvat de volgende bewerkingen:

1. **doorzagen** van het blok uit de groeve tot platen met een dikte die traditioneel tussen 2 en 12 cm ligt. Het vaakst worden daarvoor diamantschijven, -kabels of -bladen gebruikt;
2. **verzagen van de platen** tot de juiste afmetingen voor het afgewerkte product, met behulp van zaagmachines met een diamantschijf;
3. de ruw gezaagde oppervlakken kunnen als zodanig worden gebruikt of aan een **oppervlak- of een specifieke behandeling** worden onderworpen. De afwerkingen worden hierna aangegeven.

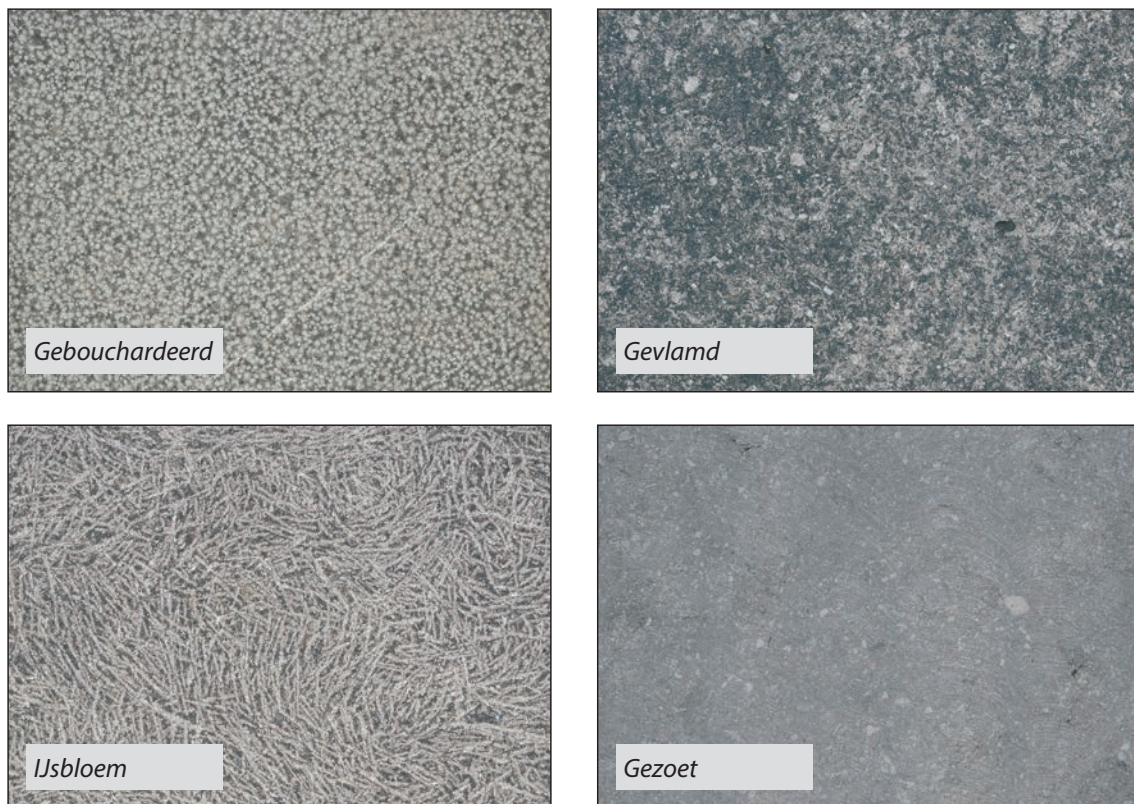
Er bestaat een grote verscheidenheid van afwerkingen naargelang van de gewenste behouwing (machinaal of handmatig) en toepassing. De onderstaande tabel geeft een overzicht van de voornaamste behouwingen en afwerkingen.

Effen afwerking	Fijne behouwing	Ruwe behouwing
Gezaagd of ruw gezaagd	Ijsbloem	Gekloven
Geslepen – Geschuurd	Oude frijnslag	Gepiketteerd
Gezoet	Gefrijnd met 20 groeven (of meer)	Gefrijnd met 12 tot 15 groeven
Gepolijst	Fijn gebikt	Grof gebikt
	Fijn gebouchardeerd (gehamerd)	Grof gebouchardeerd (gehamerd)
	Gegritstraald	Gegradeerd
		“Sclypé”
		Gevlamd
		Geribd

**Tabel 1.3** – Gebruikelijke behouwingen en afwerkingen (volgens TV 220 [5] en TV 228 [1])

De voornaamste afwerkingen die bij elementen voor wegverhardingen kunnen worden toegepast, zijn:

- **de gezaagde (of ruw gezaagde) afwerking:** verkregen door een zaagbewerking met diamantwerktuigen. Het zagen laat lichte sporen in het oppervlak na, in de vorm van kleine golvingen of rillen van maximaal enkele tienden van een mm diep. Deze sporen lopen evenwijdig met elkaar, volgens de richting die gevolgd werd door het zaagblad of de zaagdraad. Als een cirkelzaag werd gebruikt (wat bij kleinere oppervlakken vaak het geval is), zijn de sporen cirkelvormig;
- **de (ruw)geslepen of geschuurde afwerking:** verwijdert alle zaagsporen, maar de slijpmachines laten cirkelvormige streepjes na;
- **de gebouchardeerde of gehamerde afwerking:** het oppervlak wordt beslagen met hand- of machinale (bouchard- of tand)hamers, voorzien van punten die de steen bij inslag ruw maken. Door deze techniek krijgt het gesteente vaak een lichtere en egalere kleur;
- **de gepiketteerde afwerking:** verkregen door machinaal boucharderen met een cirkelvormige plaat, op grote vlakken. Bij piketteren zijn de uitstekende delen puntig, bij boucharderen afgerond;
- **de gegritstraalde afwerking:** verkregen door staalgrit onder druk op het steenoppervlak te spuiten (gritstralen). Ook deze techniek geeft het gesteente een lichtere en egalere kleur;
- **de gezandstraalde afwerking:** verkregen door een korrelvormig schuurmiddel onder druk op het steenoppervlak te spuiten;
- **de gevlamde afwerking:** het oppervlak van het materiaal wordt onderworpen aan een thermische schok, door een vlamstraal van ongeveer 1 700 °C op een plak gezaagde steen te richten. Hierdoor springen schilfertjes weg, wat de steen een ruwe textuur geeft. Deze behandeling kan de kleur van de steen veranderen.



**Figuur 1.10** – Verschillende soorten afwerkingen van “petit granit” (Foto’s: ©PierresEtMarbresDeWallonie)

Er bestaat momenteel een ruim assortiment van kunstmatig verouderde producten (getrommeld, enz.), met een uiterlijk of een patina dat oude materialen nabootst.

**Gezoete en gepolijste afwerkingen** worden verkregen met schurende slijpmachines, onder besproeiing met water. De glans hangt van de korrelfijnheid van het gebruikte schuurmiddel af.

Voor toepassingen in wegen zijn deze afwerkingen ongebruikelijk, wegens de geringe weerstand tegen uitglijden – vooral bij regenweer. Voor binnenvloeren kunnen zij wel worden gebruikt, maar dan moet de gladheid op voorhand terdege worden nagegaan.

De afwerking beïnvloedt in ruime mate het uiteindelijke uiterlijk en vooral de kleur van de steen. Zo zal een gepolijste afwerking de kleuren doorgaans versterken en donkerder maken, terwijl een gevlamde afwerking het kleurenpalet meestal zal afzwakken.

Soms kan de oppervlakafwerking ook de prestaties van het materiaal beïnvloeden. Voorts zijn sommige afwerkingen voor bepaalde groepen van gesteenten beter geschikt dan voor andere. Het is dus altijd belangrijk proeven te verrichten die relevant zijn voor het gebruik dat van de steen zal worden gemaakt. De veiligheid en het comfort van de weggebruikers moeten altijd vooropstaan.



# Hoofdstuk 2

## Karakterisering en certificering van materialen

Dit hoofdstuk handelt over de karakterisering en certificering van natuurstenen bestratingselementen en daarmee gecombineerde materialen, namelijk materialen voor straatlagen en voegmaterialen.

### 2.1 Karakterisering van natuurstenen bestratingselementen en proeven

#### 2.1.1 Referentiedocumenten

Voor toepassingen van natuursteen in wegen gelden verscheidene documenten, onder meer de Europese normen die in Belgische normen zijn omgezet en de toepassing voor buitenbestrating regelen – waaronder NBN EN 1341 [6], 1342 [7] en 1343 [8].

De Technische Voorschriften (PTV's) die de certificatie-instelling COPRO uitgeeft, zijn eveneens gezaghebbende bronnen. Terwijl wij deze regels schreven, waren de technische voorschriften voor “buitenplaveien” (PTV 841 [9]), straatkeien (PTV 842 [10]) en “boordstenen” (PTV 843 [11])<sup>1</sup> van natuursteen in revisie.

Om zo up-to-date mogelijk te zijn, hebben wij beslist ons te baseren op de herziene versies. Waar dat niet mogelijk was (doordat de wijzigingen nog ter discussie stonden), hebben wij ons gebaseerd op de voorliggende teksten en dat in onze handleiding vermeld.

Het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB) heeft dan weer een technische voorlichtingsnota (TV 228) gepubliceerd over “Natuursteen”<sup>[1]</sup><sup>2</sup>.

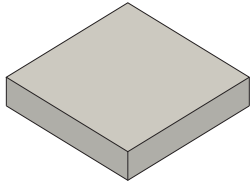
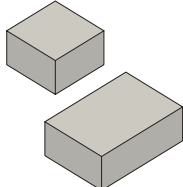
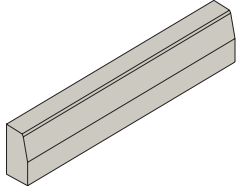
Ten slotte moet uiteraard ook rekening worden gehouden met de regels die zijn vastgelegd in de gewestelijke standaardbestekken: SB 250 [12], *CCT Qualiroutes* [13], en TB 2015 voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [14].

<sup>1</sup> De versies met revisiestatuscijfer 1.0, dit wil zeggen de niet-herziene versies, zijn te raadplegen op de website van COPRO ([www.copro.eu](http://www.copro.eu)).

<sup>2</sup> Deze nota is interactief en evolutief; ze is online te raadplegen op de website van het WTCB: <http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=tv-nit&pag=228>

## 2.1.2 Definities op basis van vorm en afmetingen

Natuursteenelementen voor buitenverharding worden op basis van vorm en afmetingen in drie soorten ingedeeld: tegels, straatkeien en trottoirbanden. Voor elke soort is een afzonderlijke Europese norm opgesteld, waarin de prestatie-eisen en beproevingsmethoden zijn beschreven.

	Tegels ("plaveien")	Straatkeien	Trottoirbanden ("boordstenen")
Definitie	Natuurstenen element verkregen door te snijden of te klieven en gebruikt als bestrijtingsmateriaal voor buitenverharding en wegenwerken, waarbij de werkbreedte meer dan twee keer de dikte is.	Kleinschalig natuurstenen element verkregen door te snijden of te klieven en gebruikt als bestrijtingsmateriaal, waarbij de werkbreedte kleiner is dan twee keer de dikte en de lengte kleiner is dan twee keer de breedte. De minimumdikte is 40 mm.	Natuurstenen element langer dan 300 mm, vooral gebruikt als kantopsluiting van een bestrating.
			
Norm	NBN EN 1341 [6]	NBN EN 1342 [7]	NBN EN 1343 [8]
PTV	PTV 841 [9]	PTV 842 [10]	PTV 843 [11]

**Tabel 2.1** – Definities voor natuurstenen elementen

Er bestaat een aanzienlijk verschil tussen een verharding met tegels en een verharding met straatkeien. Het onderscheid tussen tegels en straatkeien wordt gemaakt op grond van de breedte-dikteverhouding, volgens NBN EN 1341 [6] en NBN EN 1342 [7] (zie tabel 2.1). Bij straatkeien is de maximale verhouding van de lengte tot de dikte dus gelijk aan 4.

De soort bepaalt ook de toepassing: tegels worden gebruikt voor voetpaden, eventueel fietspaden of pleinen waar zeer uitzonderlijk verkeer op komt (laagste verkeerscategorie), terwijl straatkeien ook toegepast worden op wegen met verkeer.

### 2.1.2.1 Tegels

De tegels die in België worden verhandeld, zijn gewoonlijk rechthoekig of vierkant, met afmetingen tussen 15 cm x 15 cm en 60 cm x 30 cm. Zij zijn doorgaans tussen 5 en 8 cm dik.

Daarnaast bestaan er zogenoemde “breuktegels” van willekeurige vorm, die echter als verhardingsmateriaal voor openbare ruimten maar weinig worden gebruikt.

### 2.1.2.2 Straatkeien

In België worden drie soorten van natuursteen straatkeien verhandeld:

- de **traditionele mozaïekkei** is nagenoeg kubisch van vorm en wordt vervaardigd door middel van kloven. De gebruikelijkste formaten van mozaïekkeien zijn 5-7 cm, 8-10 cm en 9-11 cm;



**Figuur 2.1** – Mozaïekkeien (Foto: Febenat)

- de **langwerpige straatkei** heeft een rechthoekig dagvlak. Wegens zijn profiel moet hij in een rechtlijnig verband worden gelegd, met verspringende voegen (halfsteensverband). De gebruikelijkste dikten van langwerpige straatkeien zijn 7-10 cm, 10-13 cm en 12-15 cm;



**Figuur 2.2** – Langwerpige straatkeien

- de “platine”-straatkei heeft een vierkante vorm en een geringe dikte. Hij wordt voornamelijk in voetgangerszones gebruikt.



**Figuur 2.3** – “Platine”-straatkeien

**Opmerking:** de vermelde keiformaten stemmen doorgaans met minimum- en maximumwaarden overeen, om rekening te houden met de toepasselijke maattoleranties.

### 2.1.2.3 Trottoirbanden

Trottoirbanden, waarmee voetgangersruimten van de rijbaan worden gescheiden en straatkeien op hun plaats worden gehouden, zijn rechte of gebogen elementen. Er bestaan overigens ook onregelmatige, zogenoemde rustieke trottoirbanden met gekloven en bijgewerkte vlakken, die vooral bij de inrichting van groene ruimten en niet voor openbare wegen worden gebruikt.

## 2.1.3 Proeven op natuursteen voor wegenbouwtoepassingen

Natuursteen die voor wegenbouwtoepassingen wordt gebruikt, moet aan minimale basiseisen voldoen, of hij nu onder voertuigen- of enkel onder voetgangersverkeer komt. Bovendien kan het naargelang van de klimaatomstandigheden, de omgeving en het gebruik van de natuursteenverharding nodig zijn deze eisen strenger te maken. Een steensoort moet dus niet alleen voor het esthetische aanzien worden gekozen, maar ook op grond van haar gebruiksgeschiktheid voor de beoogde toepassing en in de heersende klimaatomstandigheden. In deze paragraaf worden proeven beschreven om de gebruiksgeschiktheid na te gaan.

De esthetische en technische criteria waaraan voldaan moet worden, houden intrinsiek verband met de geologische herkomst van de steen. Het is dus zeker nodig de steensoort op voorhand volledig te identificeren.

De bemonstering van de steen en de eventuele bewerkingen voor het vervaardigen van de proefstukken vergen bijzondere zorg. De proeven moeten namelijk op zo representatief mogelijke monsters kunnen plaatsvinden. Voor elke proef die in deze paragraaf is opgenomen, staan in de desbetreffende referentienormen regels vermeld voor het aantal en de vorm van de proefstukken. TV 228 [1] neemt deze regels stelselmatig over in de paragraaf met de beschrijving van de proeven.

### 2.1.3.1 Identificatie en intrinsieke karakterisering van natuursteen

Voor elke toepassing die van natuursteen zal worden gemaakt, vindt een geologische identificatie van het gesteente plaats en worden de intrinsieke kenmerken van de steen bepaald aan de hand van proeven.

#### ■ Geografische en geologische identificatie van het gesteente

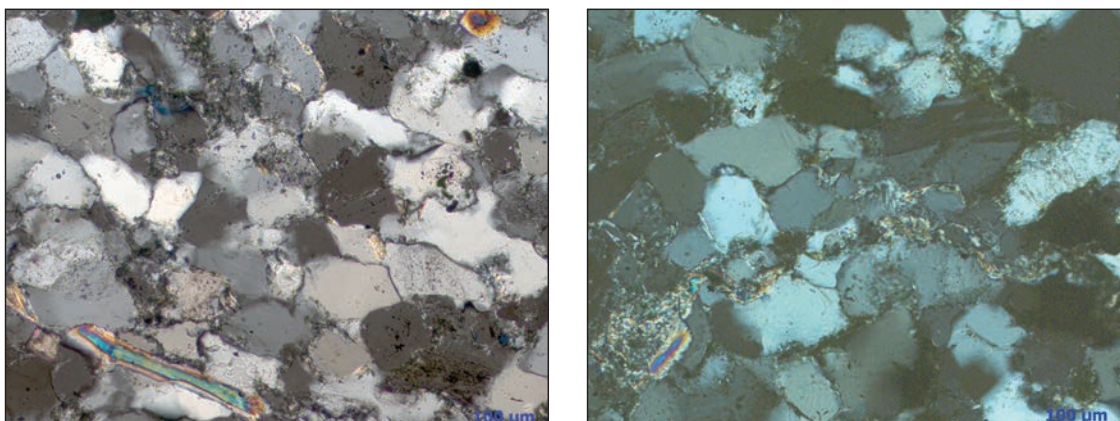
Deze identificatie is van het grootste belang. Stenen die in eenzelfde constructie(deel) worden toegepast, moeten namelijk van dezelfde geologische eenheid en zo mogelijk van dezelfde ontginning slaag komen, om een goede homogeniteit van de kenmerken te waarborgen.

De winplaats van het gesteente moet dus precies worden gelokaliseerd en de formatie of de stratigrafische laag waar het gesteente vandaan komt, moet duidelijk vastliggen.

#### ■ De lithologische beschrijving van het gesteente steunt op een macroscopische beschrijving, aangevuld met een petrografische analyse. Aan de hand van deze beschrijving wordt het gesteente geclassificeerd volgens PTV 844 [2] "Classificatie van gesteenten".

- De *macroscopische beschrijving* is de neerslag van een macroscopische waarneming van de mineralen en/of fossielen die in het gesteente aanwezig zijn. De kleur van het gesteente wordt in aanmerking genomen, waarbij ruimte wordt gelaten voor een kleine of grotere variatie. Ook het aanzien van het gesteente wordt gerapporteerd, want parameters zoals porositeit, microscheuren en ruwheid van het oppervlak kunnen gevolgen hebben voor het onderhoud van de verharding. Ook gebreken en bijzondere uiterlijke kenmerken moeten worden beschreven.

- *Petrografische analyse* maakt het mogelijk de mineralogische samenstelling van natuursteen te bepalen. Voor deze analyse worden een of meer slijpplaatjes uit het gesteente vervaardigd. Met een polariserende optische microscoop kan het gesteente dan tot in de details worden gekarakteriseerd. De referentienorm voor petrografische analyse is NBN EN 12670 [15]. Een juiste petrografische identificatie van het gesteente is van groot belang en voorkomt gebruik van verkeerde benamingen. Uit een petrografische analyse kan ook zeer nuttige informatie worden gehaald over mogelijke aantastingen van een steensoort.



**Figuur 2.4** – Waarneming met een polariserende optische microscoop (Foto: WTCB)

#### ■ De **schijnbare volumieke massa** (volgens *beproevingnorm NBN EN 1936* [16]) geeft de graad van compactheid van het materiaal weer en maakt het mogelijk de massa van een gegeven volume in te schatten. Ze wordt in $\text{kg/m}^3$ uitgedrukt en schommelt bij benadering tussen $1\,500\text{ kg/m}^3$ en $3\,000\text{ kg/m}^3$ .

Dit kenmerk wordt soms in een andere vorm uitgedrukt: de **schijnbare dichtheid**. Deze is gelijk aan de schijnbare volumieke massa van het materiaal, gedeeld door de volumieke massa van water ( $1\,000\text{ kg/m}^3$ ). In deze vorm heeft het kenmerk dus geen eenheid.

- De **open porositeit** (volgens beproevingsnorm NBN EN 1936 [16]) wordt bepaald door het aandeel van de onderling verbonden en dus voor water toegankelijke holten (poriën) in de steen. Deze parameter wordt gemeten door impregnatie met water onder volledig vacuüm. Hij wordt doorgaans in volumeprocenten (vol.-%) uitgedrukt en vertegenwoordigt het volume open poriën in verhouding tot het totale volume van de steen. Hij schommelt tussen waarden die nagenoeg gelijk zijn aan nul (voor zeer compacte granietsorten) en waarden van om en bij 50 % (voor zachte kalksteen).
- De **waterabsorptie** weerspiegelt het vermogen van de steen om water in zijn poriën vast te houden onder invloed van capillariteit.

Deze parameter is belangrijk voor wegenbouwtoepassingen waarbij natuursteenelementen in contact zouden kunnen komen met water. Er mag echter geen systematisch verband worden gelegd tussen waterabsorptie en duurzaamheid. De vorstbestendigheid van een natuursteen houdt bijvoorbeeld geen direct verband met zijn waterabsorptiewaarde.

Er bestaan verschillende beproevingsmethoden voor waterabsorptie: meting door middel van impregneren onder vacuüm (ter bepaling van de porositeit), meting door volledige onderdompeling bij atmosferische druk (NBN EN 13755 [17]) of meting door capillariteit bij dompeling van één vlak in 3 cm water (NBN EN 1925 [18]). Het resultaat moet dus voorzichtig worden geïnterpreteerd, met duidelijke kennis van de toegepaste methode.

Inzonderheid mag waterabsorptie die door middel van impregneren onder vacuüm is gemeten niet worden verward met porositeit. Zo heeft natuursteen met een waterabsorptie van 20 (massa-)% onder vacuüm en een schijnbare volumieke massa van  $2\,000\text{ kg/m}^3$  een open porositeit van 40 (vol.-%).

- De **thermische uitzettingscoëfficiënt** (volgens beproevingsnorm NBN EN 14581 [19]): net zoals alle materialen staat natuursteen bloot aan maatveranderingen onder invloed van temperatuur en zonneschijn. Deze vervormingen worden gekarakteriseerd door de uitzettingscoëfficiënt en uitgedrukt in millimeters per meter en per kelvin (mm/mK). Afhankelijk van de steensoort kan deze waarde schommelen tussen  $1 \cdot 10^{-3}$  en  $16 \cdot 10^{-3}$  mm/mK.

Met deze uitzettingscoëfficiënt moet rekening worden gehouden bij het dimensioneren van uitzetvoegen (breedte en tussenafstand).

Dit wordt nog belangrijker als verschillende materialen (beton, staal, glas, asfalt, enz.) of verschillende steensoorten samen worden toegepast.

### 2.1.3.2 Proeven ter bepaling van de prestaties bij gebruik

Met deze proeven kunnen de prestaties in de verwachte gebruiksomstandigheden worden beoordeeld. De proeven om de mechanische sterkten (druk- en buigsterkte) te bepalen, komen in deze paragraaf aan bod, hoewel deze eigenschappen ook bij de identificatie van het materiaal in aanmerking worden genomen.

- De **druksterkte** (volgens beproevingsnorm EN 1926 [20]), die in MPa wordt uitgedrukt, geeft aan welk drukbelastingsniveau voor straatkeien in een wegverharding toelaatbaar is.

De druksterkte van een natuursteenelement wordt opgegeven als een “minimaal te verwachten druksterkte”, berekend volgens norm NBN EN 1926 [20].



Ten minste tien proefkubussen van 7 cm of 5 cm ribbe of tien proefcilinders van dezelfde diameter worden in een pers aan een drukbelasting onderworpen, tot breuk optreedt.

Voorts wordt deze parameter als kenmerk gebruikt om een steensoort te identificeren en kan hij, getoetst aan referentiewaarden, een indicator vormen voor vertering na veroudering (*vorstbestendigheidspreef*).

- De **buigsterkte** (*volgens beproevingsnorm NBN EN 12372 [21]*), die eveneens in MPa wordt uitgedrukt, geeft aan welk buigbelastingsniveau voor straattegels en trottoirbanden toelaatbaar is. Het proefstuk wordt op twee rollen gelegd en op een middellijn evenwijdig met deze rollen wordt een belasting uitgeoefend (*driepuntsbuigpreef*). Deze preef wordt op ten minste tien preefstukken verricht. De buigsterkte van een natuursteenelement wordt opgegeven als een “minimaal te verwachten buigsterkte”, berekend volgens norm NBN EN 12372 [21].

Net als de druksterkte wordt ook deze parameter als kenmerk gebruikt om een steensoort te identificeren of, getoetst aan referentiewaarden, als indicator voor vertering na veroudering (*vorstbestendigheidspreef*) of aantasting van de microstructuur.



**Figuur 2.5** – Buigsterktepreef (Foto: WTCB)

- De **weerstand tegen uitglijden** (*volgens beproevingsnorm NBN EN 14231 [22], slip resistance*) heeft een directe invloed op het comfort en de veiligheid van voetgangers, vooral bij regenweer. Deze weerstand wordt gemeten met een SRT-slinger. Aan deze slinger is een meetrubber bevestigd, om het uitglijden van een schoenzool te simuleren. In de norm zijn voor de kwaliteit van dit rubber criteria gesteld, die het eindresultaat sterk beïnvloeden. Wat gemeten wordt, is de wrijving van het meetrubber over het tevoren bevochtigde preefstuk.



**Figuur 2.6** – SRT-slinger om stroefheid te meten

De weerstand tegen uitglijden hangt nauw samen met de ruwheid van de verharding, maar ook met de afstand tussen voegen en de geleidelijke slijtage en het onderhoud van het materiaal. Afhankelijk van de weerstand tegen afslijting en de intensiteit van het gebruik kan de glijweerstand van een natuursteenverharding namelijk sneller of langzamer in de tijd afnemen. Dit wordt momenteel onderzocht in het Europese normalisatiecomité CEN/TC 246.

Behalve van slijtage- en onderhoudsparameters hangt de weerstand tegen uitglijden ook van de textuur van de verharding af. Het begrip textuur omvat microtextuur, waarmee oneffenheden met een hoogte van minder dan 0,2 mm en een tussenafstand van minder dan 0,5 mm in het horizontale vlak worden aangeduid, en macrotextuur, waaronder onvlakheden met een hoogte van 0,2 tot 10 mm en een tussenafstand van 0,5 tot 50 mm worden verstaan.

De microtextuur houdt verband met het gesteente, terwijl de macrotextuur veeleer van de toegepaste oppervlakafwerking zal afhangen.

Voor oppervlakken met een ruwheid groter dan 1 mm is de proef overbodig, omdat het oppervlak dan automatisch als niet-glad wordt beschouwd.

Ook het risico op slippen van voertuigen (*skid resistance*) kan worden beoordeeld, maar dan met een soepeler meetrubber. Dit is echter geen verplichte eis – noch voor CE-markering, noch in de drie PTV's [9, 10, 11]. Enkel de weerstand tegen uitglijden voor voetgangers is een verplichte eis.

### 2.1.3.3 Duurzaamheidsproeven

Met duurzaamheidsproeven kan de bestandheid van het materiaal tegen diverse agressieve factoren worden beoordeeld. De resultaten geven aan of de intrinsieke eigenschappen en aanvankelijke prestaties met verloop van tijd behouden zullen blijven.

- **Vorst-dooibestendigheid** (*volgens beproevingsnorm NBN EN 12371 [23]*): in de winter kan water dat in de poriën van natuursteen zit, bevroren en sterke spanningen op de wanden van elementen uitoefenen, doordat het in volume toeneemt. Als gevolg daarvan kunnen bij afwisselend vriezen en dooien microscheuren ontstaan, die dan tot afbrokkeling, materiaalverlies, afschilfering en verzwakende kenmerken kunnen leiden. Vaak eindigt dit met de totale vernietiging van het product. Voor buitentoepassingen is vorst-dooibestendigheid één van de belangrijkste duurzaamheidskenmerken. Kiezen voor een steensoort die niet bestand is tegen vorst-dooiwisselingen zal leiden tot snelle verwerking ervan, met alle gevolgen van dien.

Voor de bepaling van de vorst-dooibestendigheid van natuursteen worden proefstukken onderworpen aan een reeks van 56 cycli met bevroering aan de lucht en ontdooiing in water (volgens de methode van proef A (*technologische proef*) in NBN EN 12371 [23]). Na deze proef mag de buigtreksterkte of de druksterkte niet meer dan 20 % gewijzigd zijn.

Beproevingnorm NBN EN 12371 [23] beschrijft nog een andere proef (B, identificatieproef), waarbij dezelfde cycli worden toegepast tot de proefstukken bezwijken. Dit stemt dan overeen met het moment waarop de dynamische elasticiteitsmodulus met 30 % is afgenomen ten opzichte van de aanvangswaarde. Deze proef wordt gevraagd in sommige bestekken, onder meer voor gebouwen. Zij houdt geen rekening met de invloed van dooizouten, waarvan de agressiviteit meer verband houdt met de thermische schokken die de verharding na het strooien ondergaat. In het Europese normalisatiecomité CEN/TC 246 wordt hiervoor aan een beproevingsmethode gewerkt.

Dezelfde werkgroep onderzoekt ook de problematiek van de weerstand van een gesteente tegen afbrokkeling bij vorst-dooiwisselingen en denkt ook na over het ontwikkelen van een proef om gesteenten die in dit opzicht een risico vormen, te identificeren.



De **slijtweerstand** (volgens beproevingsnorm NBN EN 14157, methode A [24]) bepaalt het gedrag van een natuursteenelement uit het oogpunt van mechanische afslijting door wrijving met fijne deeltjes. De beproevingsmethode die in de Europese normen als referentie geldt, meet de afdruk die een metalen slijpschijf onder een bepaalde druk in een monster van de beproefde natuursteen nalaat (*Caponmethode*). Hoe geringer de lengte van de afdruk, hoe beter de steen tegen slijtage bestand is.

**Opmerking:** het is belangrijk bij de keuze van een natuursteensoort rekening te houden met alle bovenvermelde kenmerken en bijbehorende eisen. Het geheel van al deze kenmerken zal de duurzaamheid van het gekozen materiaal bepalen. Kiezen voor natuursteen met een uitzonderlijk hoge druksterkte maar ontoereikende vorst-dooibestendigheid of slijtweerstand zal met verloop van tijd onvermijdelijk voor problemen zorgen.

#### 2.1.4 Criteria voor de keuze van natuursteenelementen

Natuursteenelementen worden gekozen op grond van esthetisch aanzien, gebruiksgeschiktheid en duurzaamheid. Sommige criteria gelden in het algemeen, voor alle natuursteenelementen. Andere zijn specifiek voor een bepaald product en voor het gebruik dat ervan zal worden gemaakt.

- **Lithologische aard:** natuursteenelementen moeten compact zijn, met dicht gepakte korrels en een homogene textuur. Sporen van verwerking of gelaagdheid worden niet geduld, om afbrokkeling te voorkomen. Bij toepassing in een project moet de geografische en geologische herkomst van de steen worden nagetrokken.
- **Geometrische afmetingen:** er bestaat een grote verscheidenheid van formaten. De afmetingen worden bepaald volgens norm NBN EN 13373 [25]. Voor het bepalen van maattoleranties zijn klassen gedefinieerd in de normen (NBN EN 1341, 1342 en 1343 [6, 7, 8]) die respectievelijk voor de verschillende soorten van natuursteenelementen (*tegels, straatkeien en trottoirbanden*) gelden. Welke klassen in België van toepassing zijn, wordt bepaald in de verschillende PTV's (PTV 841, 842 en 843 [9, 10, 11]).
- **Waterabsorptie door capillariteit** (NBN EN 1925 [18]): de PTV's 841, 842 en 843 [9, 10, 11] dringen aan op verklaring van een minimaal te verwachten waarde.
- **Porositeit:** de open porositeit heeft een niet geringe invloed op het bevuilingsgedrag van het materiaal. Een poreuze steen heeft de neiging meer vuil in zich op te nemen en zal bij onderhoud grondiger moeten worden schoongemaakt, tenzij hij preventief is behandeld. Hiermee moet bij de keuze van de steensoort rekening worden gehouden. De PTV's 841, 842 en 843 [9, 10, 11] dringen aan op verklaring van een waarde voor de schijnbare volumieke massa en de porositeit.
- **De druksterkte** is een relevant kenmerk voor straatkeien. PTV 842 [10] legt de minimaal verwachte druksterkte vast voor de verschillende gebruiksklassen. In ieder geval moet een minimaal verwachte druksterkte van 50 MPa worden gehaald. Afhankelijk van de gebruiksklasse is het nodig een hogere druksterkte te eisen (*zie tabel 2.2*). Niettemin dient te worden opgemerkt dat het weinig nut heeft een overdreven hoge druksterkte te eisen. Integendeel, wanneer een te hoge druksterkte wordt geëist, kunnen bepaalde natuursteensoorten, die wel degelijk geschikt zijn voor de toepassing, ten onrechte worden uitgesloten.

Op te merken valt dat de druksterkte niet de enige parameter is om de bestandheid van een natuursteenverharding tegen het beoogde verkeer te beoordelen. Ook de afmetingen en vooral de dikte van de straatkeien spelen een belangrijke rol. Evenzo heeft de keuze van de combinatie van het straatlaagmateriaal en de voegvulling een directe invloed op de duurzaamheid van de verharding onder het verwachte verkeer. Deze principes worden in hoofdstuk 3 van deze handleiding uitvoerig toegelicht.

Druksterkte $E_c$ (MPa)	Gebruiksklasse	Toepassing (ter informatie)
Geen eis	0	Decoratie
> 50	1	Straatkeien ingebed in mortel, enkel in voetgangerszones
> 50	2	Voetgangers- en fietszones; tuinen, balkons
> 85	3	Occasionele toegang van wagens, lichte voertuigen en motorfietsen; inritten van garages
> 85	4	Voetgangerszones, marktplaatsen occasioneel gebruikt door voertuigen voor leveringen en hulpdiensten
> 100	5	Voetgangerszones, regelmatig gebruikt door zwaar verkeer
> 100	6	Wegen en straten, tankstations

**Tabel 2.2** – Gebruiksklassen en bijbehorende minimaal verwachte druksterkten voor straatkeien, zoals vastgelegd in PTV 842 [10, in herziening]

- **Buigsterkte:** de minimaal verwachte buigsterkte is een relevant kenmerk voor tegels en trottoirbanden. Met deze parameter kan de breuklast van een gegeven element worden berekend. In de normen NBN EN 1341 en 1343 [6 en 7] zijn gebruiksklassen van 0 tot 6 vastgelegd (zie tabel 2.3). Met elke klasse stemt een minimale breuklast overeen. De berekening van de breuklast staat beschreven in de overeenkomstige PTV's 841 en 843 [9 en 11]. Zij gaat uit van de minimaal verwachte buigsterkte en de afmetingen van het element, en hanteert een veiligheidscoëfficiënt.

Breuklast (kN)	Gebruiksklasse	Toepassing (ter informatie)
Geen eis	0	Decoratie
> 0,75	1	Straatkeien ingebed in mortel, enkel in voetgangerszones
> 3,5	2	Voetgangers- en fietszones; tuinen, balkons
> 6,0	3	Occasionele toegang van wagens, lichte voertuigen en motorfietsen; inritten van garages
> 9,0	4	Voetgangerszones, marktplaatsen occasioneel gebruikt door voertuigen voor leveringen en hulpdiensten
> 14	5	Voetgangerszones, regelmatig gebruikt door zwaar verkeer
> 25	6	Wegen en straten, tankstations

**Tabel 2.3** – Gebruiksklassen en bijbehorende minimaal vereiste breuklast voor natuursteentegels en natuurstenen trottoirbanden, zoals vastgelegd in de normen NBN EN 1341 (bijlage A) [6] en NBN EN 1343 (bijlage A) [8] en in de PTV's 841 [9] en 843 [11]

- **Weerstand tegen uitglijden:** algemeen wordt ervan uitgegaan dat de kans op uitglijden bij een coëfficiënt van meer dan 35 (USRV-waarde) gering is. Dit is dan ook de waarde die in de PTV's 841, 842 en 843 [9, 10, 11] geëist wordt.

De gekozen afwerking beïnvloedt uiteraard de weerstand tegen uitglijden op de verharding. Hoe grover de elementen zijn afgewerkt, hoe stroever ze zijn. Andere criteria die inherent zijn aan de wegconstructie, zoals de aard en frequentie van de voegen, kunnen de uiteindelijke stroefheid echter eveneens beïnvloeden.

- **Slijtweerstand:** een verharding slijt voornamelijk door het verkeer waaraan zij wordt blootgesteld. Het vermogen van natuursteen om structuurverlies te weerstaan, moet dus groter zijn naarmate het verkeer zwaardere lasten uitoefent. Volgens de PTV's 841, 842 en 843 [9, 10, 11] wordt het criterium voor de slijtweerstand als voldaan beschouwd als de individuele slijtwaarde kleiner dan of gelijk is aan 24 mm.
- **Vorst-dooigevoeligheid:** natuursteenelementen moeten voor om het even welke buitentoepassing vorstbestendig zijn.



### 2.1.5 Enkele voorbeelden van bekende schadebeelden bij natuursteen

Een geslaagd project met een wegverharding van natuursteen vormt op zichzelf een dubbele beloning: enerzijds is er de voldoening dat de verharding esthetisch geheel tot haar recht komt en anderzijds is er de tevredenheid over een degelijke technische uitvoering.

Als zich bij een realisatie jammer genoeg ongeregelheden voordoen, is het vaak moeilijk te achterhalen of de oorzaak in het ontwerp of in de uitvoering ligt, in de materiaalkeuze of in de maatvoering van de producten. Hierna worden enkel de schadebeelden besproken die verband houden met de aard van het gesteente zelf. De overige komen in hoofdstuk 5 "Onderhoud en herstelling" aan bod.

Natuursteen kan zeer variabele kenmerken vertonen. Het is dan ook van cruciaal belang deze kenmerken goed te kennen en te beheersen, om er zeker van te zijn dat het gekozen materiaal zich in de beoogde toepassing naar behoren zal gedragen. De informatie die de producent of leverancier van natuursteen bezorgt (technische steekkaarten, ATG-document, enz., zie § 2.2), blijkt zeer nuttig bij het keuzeproces en vormt een waardevol hulpmiddel om een betrouwbare keuringsprocedure vast te leggen. Dit is des te meer vereist bij steensoorten waarvan het gedrag in ons klimaat nog vrijwel onbekend is.

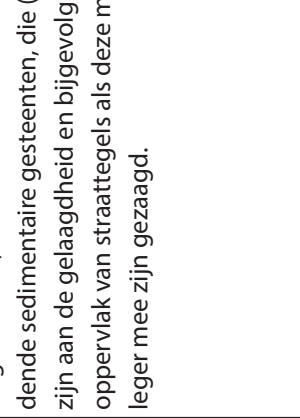
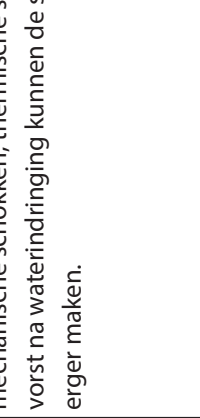
Belangrijk is dat representatieve monsters worden genomen voor de geschiktheidsproeven en dat de leveringen die hierop volgen naspeurbaar zijn ten opzichte van de materialen die voor de analyses zijn gebruikt. Ook blijkt het handig een goede kennis te bezitten van de eerder waargenomen schadebeelden, waarvan de meest voorkomende in tabel 2.4 worden toegelicht.

Symptomen en foto*	Beschrijving	Oorzaken
<p>Siliciklastische en silicaathoudende sedimentaire gesteenten (niveau 2.1 volgens PTV 844) [2]</p> <p><b>Splijten of kloven van straatkeien uit zandgesteenten</b></p> 	<p>Dit doet zich voor in kwarts- of zelfs in kwartszandsteen met een fijn laagjespatroon dat plaatselijk herkenbaar is aan donkere strepen. De schade bestaat in het optreden van een breuk die evenwijdig loopt met het laagjespatroon. Dit splijten doet zich niet alleen aan het oppervlak voor, maar ook dieper in de straatkei. Het meest treedt het op ter hoogte van de uitstulpingen van straatkeien met een verdunning aan de zijvlakken. De breukvlakken vallen wellicht samen met petrografische discontinuïteiten.</p>	<p>Uit petrografische analyse blijkt de aanwezigheid van dunne laagjes die verrijkt zijn met diverse mineralen, waaronder mica's, die zich evenwijdig met de gesteentelagen uitstrekken, of met klei-soorten of zelfs een smal gegradeerde kwartsmatrix met een kleilaagje.</p> <p>Mogelijk is vermoeiing door herhaalde schokken (vooral bij bereden wegoppervlakken) de oorzaak, of is de wijze van bestraten in het geding.</p> <p>Ook vorst na waterindringing, thermische schokken of chemische aantasting van de verschillende mineraallaagjes kunnen een rol spelen.</p>
<p><b>Desintegratie van straatkeien door verbrokkeling</b></p> 	<p>Lichte of verregaander desintegratie van straatkeien, die verbrokkelen tot steeds kleinere stukken; vooral bij arkosezandsteen waargenomen.</p>	<p>Petrografische analyses wijzen uit dat de soms overvloedig aanwezige veldspaten (tot 40 %), die van bij de sedimentatie verweerd zijn (sericitisatie), wellicht de voornaamste oorzaak vormen van de verwering.</p> <p>Andere factoren, zoals vermoeiing of vorst, kunnen de schade aan de elementen verergeren of de ontwikkeling ervan versnellen.</p>

\* Deze foto's geven voorbeelden van bekende schadeverschijnselen weer; een slecht ontwerp of slechte aanbrenging kan nog tot andere schade leiden (zie hoofdstuk 5).

**Tabel 2.4** – Meest voorkomende schadebeelden bij natuursteen (Foto's: WTTCB en OCW)

vervolg op bladzijde 43


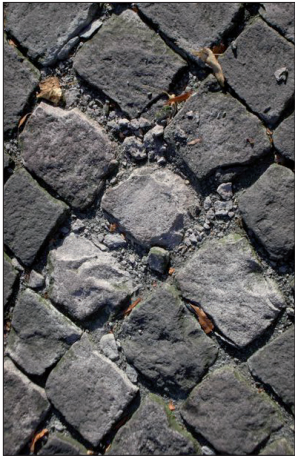
Symptomen en foto*	Beschrijving	Oorzaken
<p>Carbonaathoudende sedimentaire gesteenten (niveau 2.2 volgens PTV 844) [2]</p> <p><b>Stylolietvlakken</b></p> 	<p>Zwarte vlekken of lijnen of gepiketteerde zones, waarna ondiepe of diepere afschilfering optreedt. In de genoemde vlakken zijn klei, organische bestanddelen en diverse onoplosbare stoffen geconcentreerd.</p>	<p>Aanwezigheid van stylolietvlakken (of "oplosingsvlakken") in bioklastische carbonaathoudende sedimentaire gesteenten, die (sub)parallel zijn aan de gelaagdheid en bijgevolg ook aan het oppervlak van straattegels als deze met het groefleger mee zijn gezaagd.</p>
<p><b>Scheurvorming in hergekristalliseerde kalksteen</b></p> 	<p>Uiteenlopende mate van scheurvorming, waarna uitbrokkeling volgt.</p>	<p>Bij de herkristallisatie ontstaan calcië- (of soms dolomiet)kristallen van grote afmetingen; er treedt een verlies van intergranulaire samenhang op, waardoor het materiaal bros wordt en uiteindelijk verbrekt.</p> <p>Bepaalde omstandigheden zoals herhaalde mechanische schokken, thermische schokken of vorst na waterindringing kunnen de schade nog erger maken.</p>

\* Deze foto's geven voorbeelden van bekende schadeverschijnselen weer; een slecht ontwerp of slechte aanbrenging kan nog tot andere schade leiden (zie hoofdstuk 5).

**Tabel 2.4 – Meest voorkomende schadebeelden bij natuursteen (Foto's: WTCB en OCW)**

vervolg op bladzijde 44



Symptomen en foto*	Beschrijving	Oorzaken
<p>Carbonaathoudende sedimentaire gesteenten (niveau 2.2 volgens PTV 844) [2] (vervolg)</p> <p><b>Kleurverandering bij kalkgesteenten of sommige zandsteensoorten</b></p> 	<p>Bij fossielarme kalkgesteenten of bij sommige zandsteensoorten zijn problemen met kleurverlies of -verandering, geel of bruin- worden of zelfs "roest" gerapporteerd.</p>	<p>De aanwezigheid van fijn verspreid, vooral framboïdaal pyriet, plaatselijk vergezeld van klei die niet-gebonden ijzer bevat, kan hier als oorzaak worden aangewezen; bij toetreding van vocht doet zich dan een oxidatieverschijnsel voor. De metaaloxiden en -hydroxiden die hierdoor worden gevormd, verplaatsen zich naar het oppervlak – des te meer naarmate zij meer zijn opgelost, en in directe samenhang met het alkaligehalte van het milieu – en veroorzaken daar ongewenste kleurveranderingen.</p>
<p>Vulkanische gesteenten (niveau 1.2 volgens PTV 844) [2]</p> <p><b>Verbleken van basalt</b></p> 	<p>Donkere, fijnkorrelige magmatische gesteenten zoals basalt verbleken sporadisch bij toepassing als straatkeien, die dan geleidelijk meer schade oplopen. Het oppervlakkige gedeelte van de straatkei, dat eerst donkerder wordt, komt uiteindelijk los van het element, waardoor een grijsachtige zone vrijkomt die verbrijzelt door chemische aantasting.</p>	<p>Deze gesteenten bevatten een hoeveelheid vulkanisch glas, dat devitrificeert en zo verwerking van het materiaal veroorzaakt. Dit verschijnsel wordt in NBN EN 13242 [29] "zonnebrand" genoemd.</p>
<p>* Deze foto's geven voorbeelden van bekende schadeverschijnselen weer; een slecht ontwerp of slechte aanbrenging kan nog tot andere schade leiden (zie hoofdstuk 5).</p>		

**Tabel 2.4 – Meest voorkomende schadebeelden bij natuursteen (Foto's: WTCB en OCW)**

In de meeste gevallen kan een relevante analyse van de met de steen meegeleverde informatie, gevolgd door een aandachtig voorafgaand visueel onderzoek dat eventueel aangevuld wordt met een grondig petrografisch onderzoek aan dunne schijfjes onder een optische microscoop, een aantal kenmerken aan het licht brengen – zoals microstructuur (onder meer microporeusheid en microscheuren) en kristalliniteit van bestanddelen, of de aanwezigheid van verweringsgevoelige of al verweerde mineralen. Bepaalde geavanceerder technieken (elektronenmicroscopie, diffractieanalyse, enz.) kunnen worden ingezet om deze diagnose te verfijnen en schadegevoeligheid aan te tonen. Sommige verschijnselen blijven echter moeilijk te voorspellen en zijn ook met selectief sorteren van producten niet te vermijden.

## 2.2 Certificering van materialen

### 2.2.1 Inleiding

Tegels, straatkeien en trottoirbanden van natuursteen mogen in Europa, en dus ook in België, slechts op de markt worden gebracht wanneer zij over een CE-markering beschikken. Deze reglementaire markering wordt op de producten aangebracht op basis van het geharmoniseerde deel van de Europese normen NBN EN 1341 [6], NBN EN 1342 [7] en NBN EN 1343 [8], volgens de uitvoeringsbepalingen in de ZA-bijlagen bij deze normen.

Voor deze producten bestaat in België ook een vrijwillig certificatiesysteem, geconcretiseerd in ATG/BENOR-merken op verpakkingen en/of begeleidende documenten. Dit systeem verhoogt het vertrouwen in de conformiteit van producten doordat het een geaccrediteerde, onafhankelijke derde partij inschakelt die voortdurend controles verricht, volgens een welbepaald inspectie- en beproevingsprogramma.

### 2.2.2 CE-markering

Verordening (EU) nr. 305/2011 [26] stelt de geharmoniseerde voorwaarden voor het verhandelen van bouwproducten in Europa vast. Ze vervangt Richtlijn 89/106/EEG [27], die in juli 2013 vervallen is, en stelt maatregelen in om de overgang vlot te laten verlopen.

In de praktijk geldt voor bestratingselementen een CE-markeringsplicht krachtens de geharmoniseerde normen NBN EN 1341 [6], NBN EN 1342 [7] en NBN EN 1343 [8]. Het product moet vergezeld zijn van een **Prestatieverklaring** voor de beoogde toepassingen, opgesteld door de fabrikant. De informatie van de prestatieverklaring mag in elektronische vorm worden verstrekt, op voorwaarde dat een eenduidig verband kan worden gelegd tussen het product en de verklaring.

Het systeem dat voor de beoordeling en verificatie van de prestatiebestendigheid van natuurstenen bestratingsproducten is gekozen, is systeem 4. Dit bestaat in een verklaring van de prestaties van de essentiële kenmerken van het bouwproduct door de fabrikant, gebaseerd op de volgende items die door hem zijn uitgevoerd:


- **bepaling van het producttype op grond van initiële typebeproeving** of een beschrijvende documentatie van het product;
- **productiecontrole in de fabriek.**

Op te merken valt dat in dit systeem 4 geen rol is weggelegd voor een genotificeerde instantie; de verklaring hangt dus enkel van de producent af.

Een CE-markering waarborgt steeds dat de fabrikant de verantwoordelijkheid neemt voor de aangegeven prestaties.

Voor alle producten, ook als zij buiten de Europese Unie zijn vervaardigd, vermeldt de markering de naam en het adres van de fabrikant of zijn gemachtigd vertegenwoordiger.

Figuur 2.7 toont een voorbeeld van een conforme CE-markering en prestatieverklaring.

		<i>CE-logo uit de richtlijn 93/68/EEC</i>
Naam van de fabrikant  12		<i>Naam of identificatiemerk van de fabrikant (de hoofdzetel mag ook worden vermeld)  Laatste twee cijfers van het jaar waarin de CE-markering werd aangebracht</i>
EN 1342:2012  Straatkeien  Grisette, zandsteen, grijs  Pierreville, België  Buitenverharding voor voetgangerszones en/of voertuigverkeer		<i>Nummer en publicatiejaar van de Europese norm  Productnaam  Traditionele naam, soort en kleur  Productieplaats  Beoogd gebruik</i>
<b>Vrijkomen van schadelijke stoffen</b>	NPD	<i>Prestaties voor de voornaamste gereguleerde kenmerken die voor het beoogde gebruik moeten worden verklaard</i>
<b>Breuksterkte</b>		
Druksterkte (EN 1926) (minimaal verwachte waarde)	97,2 MPa	
<b>Gladheid</b>		
Weerstand tegen uitglijden - SRV nat (EN 14231)	45	
<b>Duurzaamheid</b>		
Vorstbestandheid – technologische proef (EN 12371)	(97,2/90,0) MPa	

**Figuur 2.7** – Voorbeeld van CE-markering en prestatieverklaring voor straatkeien

### 2.2.3 ATG/BENOR-certificatie

Het vrijwillige ATG/BENOR-certificatiesysteem is gebaseerd op:

- **een initieel onderzoek van de ontginningslaag** door een rapporteur/geoloog die door de BUtgb<sup>3</sup> (als *onafhankelijke derde partij*) is aangewezen. Dit onderzoek moet het mogelijk maken de ontginningslaag te karakteriseren en mogelijke risico's met de steen in zijn ontginningslaag te onderken-

<sup>3</sup> Belgische Unie voor de technische goedkeuring in de bouw.



nen. Het resulteert in het opstellen van een ATG-tekst. Op grond van de onderkende mogelijke risico's kan ook het productiebeheersingssysteem worden aangepast, om producten te kunnen afleveren die aan de voorschriften voldoen.

De ATG-tekst is een openbaar document, waarvan de geldigheid online moet worden nagegaan op de website van de BUtgb ([www.butgb.be](http://www.butgb.be));

- **het waarborgen van naspeurbaarheid**, van de ontginningslaag tot het afgeleverde product. Deze naspeurbaarheid moet zekerheid verschaffen dat de afgeleverde producten wel degelijk vervaardigd zijn uit de natuursteen van de ontginningsplaats die met het ATG-nummer is aangeduid. Zo kunnen de intrinsieke kenmerken van de steen, die in de ATG-tekst vermeld staan, meteen ook worden gebruikt om de steenproducten te karakteriseren;
- **verificatie van de productiebeheersing**, met bijzondere nadruk op de selectiebeheersing. Deze vindt plaats tijdens de initiële audit van het productiesysteem door een onafhankelijke derde partij. Daarbij worden onder meer de selectiecriteria en de doeltreffendheid van het toegepaste naspeurbaarheidssysteem nagegaan. Het selectiesysteem moet er onder meer voor zorgen dat al het materiaal dat niet met de ATG-tekst overeenkomt uit het productieproces wordt gehaald en dus niet meer wordt gebruikt om producten te vervaardigen die het ATG-merk dragen. Naargelang van het geval kan ook de conformiteit van het product worden getest;
- **voortdurend toezicht op deze items** door een onafhankelijke derde partij.

De combinatie van de eerste drie items, namelijk goede kennis van de ontginningslaag, naspeurbaarheid en productie-/selectiebeheersing, maakt het mogelijk de intrinsieke kenmerken die in de ATG-tekst voor de beschouwde steensoort zijn gepubliceerd te gebruiken voor producten die met het kenmerk van de genoemde ATG worden afgeleverd. Er zijn twee wegen om tot vrijwillige certificering te komen.

### 2.2.3.1 Weg 1 – Vervaardiging in een werkplaats – Kwaliteitsverklaringen

Langs deze weg kunnen exploitanten van onafhankelijke werkplaatsen de Technische Goedkeuring van een steenproducent gebruiken als uitgangspunt voor een verklaring over de producten die zij in hun werkplaats vervaardigen.

Alle bovenbeschreven principes (initieel onderzoek van de ontginningslaag, naspeurbaarheid, productiebeheersing en voortdurend toezicht) zijn van toepassing, maar zij kunnen ook over verscheidene bedrijven worden verdeeld.

Zo:

- vinden het initiële onderzoek van de ontginningsplaats, het waarborgen van de naspeurbaarheid en de productiebeheersing tot het verlaten van de groeve bij de steenproducent plaats;
- worden het waarborgen van de naspeurbaarheid en de productiebeheersing na het verlaten van de groeve bij de fabrikant voortgezet. Daarbij wordt gesteund op een kwaliteitshandboek voor de fabricage-eenheid, dat door een certificatie-instelling gevalideerd en aan regelmatige audits onderworpen wordt, en op controles op bouwplaatsen.

Zo ontstaat een systeem van totaal toezicht op de hele productieketen, van de ontginning tot de aflevering van het eindproduct. Hiermee kan betrouwbaar worden bevestigd dat de intrinsieke steenkenmerken die in de ATG-tekst zijn gepubliceerd, gebruikt mogen worden voor de eindproducten die met het kenmerk van de genoemde ATG worden afgeleverd (kwaliteitsverklaring), en kan bovendien, via controles in de fabricage-eenheid en op bouwplaatsen, worden bekrachtigd dat de fabrikant met zijn productie- en zelfcontrolesysteem in staat is conforme producten af te leveren.

### 2.2.3.2 Weg 2 – Serieproductie – ATG/BENOR-certificatie

Deze weg is vooral geschikt bij serieproductie van standaardelementen. Het externe toezicht gaat tot de controle op de eindproducten, met toetsing aan de voorschriften van de PTV's 841, 842 en 843 [9, 10, 11]. Het gaat om productcertificatie volgens toepassingsreglement TRA19 [28] van COPRO. De ATG- en de BENOR-merken worden op de eindproducten aangebracht.

Naast regelmatige audits van de productie- en fabricage-eenheden worden proeven op de eindproducten verricht, volgens een bepaald jaarprogramma. Naspeurbaarheid blijft belangrijk, om de intrinsieke steenkenmerken die in de ATG-tekst zijn vastgelegd te mogen gebruiken.

Deze certificering voldoet zonder twijfel aan de relevantiecriteria die in bijlage 2 bij het referentiedocument CCT Qualiroutes-A-3 [13] zijn gesteld. Ook in het Vlaamse Gewest wordt zij erkend, in overeenstemming met SB 250 [12]. Het standaardbestek van het Brusselse Gewest, TB 2015 [14], bevat hierover geen bijzondere bepalingen.

## 2.3 Materialen voor de straatlaag

### 2.3.1 Algemeen

De straatlaag kan worden omschreven als een enkele centimeters dikke laag die enerzijds de kleine oneffenheden in de fundering en in de dikte van de straatkeien moet compenseren (deze oneffenheden moeten wel steeds binnen de gestelde toleranties blijven) en anderzijds een "inbedding" van deze straatkeien mogelijk moet maken, om ze op hun plaats te houden.

Naast ongebonden zand en steenslag, die al het langst als materialen voor straatlagen worden gebruikt (flexibele wijze van bestraten), worden steeds vaker gebonden materialen toegepast (stijve wijze van bestraten); ook deze worden in dit hoofdstuk beschreven.

Algemeen geldt dat voor één van twee concepten gekozen wordt, en dat voor de keuze van de soort van straatlaag in combinatie met de soort van voegvulling deze coherentie behouden blijft:

- "flexibel": een waterdoorlatende straatlaag van zand en/of steenslag, gecombineerd met een flexibele voegvulling;
- "stijf": een stijve, over het algemeen waterondoorlatende straatlaag, gecombineerd met een stijve voegvulling. Als de voegvulling waterdoorlatend is, moet ook het materiaal voor de straatlaag waterdoorlatend zijn.

De keuze van het materiaal voor de straatlaag is onder meer afhankelijk van de verkeersbelasting en de gekozen voegvulling, of vice versa. Op deze keuze wordt verder ingegaan in hoofdstuk 3 van deze handleiding.

## 2.3.2 Ongebonden materialen

### 2.3.2.1 Straatlaag van zand of steenslag

Zand ( $0/D$ , met  $D \leq 6,3$  mm)<sup>4</sup> en steenslag ( $d/D$ ) zijn gedefinieerd in norm NBN EN 13242 [29] en technisch voorschrift PTV 411 [30]. Enkel aggregaten afkomstig van een natuurlijk gesteente zijn toegestaan. Zij moeten door middel van breken zijn verkregen; voor steenslag is dat te zien aan de vermelding van categorie C90/3 volgens norm NBN EN 13242 [29]. Om het water dat via de voegen in de straatlaag infiltreert af te voeren, is het van groot belang zand of steenslag met een sterk beperkt percentage aan bestanddelen fijner dan 63  $\mu\text{m}$  te gebruiken.

Ingeval gekozen wordt voor een straatlaag van zand, wordt een korrelverdeling 0/6,3 aangeraden.

Bij gebruik van steenslag wordt algemeen de voorkeur gegeven aan steenslag met een korrelverdeling 2/6,3 en een Los Angelescoëfficiënt kleiner dan of gelijk aan 30. De eisen van de verschillende bestekken moeten steeds worden nageleefd. De bijzondere eisen aan de korrelverdeling en aan de kenmerken van de aggregaten hangen van de beschouwde verkeerscategorie af; in hoofdstuk 3 worden zij nader toegelicht.

Als de kenmerken van de aggregaten niet op vrijwillige basis zijn gecertificeerd, moeten proeven worden verricht om ze te controleren. Sommige voorgeschreven kenmerken, zoals de Los Angelescoëfficiënt, zijn aan zand of fijn steenslag niet te meten. Het betrokken kenmerk moet dan aan steenslag uit het moedergesteente worden gemeten. Om gemakkelijke aanbrenging van de straatlaag te garanderen, moet bij de materiaalkeuze ook rekening worden gehouden met de verwerkbaarheid.

## 2.3.3 Gebonden materialen

### 2.3.3.1 Zandcement

Zandcement is een homogeen mengsel van zand (bij voorkeur rivierzand 0/4), cement ( $100 \text{ kg/m}^3$  tot  $125 \text{ kg/m}^3$ ), aanmaakwater en eventueel vliegashoudend. De korrelverdeling en het cement- en watergehalte worden bepaald uit een vooronderzoek. Brekerzand wordt ten stelligste afgeraden en het zand dient bij voorkeur gewassen te zijn; in ieder geval dient het gehalte aan fijne bestanddelen beperkt te blijven ( $f_{16}$  volgens SB 250 [12],  $f_{22}$  volgens CCT *Qualiroutes* [13] en TB 2015 [14]). De aannemer bepaalt de uiteindelijke samenstelling in overleg met de mengcentrale, maar dient hierbij rekening te houden met de voorschriften van de verschillende bestekken.

Bij een straatlaag van zandcement moeten de straatkeien worden gelegd en vastgezet voordat binding van de straatlaag optreedt (twee tot drie uren na bereiding van het mengsel). Het verdient dan ook aanbeveling steeds met verschillende leveringen per dag te werken. Bij gevaar voor vorst binnen de eerste vierentwintig uren mag geen zandcement worden aangebracht.

Tijdens de verwerking moet de kwaliteit van het zandcement volgens SB 250 [12] worden gecontroleerd door Proctorproefstukken te vervaardigen. De gemiddelde druksterkte van de drie Proctorproefstukken dient na achtentwintig dagen minimaal 3,0 MPa te bedragen. Nog volgens SB 250 [12] moeten de mengsels BENOR- of gelijkwaardig gecertificeerd zijn.

<sup>4</sup> In de versie die ten tijde van de redactie van deze handleiding van toepassing is, worden fijne granulaten (zand) beperkt tot een  $D_{\text{max}}$  van 6,3 mm. Er zijn plannen om deze limiet in de volgende versie van de norm te verlagen tot 4 mm.

Over de toepassing van zandcement als straatlaag voor elementenverhardingen lopen de meningen sterk uiteen. Bij goede verwerking heeft het materiaal zeker al zijn diensten bewezen. Om tot een kwalitatief resultaat te komen, is het echter van groot belang dat de verwerker voldoende ervaring heeft.



**Figuur 2.8** – *Straatlaag van zandcement*

### 2.3.3.2 *Cementmortel*

Cementmortel voor straatlagen wordt samengesteld uit zand (0/4 of 0/6,3), cement, aanmaakwater en eventuele hulpstoffen zoals een bindingsvertrager, een luchtbelvormer, een watervasthoudend middel, enz. De hoeveelheid cement bedraagt minstens  $300 \text{ kg/m}^3$  droog zand. Om de kleef- en hechtsterkte van de mortel te verbeteren, kunnen polymeren (niet-reactief hars) worden toegevoegd.

Gebruik van mortel als straatlaag wordt enkel bij beperkt verkeer aanbevolen, als de fundering voldoende stijf is en ook de voegen in (gemodificeerde) mortel worden uitgevoerd.

Ook bij een dergelijke straatlaag dient voldoende aandacht te worden besteed aan tijdige verwerking van de mortel. De toevoer van materiaal dient zo te worden geregeld, dat de straatkeien kunnen worden gelegd voordat binding van de mortel optreedt.

## 2.4 Voegmaterialen

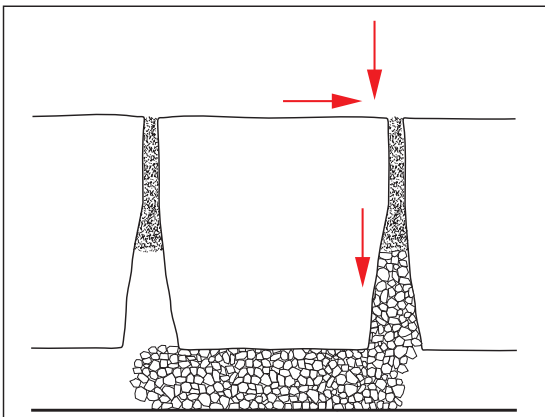
### 2.4.1 Algemeen

De voegvulling is het materiaal dat tussen de straatkeien wordt toegepast om de resterende holten die inherent zijn aan het legpatroon en aan de toegestane maatafwijkingen van de keien te vullen. Dit materiaal kan flexibel of stijf en doorlatend of ondoorlatend zijn, en moet aan de gekozen wijze van bestraten worden aangepast.

Voegvullingen vormen een essentieel onderdeel van elementenverhardingen. Om een keibestrating als verharding te laten fungeren, dienen de voegen tussen de stenen volledig gevuld te zijn. Losse stenen zijn immers niet bestand tegen verplaatsing en/of rotaties onder verkeersbelasting. Een goed gevulde voeg zal ook verhinderen dat straatkeien kantelen of losgewrikt worden.

De manier waarop de voegen werken, hangt van de gekozen voegvulling (flexibel of stijf) af.

In het flexibele concept, dat op figuur 2.9 is afgebeeld, brengen de straatlaag en de voegvulling de krachten naar de onderliggende lagen over. De keuze en de naleving van het bestratingsverband (horizontale lastoverdracht) en het gewelfeffect in het verticale vlak zijn hier van fundamenteel belang.



**Figuur 2.9** – Principe van lastoverdracht tussen de straatkeien van een bestrating door middel van volledig gevulde voegen. De kracht die het verkeer op een straatkei uitoefent, wordt door de voegvulling en de straatlaag gedeeltelijk op de nevenliggende straatkei overgedragen

In het stijve bestratingsconcept worden de lasten op een gelijksoortige manier overgedragen als bij monolithische betonverhardingen. Het voegmateriaal dient dus volkomen aan de straatkeien te hechten. Ondoorlatendheid van dit materiaal is van fundamenteel belang; ook de kwaliteit van het materiaal voor de straatlaag moet onberispelijk zijn.

Het voegmateriaal moet een korrelgrootte hebben die met de breedte van de voegen te verenigen is. De keuze van de voegvulling hangt dus ook van de gekozen soort van straatkeien (bijbehorende voegbreedte en dito voegenpercentage) en de straatlaag (bv. filterstabiliteit, zie hoofdstuk 3) af.

### 2.4.2 Ongebonden materialen

Onder klassieke ongebonden materialen worden verstaan voegmaterialen zoals natuurlijke of kunstmatige zandsoorten en aggregaatmengsels (kwartszand, zeezand, zand van gebroken kalksteen of zandsteen met korrelgrootte 0/1 of 0/2 of 0/4 of 0/6,3), en fijn steenslag (bijvoorbeeld porfier, kalksteenslag, basaltsplit met korrelgrootte 2/4-6,3). De maximale korrelgrootte bedraagt 1 mm voor smalle voegen (< 2 mm), of 0,8 maal de voegbreedte met een maximum van 8 mm voor brede voegen. Bij voorkeur

worden hoekige aggregaten gebruikt, om een betere samenhang te verkrijgen. Rond zand wordt helemaal afgeraden.

**Ongebonden voegen** werken als elastische stabilisator van de straatkeien; zij hebben een blokkerende functie en verdelen de krachten tussen de straatkeien in de verharding. Correcte voegvulling zorgt voor continue lastoverdracht tussen de straatkeien. Afhankelijk van de kwaliteit van het materiaal kunnen flexibele voegen ook het wegooppervlak ondoorlatend houden, als het met voldoende dwarsshelling wordt aangelegd.

Er zal echter altijd een deel van het water kunnen indringen. Een doorlatende straatlaag (bv. zand 0/6,3 of steenslag 2/6,3) is hier dus verplicht.

Uiteraard zijn deze ongebonden/flexibele voegvullingen (zand, split of steenslag) minder bestand tegen uitzuiging door veegmachines; wel zijn zij eenvoudiger aan te brengen en makkelijker te herstellen. Geregeld herinvoegen is dan ook aan te raden, opdat de voegen te allen tijde zo goed mogelijk gevuld zijn.

Voegzand voor bestratingen dient een beperkt gehalte aan fijne bestanddelen ( $< 63 \mu\text{m}$ ) te hebben: minimaal klasse  $f_{10}$  en bij voorkeur zelfs  $f_5$  volgens PTV 411 [30]. Wat de kwaliteit van de fijne bestanddelen betreft, dient bovendien de methyleenblauwwaarde te voldoen aan:  $\text{MBF} \leq 10$  of  $\text{MB} \leq 1,5$  (categorie a volgens PTV 411 [30]).

Steenslag of split (2/4 of 2/6,3) voor het vullen van voegen in bestratingen behoort tot de categorieën  $\text{LA}_{20}$ ,  $\text{MDE}_{15}$  en  $\text{PSV}_{50}$  volgens NBN EN 13242 [29] wat de weerstand tegen verbrijzeling en afslijting en de versnelde-polijstingscoëfficiënt betreft (categorie Ab of 3 volgens PTV 411 [30]). Het aandeel van de fijne bestanddelen in het homogeen aggregaatmengsel (0/6,3) dient bovendien beperkt te zijn tot 5 %.



**Figuur 2.10** – Voegvulling van gebroken porfier 2/4

### 2.4.3 Gebonden materialen

Klassiekers in deze groep zijn met cement gebonden voegmaterialen en gemodificeerde mortels – met toegevoegde polymeren of andere toeslagstoffen voor verbeterde eigenschappen zoals een verhoogde kleef- en hechtsterkte of betere verwerkbaarheid –, waarmee een water- en luchtdichte voeg wordt gecreëerd. Deze “gesloten” voegvullingen worden (meestal) enkel voor bredere voegen (8 tot 10 mm) in natuursteenbestratingen gebruikt, en/of voor het afdichten van grotere openingen rond obstakels en straatgoten, op verkeerseilanden, enz. Belangrijke aandachtspunten bij deze materialen zijn mogelijke scheurvorming door krimp, en vorst-dooibestendigheid. Het bindmiddel maakt deze materialen ook duurder dan ongebonden materialen.



Stijve voegen maken onlosmakelijk deel uit van het monolithische geheel dat de fundering en de verharding vormen. Ze helpen de horizontale en verticale krachten die het verkeer uitoefent, integraal op te nemen. In een bestrating volgens het stijve concept zijn uitzetvoegen nodig (zie hoofdstuk 3).

#### 2.4.3.1 *Al dan niet gemodificeerde cementmortel*

Het betreft voegmortels op basis van cement, zand en water, al dan niet met chemische toevoegingen. Additieven (voornamelijk polymeeremulsies) verbeteren de kleef- en hechtsterkte en zorgen voor betere mechanische eigenschappen ("gemodificeerde mortel").

Er bestaan ook krimpgecompenseerde voegmortels, die in sommige gevallen verplicht zijn voor het invoegen nadat de straatlaag uitgehard is.

De minimale hoeveelheid cement wordt voorgeschreven in de verschillende standaardbestekken (typisch 400-500 kg cement per m<sup>3</sup> droog zand). De voegmortel kan voorverpakt op de bouwplaats worden geleverd (kant-en-klare mortel), waarna in een betonmolen of andere menger water wordt toegevoegd. Of hij kan ter plaatse worden geleverd, met een betonmixer. Cementmortels worden steeds voor brede voegen (5-25 mm) gebruikt, waarbij vaak een minimale voegdiepte van 30-50 mm wordt geëist (zie hoofdstuk 3, tabel 3.6).

De kwaliteit kan op de bouwplaats worden gecontroleerd door prisma's (160 mm x 40 mm x 40 mm) te vervaardigen, waaraan na achtentwintig dagen eerst de buigsterkte en dan de druksterkte worden bepaald. Andere belangrijke eigenschappen zijn onder meer krimp, de vorst-dooibestendigheid al dan niet in aanwezigheid van dooizouten, de hechtsterkte tussen straatkei en mortel, de waterabsorptie en de slijtweerstand.



**Figuur 2.11** – *Aanbrengen van gemodificeerde mortel*

#### 2.4.3.2 *Zandcement*

Zandcement wordt als voegmateriaal sterk afgeraden. De "aardvochtige" consistentie en gebrekkige hechting die eigen zijn aan dit materiaal, maken geen correcte uitvoering van voegen mogelijk. Bovendien is de mechanische sterkte van zandcement ruim onvoldoende.



### 2.4.3.3 Bitumineuze mortel



**Figuur 2.12** – Aanbrengen van bitumineuze mortel

Bitumineuze mortel wordt samengesteld uit grof zand en bindmiddel. Het bindmiddel kan een bitumenemulsie zijn waaraan een emulgeermiddel is toegevoegd, of een emulsie op basis van heldere synthetische bindmiddelen die met polymeren zijn gemodificeerd. Emulsies van heldere synthetische bindmiddelen zijn pigmenteerbaar.

Hoewel zij zich doorgaans goed gedragen onder druk verkeer en ook ondoorlatend zijn, worden deze voegvullingsproducten nog maar weinig toegepast. Na de verwerking ervan zijn namelijk ook de kopvlakken van de straatkeien er gedeeltelijk mee bedekt. De resterende sporen van het product zijn dan nog moeilijk te verwijderen, tenzij op voorhand een antikleefmiddel op de bestrating is gespreid. Deze filmvormende middelen mogen enkel worden gebruikt om de straatkeien tijdelijk te beschermen terwijl de voegen met emulsie worden gevuld.

Daartegenover staat het voordeel dat bij toepassing van bitumineuze mortel als voegmateriaal geen uitzetvoegen nodig zijn, omdat dit materiaal als flexibel (en ondoorlatend) mag worden beschouwd.

### 2.4.3.4 Harsgebonden voegmortel

Mortels in deze groep bestaan uit een mengsel van kwartszand, een kunsthars en eventuele organische en anorganische additieven, waarbij het zandskelet gebonden wordt met een een- of tweecomponentenkunsthars (meestal epoxy) dat door een chemische reactie volledig uithardt (thermohardende kunststof). De zeefkromme van het zand en het type en de dosering van het bindmiddel worden aangepast aan de verwachte verkeersbelasting. Er bestaan kant-en-klare (eencomponent)voegmortels die meteen als zodanig kunnen worden gebruikt (meestal op basis van polybutadieen), systemen waarbij één component al voorgemengd is met het zand en de tweede component op de bouwplaats dient te worden toegevoegd, en voegmortels waarbij de twee componenten met het zand moeten worden gemengd. Doorgaans wordt in een laatste fase ook nog water aan het mengsel toegevoegd, om de vloeibaarheid en verwerkbaarheid in de voegen te verbeteren. Deze polymeergebonden mortels worden dus altijd in min of meer “natte toestand” verwerkt (in tegenstelling tot droog polymeerzand, zie § 2.4.3.5).

Bovendien zijn ze, in tegenstelling tot cementgebonden voegmortel (zie § 2.4.3.1), altijd enigszins waterdoorlatend. De doorlatendheid varieert met het gekozen product en het gehalte aan toegevoegd hars. Een voegmortel op kunstharsbasis dient dan ook met een waterdoorlatende straatlaag en fundering te worden gecombineerd (of er dient alleszins in drainage te worden voorzien, zodat dat er geen water in de straatlaag kan blijven vastzitten). De grens tussen doorlatend en ondoorlatend – en deels

ook tussen flexibel en stijf – is echter soms ook vaag en hangt sterk samen met de morteldichtheid. Hoe hoger deze dichtheid, hoe lager de waterdoorlatendheid, maar ook hoe hoger de toelaatbare verkeersbelasting en de bestandheid tegen veeg- en borstelmachines.

Afhankelijk van het type van product kunnen harsgebonden voegmortels dus in het stijve, (nagenoeg) ondoorlatende concept (hogere dichtheid en hogere verkeersbelasting) of in het flexibele, doorlatende concept (lagere verkeersbelasting en kleinere dichtheid, bv. straatlaag van zand 0/8 of steenslag 2/8) worden toegepast. Op te merken valt dat voor de mortel 2 mm de kleinste toelaatbare korreldiameter is, omdat de voegmortel anders in de straatlaag kan verdwijnen (filterstabiliteit).

Alleszins is harsgebonden voegmortel enkel bruikbaar voor bredere voegen (5-30 mm) met een minimale diepte van 30 mm.

Bij sommige producten moet ten slotte worden opgelet voor de film die zij op de straatkeien kunnen achterlaten. Deze verdwijnt weliswaar metertijd onder invloed van weer en verkeer, maar kan in bepaalde gevallen blijvende ongewenste esthetische effecten hebben.

Dergelijke voegmaterialen zijn in België nog niet zo bekend en de toepassing ervan blijft vooralsnog beperkt tot wegen met weinig verkeer.

#### 2.4.3.5 Polymeerzand

Polymeerzand is zogenoemd voegzand dat voorgemengd is met een polymeer (niet-epoxy)bindmiddel en dat (net als klassiek voegzand) droog in de voegen moet worden geveegd. Het wordt verdicht met een trilplaat die op de stenen rust en vervolgens met water bevochtigd of beneveld, tot de voegen verzadigd zijn. Daarna harden deze volledig uit, maar blijven zij theoretisch onder vochtige condities toch gedeeltelijk elastisch. Het bindmiddel kan van synthetische (toegevoegde kunststoffen) of natuurlijke (bv. plantaardige, organische lijm, dus biologisch bindmiddel) oorsprong zijn. Afhankelijk van de aard en dosering van dit bindmiddel kan de voegvulling in uitgeharde toestand meer of minder elastisch zijn, of bij vochtige condities zelfs plastisch reageren. Van sommige materialen met biologische bindmiddelen wordt bovendien beweerd dat ze bij toevoer van water (bv. regenbui) ook zelfherstellend zouden werken voor kleine scheurtjes die in de voegvulling zijn opgetreden.

Polymeerzand of, meer algemeen, “polymeergebonden zand” is een groep van vrij innovatieve en recente voegmaterialen, waarmee tot dusver in de praktijk weinig of geen ervaring is opgedaan. Alleszins zijn deze materialen enkel in smallere voegen (1-10 mm) te gebruiken, en vooralsnog voorbehouden voor de laagste verkeerscategorie. Afhankelijk van het type en de hoeveelheid toegepast bindmiddel (polymeer) zijn ze ook altijd enigszins waterdoorlatend en dienen ze dus met een waterdoorlatende opbouw te worden gecombineerd.



Figuur 2.13 – Principe van polymeerzand

## 2.4.4 Hechtlaag/hechtbrug

Voor natuursteenelementen met een gladde afwerking aan de onderkant en meer algemeen om de hechting tussen natuursteen en een cementgebonden straatlaag te verbeteren, kan tussen de straatlaag en de onderkant van de straatkei een hecht- of zogenoemde aanbrandlaag worden aangebracht.

Zulk een hechtlaag (in de praktijk ook wel *barbotine* genoemd) is een gebruiksklare hechtlaag waarmee de stenen "vers in vers" op de straatlaag worden aangebracht. De techniek is afkomstig uit de tegelzetindustrie, maar wordt tegenwoordig in specifieke gevallen (bv. bij gladde, gezaagde stenen) ook bij natuursteenverhardingen toegepast. De "aanbrand"-techniek wordt soms ter hoogte van uitzetvoegen gebruikt, om de stenen langs deze voegen extra in de straatlaag vast te zetten (zie hoofdstuk 3).



Figuur 2.14 – Aanbrengen van een hechtlaag

Er bestaan verschillende soorten van aanbrandlagen:

- **gebruiksklare**, voorverpakte hechtmortel, die op de bouwplaats enkel nog met water moet worden gemengd;
- **ambachtelijke** hechtlagen, die gebruikmaken van een mengsel van zand en cement in de verhouding 50/50, aangemaakt met een al dan niet met water verdunde kunststofdispersie. Voor sommige soorten natuursteen is het hierbij aan te bevelen een kunststofdispersie te gebruiken die tevens waterdicht maakt.

Deze mortellaag kan worden uitgegoten (zie figuur 2.14) of met een blokkwast worden uitgesmeerd, of de steen kan tot 1/3 van zijn dikte in de mortelspecie worden gedompeld. Men laat de hechtlaag ook even aantrekken alvorens de steen in de straatlaag aan te brengen.

Om de kwaliteit van de hechtlaag te beoordelen, kan het best de afschuifsterkte worden gemeten aan twee stenen die met een dun laagje hechtmortel op elkaar zijn gelegd, volgens NBN EN 12003 [31]. Een afschuifspanning van meer dan 1 MPa na achtentwintig dagen wijst op een effectief functionele hechtlaag.

Als alternatief kan ook de hechtsterkte worden bepaald, via een directe trekproef (*pull-off test*, bijvoorbeeld volgens NBN EN 1542 [32]). Een waarde van minimaal 0,5 MPa na achtentwintig dagen is daarbij aangewezen.

## Hoofdstuk 3

### Ontwerp en dimensionering

Zelfs de beste verharding houdt niet lang stand als de wegconstructie slecht gedimensioneerd is of als de keuze van de materialen niet is afgestemd op de verwachte verkeersbelasting. Daarom moet bij het ontwerp en de dimensionering van elke verharding rekening worden gehouden met de wegstructuur in haar geheel.

De verschillende onderdelen van de wegconstructie (onderfundering, fundering, straatlaag, voegvulling, enz.) dienen op elkaar te worden afgestemd. Al in de ontwerpfase moet dan ook goed worden nagedacht over de verschillende eisen waaraan de natuursteenverharding moet voldoen. Aspecten als toekomstig gebruik, verkeersbelasting, kabels en nutsleidingen, toekomstig onderhoud, budget, esthetische randvoorwaarden, enz. zullen elk een impact hebben op het uiteindelijke ontwerp.

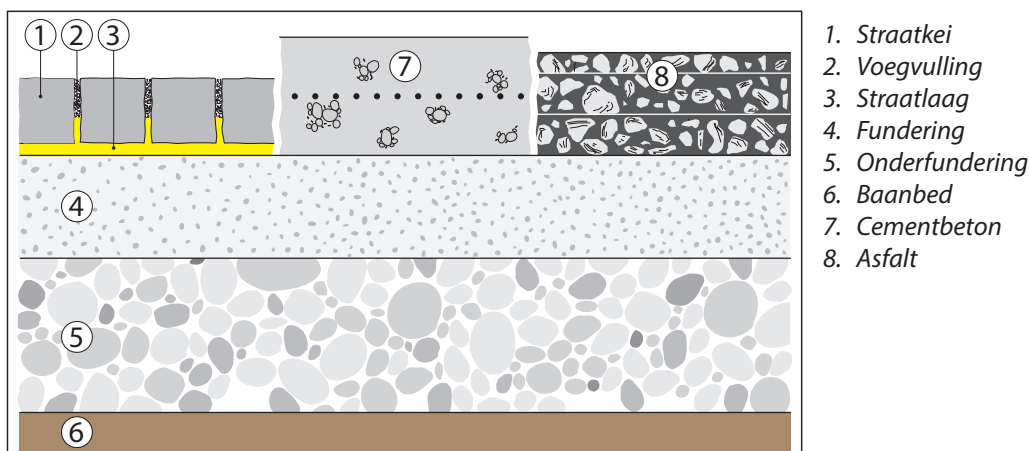
#### 3.1 Beschrijving en rol van de onderdelen van de wegconstructie

##### 3.1.1 Opbouw van de wegconstructie (wegen en daarmee gelijkgestelde voorzieningen)

De voornaamste rol van elke wegconstructie bestaat erin, de spanningen onder de rollende lasten op het wegoppervlak dankzij de kenmerken van de gekozen materialen en de dikte van de verschillende lagen tot een zodanig niveau terug te dringen, dat de aanwezige ondergrond er niet door vervormt.

Een wegconstructie is (in principe) uit vier onderdelen opgebouwd (zie figuur 3.1). Van beneden naar boven zijn dat:

- de aanwezige ondergrond;
- de onderfundering;
- de fundering;
- de verharding.



**Figuur 3.1** – Algemene opbouw van een wegconstructie (principetekening) [33, blz.3]

1. Straatkei
2. Voegvulling
3. Straatlaag
4. Fundering
5. Onderfundering
6. Baanbed
7. Cementbeton
8. Asfalt



De mechanische prestaties nemen in principe toe naarmate het onderdeel zich hoger in de structuur bevindt.

Elk van de genoemde onderdelen vervult een specifieke functie, die verderop beschreven wordt. Soms kan één van deze onderdelen ontbreken. De functie ervan wordt dan overgenomen door de overige onderdelen van de wegconstructie.

De dikte van de verschillende lagen wordt bepaald door middel van dimensioneren, waarbij rekening wordt gehouden met het verkeer, de intrinsieke kenmerken (*onder meer de elasticiteits- of de stijfheidsmoduli*) van de gebruikte materialen en het draagvermogen van de aanwezige ondergrond.

De in dit hoofdstuk beschreven constructies moeten worden aangevuld met een drainagesysteem (*sloten, drains, enz.*) dat infiltratiewater een uitweg biedt. Dit is van levensbelang voor de duurzaamheid van de constructie (*draagvermogen van de aanwezige ondergrond, vorstschade, enz.*) in haar geheel.

Hoewel deze handleiding in hoofdzaak op de natuurstenen bestratingselementen is gericht, lijkt het nuttig hierna ook wat informatie te geven om de ontwerper te leiden in zijn keuze van de overige onderdelen van de wegconstructie.

### 3.1.2 Aanwezige ondergrond en baanbed

Het baanbed stemt overeen met de bovenste meter van de aanwezige ondergrond. Meestal bestaat het uit ter plaatse aanwezig materiaal (of, bij een ophoging, uit aangevoerd materiaal).

Het draagvermogen van de aanwezige ondergrond bepaalt voor een groot deel de opbouw (vooral de vereiste dikte) van de bovenliggende wegconstructie.

Het draagvermogen van het baanbed wordt doorgaans als toereikend beschouwd als de samendrukbaarheidscoëfficiënt M1 bij de eerste cyclus van de Belgische statische plaatbelastingsproef 17 MPa of meer bedraagt. Bij lagere waarden moeten technieken worden toegepast om het draagvermogen te verbeteren, zoals extra verdichten, grondbehandeling met bindmiddelen, of vervanging van een deel van de aanwezige grond met eventuele aanbrenging van een geogrid.

In kleileemhoudende grond kan een betrekkelijk geringe hoeveelheid water het draagvermogen al doen afnemen of (bij verzadiging) zelfs helemaal wegnemen. In dit laatste geval moet een drainage-inrichting worden aangebracht, om het draagvermogen van de grond te helpen verbeteren.



**Figuur 3.2** – Aanbrengen van een scheidend geotextiel onder de onderfundering

Sommige grondsoorten zijn bijzonder gevoelig voor vorst-dooiwisselingen (zwellen) en moeten tegen alle toetreding van vorst worden beschermd. De wegstructuur moet dan dik genoeg worden ontworpen om dat te voorkomen.

Aanbevolen wordt om tussen het baanbed en de wegconstructie een scheidend niet-geweven geotextiel aan te brengen (zie figuur 3.2). Dit geotextiel dient in eerste instantie als filter: het voorkomt dat de onderfundering verontreinigd raakt, door te verhinderen dat fijne bestanddelen vanuit de ondergrond in het weglichaam dringen.

Om de structuur optimaal te kunnen ontwerpen en dimensioneren, dient vooraf een terreinverkenning naar de aard en hoofdkenmerken van de aanwezige materialen plaats te vinden. Dit onderzoek moet proeven met een dynamisch sondeerapparaat (*lichte slagsonde van het OCW, PANDA-apparaat, enz.*) omvatten, evenals monsterboringen en watergehaltemetingen.



**Figuur 3.3** – Geotechnische proeven voor en tijdens de werken (plaatbelastingsproef en proef met het PANDA-apparaat)

### 3.1.3 Onderfundering

De onderfundering vervult op korte en lange termijn verscheidene functies:

- het weglichaam draineren en infiltratiewater afvoeren naar de zijdelingse drainage-inrichtingen;
- door haar dikte het vorstfront in de ondergrond op een afstand houden;
- de belastingen die het verkeer op de ondergrond uitoefent, afdoende verdelen;
- een stabiel, stevig rijvlak vormen voor de zware machines en voertuigen waarmee de fundering moet worden aangebracht, en voldoende reactiekracht bieden (aambeeldfunctie) wanneer de bovenliggende lagen worden verdicht;
- het baanbed en de ophoging tegen weersinvloeden beschermen totdat de bovenliggende onderdelen van de wegconstructie worden gerealiseerd;
- de fundering beschermen tegen capillaire wateropstijging en tegen toetreding van fijne bestanddelen uit de aanwezige ondergrond (scheidingslaag);
- een voldoende draagkrachtig oppervlak vormen voor het aanbrengen van trottoirbanden, goten en andere lijnvormige elementen.

Om de opgesomde functies te vervullen, moeten materialen voor onderfunderingen vorstbestendig zijn en voldoende drainagevermogen bezitten (*weinig fijne bestanddelen bevatten*). Bovendien moeten zij gemakkelijk te verdichten zijn.

De huidige bestekken laten in onderfunderingen natuurlijke aggregaten, recyclinggranulaten (*recyclingmaterialen uit bouw- en sloopafval*) of kunstmatige aggregaten (*metaalslak, AVI-slak, enz.*) toe. De toegelaten materialen verschillen van gewest tot gewest. Daarom wordt aanbevolen het standaardbestek van het betrokken gewest te raadplegen [12, 13, 14].



De meest toegepaste soorten van onderfundering zijn:

- een **onderfundering van zand**, bestaande uit een laag zand voor drainage of zand voor onderfunderingen. Daarop kan, als de onderfundering in verscheidene fasen wordt uitgevoerd, een ongeveer 8 tot 10 cm dikke laag steenslag met discontinue korrelverdeling worden aangebracht;
- een **onderfundering van steenslag**, bestaande uit een homogeen mengsel van zand voor onderfunderingen met grof steenslag (grootste korrelmaat: 80 of 125 mm, naargelang van het gewest);
- een **onderfundering van in situ** of in een menginstallatie **gestabiliseerde grond**, die niet alleen tot doel heeft de fysische en mechanische eigenschappen te wijzigen maar ook het verkregen mengsel ongevoelig te maken voor water en voor vorst-dooiwisselingen, door geschikte bindmiddelen (kalk, cement, hydraulische bindmiddelen voor wegenbouw) toe te voegen. De drainerende rol van de onderfundering wordt dan door de fundering of door een specifieke drainagevoorziening vervuld.

Meer informatie hierover is te vinden in de handleiding die het OCW voor de uitvoering van onderfunderingen met gestabiliseerde materialen heeft opgesteld *Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen – A 81/10* [34] en *Praktijkids 2 voor stabilisatie van grond voor onderfunderingslagen* [35].

De keuze voor een bepaalde soort van onderfundering hangt in hoofdzaak van de beschikbaarheid en kostprijs van de materialen af, met dien verstande dat zij aan de technische eisen in de bestekken dienen te voldoen.

De onderfundering moet voldoende draagvermogen bezitten om de bovenliggende lagen en de opsluitbanden, straatgoten en andere lijnvormige elementen te kunnen aanbrengen. Het criterium dat in de bestekken doorgaans voor het draagvermogen wordt gehanteerd, is dat in de Belgische statische plaatbelastingproef een samendrukbaarheidscoëfficiënt (M1) van 35 MPa of meer moet worden verkregen. Dit draagvermogen moet behouden blijven, zelfs als de onderfunderingslaag maandenlang aan regen en vorst wordt blootgesteld .

De benodigde dikte van de onderfundering wordt meestal door de vorstindringdiepte bepaald. Als de ondergrond uit vorstgevoelige materialen bestaat, moet er immers voor worden gezorgd dat het vorstfront nooit zo diep komt. Wanneer vorstgevoelige materialen bevriezen, zetten zij namelijk uit, waardoor de wegconstructie omhoog kan komen (*opvriezen*). Om dit te voorkomen, kan de onderfundering dikker worden gemaakt.

Het is dan ook van fundamenteel belang de vorstgevoeligheid van de ondergrond te controleren en daarnaast ook de vorstindringdiepte te bepalen.

De vorstindringdiepte  $Z$ , in cm uitgedrukt, is per definitie:

$$Z = 5 * J^{0,5}$$

Hierin is  $J$  de vorstindex. Deze index is het aantal graden-dagen tussen het hoogste en het laagste punt van een cumulatieve kromme van de graden-dagen als functie van de tijd, over een vorstseizoen gezien. In principe wordt uitgegaan van de tienjaarlijkse vorstindex, dit is de grootste vorstindex over een periode van tien jaar.

Tabel 3.1 geeft  $J$ -waarden voor verschillende weerstations, over de periode 1995-2005. Hiervan uitgaand konden de overeenkomstige waarden van de vorstindringdiepte  $Z$  worden berekend.

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
Beauvechain	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 3.1** – Vorstindex en vorstindringdiepte Z op verschillende plaatsen

De dikte (*in cm*) van de aan te brengen vorstbestendige constructie hangt van de vorstindringdiepte af:

$$D_{\text{vorstrij}} = a * Z$$

De waarde van a is 0,8 als de grondwaterspiegel zich meer dan 1,4 m onder het verhardingsoppervlak bevindt. Zo niet bedraagt zij 1,0.

Als de ondergrond vorstgevoelig is en de ontworpen structuur minder dik dan de vorstbestendige dikte die volgens de bovenstaande rekenformule nodig is, moet een deel van de ondergrond door vorstbestendig materiaal (*steenslag*) worden vervangen of moet de ondergrond met een geschikt behandelingsmiddel (*kalk, hydraulisch bindmiddel voor wegenbouw, cement, enz.*) worden verbeterd.

### 3.1.4 Fundering

De fundering wordt op de onderfundering aangebracht, of op het baanbed als er geen onderfundering nodig is. Zij dient een onvervormbare steun voor de verharding te vormen en de spanningen die het verkeer teweegbrengt, te verdelen en zo terug te dringen tot een voor de onderfundering aanvaardbaar niveau.

De keuze uit de verschillende soorten van funderingen kan van invloed zijn op de totale kosten van het project. In een gegeven project kunnen de respectieve dikten van de fundering en de verharding namelijk van het gekozen funderingsmateriaal afhangen.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen ongebonden funderingen (steenslag en grind) en gebonden funderingen (zandcement, gestabiliseerd steenslag, gewapend en ongewapend schraal beton, drainerend schraal beton en walsbeton). Een gebonden fundering biedt het voordeel dat zij stijver, stabiel en duurzamer is en de constructie zich dus beter zal gedragen onder verkeer en bij de inwerking van water en vorst. Tenzij het om drainerend schraal beton gaat, is een gebonden fundering doorgaans ondoorlatend. Bij het drainageontwerp voor het project dient hiermee rekening te worden gehouden.

De gebruikte materialen mogen natuurlijke of secundaire aggregaten (*betongranulaat, gebroken hoogovenslak*) zijn. Sommige gewesten laten menggranulaat (*van beton en metselwerk*) of asfaltgranulaat in funderingen toe, evenals staalslak.

#### 3.1.4.1 Ongebonden fundering

Deze is samengesteld uit verscheidene korrelmaten van steenslag, zand en fijne bestanddelen, waaraan geen bindmiddel wordt toegevoegd. Er zijn twee soorten:

- een **steenslagfundering met continue korrelverdeling**, die betrekkelijk gemakkelijk aan te brengen en te verdichten is. Het risico op ontmenging is beperkt. Ze is ook weinig doorlatend;
- een **steenslagfundering met discontinue korrelverdeling**, met een korrelskelet waarin een korrelgroottefractie ontbreekt.

Bepalend voor de keuze tussen steenslagfundering met continue of discontinue korrelverdeling is de gewenste doorlatendheid. Als doorlatendheid geen prioriteit is, verdient het aanbeveling voor steenslag met een continue korrelverdeling te kiezen: de kwaliteit van de verwerking is gemakkelijker te beheersen doordat het materiaal zich vlotter laat verdichten en ook minder gauw ontmengt tijdens vervoer en opslag dan steenslag met een discontinue korrelverdeling. Als de fundering betrekkelijk doorlatend moet zijn, dient steenslag met een discontinue korrelverdeling te worden gebruikt.

Een ongebonden fundering moet tijdens de eerste cyclus van een plaatbelastingsproef een samen-drukbaarheidsmodulus M1 van ten minste 110 MPa halen.

#### 3.1.4.2 Gebonden fundering

Het mengsel voor deze fundering kan worden gebonden met cement, met gegraneerde hoogovenslak én kalk of met een hydraulisch bindmiddel voor wegenbouw, en moet in een installatie worden bereid. Hydraulisch gebonden mengsels vallen onder de normenreeks NBN EN 14227-1, -2, -3 en -5 [36, 37, 38, 39] en kunnen op vrijwillige basis bij BENOR worden gecertificeerd.

- Het mengsel voor een met cement, met een mengsel van gegraneerde hoogovenslak en kalk of eventueel met een hydraulisch bindmiddel voor wegen **gebonden steenslagfundering met continue korrelverdeling** moet in een menginstallatie worden bereid. Het watergehalte tijdens de verwerking is bepalend voor het verdichtingsresultaat (draagvermogen). Het draagvermogen wordt gecontroleerd met de Belgische statische plaatbelastingsproef, voordat het cement bindt. De stabilisatie van het steenslag maakt het mogelijk de wegconstructie voor een gegeven verkeersintensiteit een kleinere totale dikte te geven. Dit type van fundering is meer bepaald geschikt voor matig verkeer.
- Een **fundering van zandcement (gestabiliseerd zand)** bestaat uit een homogeen mengsel van zand, cement en water. De verkregen druksterkte is sterk afhankelijk van de naleving van het optimale watergehalte bepaald uit een Proctorproef, evenals van de verdichtingsgraad en van de ge-

bruikte zandsoort. De druksterkte wordt in het Vlaamse en in het Brusselse Gewest aan boorkernen gecontroleerd, na minstens achtentwintig dagen. In het Waalse gewest wordt het draagvermogen met de Belgische statische plaatbelastingsproef gemeten, voordat het cement bindt.

Een dergelijke fundering mag enkel bij licht verkeer worden toegepast.

- Een **fundering van schraal beton** bestaat uit een mengsel van cement (min. 100 kg/m<sup>3</sup>), water, zand en steenslag en wordt eventueel van een wapeningsnet voorzien. Zij maakt een goede verdeling van de verticale spanningen over de onderliggende lagen mogelijk. Daarom wordt schraal beton in hoofdzaak op weinig draagkrachtige ondergronden toegepast, voor wegen met druk verkeer.

Een van de kenmerken van schraal beton is dat het thermische krimp-scheuren vertoont. Om te voorkomen dat de fundering willekeurig gaat scheuren, dienen dan ook met tussenafstanden van ten hoogste 5 m krimpvoegen te worden gemaakt door over een derde van de dikte een zaagsnede aan te brengen of door in het verse beton een inkerving te maken.

Bij aansluitingen met bestaande bebouwing moet rekening worden gehouden met mogelijke uitzetting van het schrale beton. Om deze uitzetting op te vangen, dient tussen de fundering en de gevel een isolatievoeg te worden gemaakt.

- Een **fundering van drainerend schraal beton** bestaat uit waterdoorlatend schraal beton met discontinu gegradeerd steenslag (zonder zand). Hiermee moet worden voorkomen dat er water op de fundering blijft staan. De eigenschappen van het materiaal voor de straatlaag moeten worden gekozen met oog voor de drainerende aard en open structuur van de fundering. Een fundering van drainerend schraal beton heeft uiteraard slechts zin als ook het baanbed voldoende drainerend is.

Om het drainerende schrale beton zijn drainerende functie duurzaam te laten vervullen, kan het nodig zijn tussen de fundering en de straatlaag een geotextiel aan te brengen. Zo niet kunnen er fijne bestanddelen van de straatlaag in het drainerende schrale beton dringen, waardoor het minder doorlatend wordt. De toepassing van dit geotextiel is echter omstreden, omdat het problemen kan geven met de hechting van de verharding. Aan dit risico dient de nodige aandacht te worden besteed.

De opmerkingen in verband met het aanbrengen van krimpvoegen en een isolatievoeg tussen fundering en gevel (zie hierboven) zijn ook hier van toepassing.

- Een **fundering van walsbeton** lijkt qua samenstelling op een fundering van schraal beton, maar het mengsel bevat meer cement (min. 200 kg/m<sup>3</sup>) en de korrels hebben een maximale afmeting van 20 mm. Walsbeton biedt het voordeel dat het vrijwel onmiddellijk na de verwerking voor verkeer mag worden opengesteld. Ook bij walsbeton moeten krimpvoegen en een isolatievoeg tussen fundering en gevel worden gemaakt.

Behalve bij de eerste twee van de hierboven beschreven soorten wordt de druksterkte van gebonden funderingen a posteriori gemeten, door kernen te boren en ze na negentig dagen op druksterkte te beproeven. De geldende eisen zijn aangegeven in de verschillende bestekken.

Voor nadere voorschriften wordt verwezen naar de verschillende gewestelijke standaardbestekken.

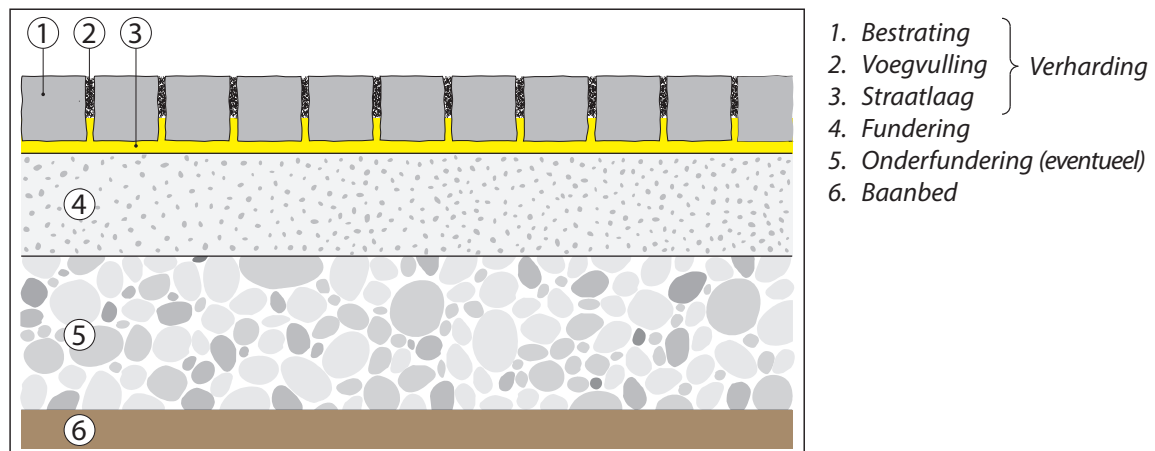
### 3.1.5 Verharding

Als bovenste deel van de wegconstructie staat de verharding direct bloot aan externe invloeden zoals het verkeer en het klimaat (*temperatuur, water, vorst*).

De verharding moet dus intrinsieke kenmerken bezitten – onder meer vormvastheid, weerstand tegen scheurvorming, cohesie en eventueel ondoorlatendheid – die ze bestand maken tegen de directe en indirecte effecten (*spanningsniveau*) van deze invloeden, en wel zo duurzaam mogelijk om de weggebruikers en de omgeving een niveau van veiligheid en comfort te bieden dat met de verwachte belastingen te verenigen is.

### 3.1.6 Natuursteenverhardingen

Het geheel van bestratingselementen, voegen en straatlaag vormt de verharding (zie figuur 3.4). Deze moet de spanningen naar de onderliggende lagen overbrengen, maar tevens garant staan voor het comfort van de weggebruiker.



**Figuur 3.4** – Algemene opbouw van een weg met een bestrating

De verharding beschermt ook de onderliggende lagen tegen waterinfiltratie. De voegen moeten daartoe zo ondoorlatend mogelijk zijn. Als de voegen geen garantie op absolute ondoorlatendheid kunnen bieden (bijvoorbeeld doordat het voegmateriaal ongebonden is of bewust voor een doorlatende wijze van bestraten geopteerd is), moet voor de straatlaag een doorlatend materiaal (bijvoorbeeld steenslag 2/4 of 2/6,3) worden gekozen, zodat het infiltratiewater kan worden afgevoerd.

Kantopsluiting is altijd nodig, ongeacht het te bestraten of te betegelen oppervlak en het bestratingsverband en bij om het even welk verwacht verkeer. Daar zijn in hoofdzaak twee redenen voor:

- de straatkeien of de tegels inklemmen en zo voorkomen dat ze verschuiven, kantelen of roteren onder de krachten die het verkeer uitoefent, zowel tijdens de aanbrenging (voorlopige kantopsluiting of definitieve trottoirbanden wanneer één kant van de weg is gestraat) als na de definitieve openstelling voor verkeer;
- voorkomen dat straatlaagmateriaal door water wordt uitgespoeld.

## 3.2 Algemene ontwerp- en dimensioneringsprincipes

Elke studie voor het ontwerp en de dimensionering van een weg beoogt een meerlagenstructuur te realiseren die de verschillende optredende spanningen en belastingen (*verkeer, vorst*) gedurende de hele verwachte levensduur (*voor bestratingen doorgaans op twintig jaar geschat*) kan opnemen zonder dat de ondergrond waarop zij rust blijvend vervormt.

De levensduur van een wegconstructie kan worden bepaald uit specifieke kenmerken en met vermoeingswetten voor de verschillende soorten van funderingen. Deze levensduur wordt doorgaans theoretisch uitgedrukt in een aantal passages van een standaardaslast en kan in een levensduur in jaren worden omgezet als het verkeerslastenspectrum bekend is.

Daarbij moeten verschillende parameters in aanmerking worden genomen, zoals:

- het verkeer;
- de kenmerken van de ondergrond;
- de vorstgevoeligheid van de ondergrond;
- de watertoevloed (oppervlakte- en grondwater).

### 3.2.1 Algemene dimensioneringsregels

Tijdens het dimensioneringsproces worden de aard en dikte van de verschillende lagen in de structuur – de onderfundering, de fundering en de verharding – bepaald als functie van de bovenbeschreven parameters.

Bijzondere aandacht is geboden voor de volgende punten:

- de **dikte van de wegstructuur** in haar geheel (verharding, fundering en onderfundering) moet voorkomen dat het vorstfront het baanbed bereikt (zie § 3.1.3);
- het **baanbed** moet de wegconstructie dragen en de verkeersbelasting opnemen, in alle weersomstandigheden. De voornaamste parameters die bij het ontwerpen en dimensioneren in aanmerking moeten worden genomen, zijn dan ook het draagvermogen van het baanbed, het watergehalte van de ondergrond en de gevoeligheid van het materiaal voor vorst-dooiwisselingen;
- de **samenstelling en dikte van de onderfundering** moeten op basis van het draagvermogen van de ondergrond worden bepaald en goede drainage waarborgen;
- de **samenstelling en dikte van de fundering** moeten zo worden bepaald, dat zij bestand is tegen de verschillende spanningen en vervormingen.

### 3.2.2 Drainage en waterafvoer in het ontwerp

Water in een weg heeft vaak een nefaste invloed. Daarom moet ervoor worden gezorgd geen wateropeenhoping te krijgen, die onvermijdelijk schade in de wegconstructie zou veroorzaken.

Doeltreffende drainage is dus uiterst belangrijk. Zij kan worden bereikt door een juiste materiaalkeuze voor de verschillende lagen in de structuur en door een goed ontwerp voor de afvoer van water uit de structuur, naar de riolering.

Een opbouw met doorlatende materialen (buiten de natuursteen) laat water doorsijpelen naar het baanbed en geeft geen bijzondere drainageproblemen. De ontwerper moet er dan wel op toezien dat alle gekozen materialen (voegen, straatlaag, fundering) wel degelijk doorlatend zijn.



Als het te verwachten verkeer een stijve wijze van bestraten noodzakelijk maakt (zie § 3.3.9), wat (doorgaans) neerkomt op een ondoorlatende structuur, moet het oppervlaktewater snel worden afgevoerd door de bestrating een dwarshelling van ten minste 2 % te geven. Voorts dienen voor een doeltreffende afvoer van oppervlaktewater voldoende kolken en goten in het ontwerp te worden opgenomen, met het nodige afschot. De keuze van het voegmateriaal, dat tijdens de hele levensduur volkomen ondoorlatend moet blijven, is van kapitaal belang.

Meer details over drainage van en waterafvoer uit wegconstructies zijn te vinden in de *Handleiding voor de bescherming van wegconstructies tegen de inwerking van water* – A 88/14 [40] en § 3.3.14 van deze handleiding.

## 3.3 Specifieke ontwerpregels voor natuursteenverhardingen

### 3.3.1 Methodiek

Het ontwerp en de dimensionering van een structuur met een natuursteenverharding omvatten de volgende fasen:

1. algemene dimensionering van de structuur;
2. keuze van de straatkeien en het bestratingsverband;
3. ontwerp van de wijze van bestraten (voegvulling, straatlaag);
4. ontwerp van de fundering;
5. ontwerp van het drainagesysteem.

### 3.3.2 Rekening houden met het verkeer

#### 3.3.2.1 Referentiekader voor natuursteenverhardingen onder voertuigenverkeer

Bij het dimensioneren van wegen onder auto- of vrachtwagenverkeer wordt eerst naar de intensiteit van dat verkeer gekeken. Er zijn vier verkeerscategorieën (van I tot IV) bepaald, waaraan standaardstructuren zijn gekoppeld steunend op theoretische berekeningen, empirische methoden of ervaring in verschillende landen. Deze categorieën, oorspronkelijk vastgelegd in de *Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen* – A 80/09 [41], zijn aangepast aan natuursteenverhardingen.

Elke verkeerscategorie wordt begrensd door een maximale belasting met lichte voertuigen (van minder dan 3,5 t) en zware voertuigen (van meer dan 3,5 t). Maatgevend voor deze belasting is het gemiddelde dagelijkse aantal voertuigen dat in beide rijrichtingen wordt geteld.

Categorie	Soort verkeer			Indicatieve "bouwklasse"-aanduiding volgens SB 250 (Hfdst.2, § 8.3)	Indicatieve "réseau"-aanduiding volgens CCT Qualiroutes (§ B.1)
	Voetgangers, fietsers, bromfietzers	Lichte voertuigen (< 3,5 t)	Zware voertuigen (>3,5 t)		
I	Onbeperkt	< 5 000/dag	< 200/dag	B6-B7	IIIa
II	Onbeperkt	< 5 000/dag	< 100/dag	B8-B9	IIIa
III	Onbeperkt	< 500/dag	< 20/dag	B10	IIIa
IV	Onbeperkt	Occasioneel	Geen	BF	IIIb

**Tabel 3.2** – Verkeerscategorieën voor natuursteenverhardingen

De verkeerscategorieën maken het in hoofdzaak mogelijk de dikten van de fundering, de straatlaag en de straatkeien te bepalen. Voor het ontwerp van de verharding zelf (wijze van bestraten, soort straatkeien, bestratingsverband) worden andere criteria dan het aantal lichte of zware voertuigen in aanmerking genomen. Deze worden beschreven in § 3.3.2.3.

### 3.3.2.2 Referentiekader voor natuursteenverhardingen onder voetgangers- en voertuigenverkeer

In de PTV's 841, 842 en 843 [9, 10, 11] zijn respectievelijk voor toepassingen van tegels ("buitenplaveien"), straatkeien en trottoirbanden ("boordstenen") *gebruiksklassen* van 0 tot 6 vastgelegd. Deze klassen stemmen overeen met toepassingen voor decoratie over voetgangers- en gemengd verkeer (voetgangers en voertuigen) tot wegen, straten en tankstations (klasse 6, met de zwaarste verkeersbelasting).

Met deze klassen kunnen enkel de criteria voor de minimumsterkte van de in het project toe te passen elementen worden bepaald (druksterkte voor straatkeien of breuklast voor tegels). Zij leiden niet tot een dimensionering van de structuur in strikte zin.

### 3.3.2.3 Toepassingsgebieden van natuursteenkeien

Naast de verkeersbelasting die in § 3.3.2.1 is omschreven, moet rekening worden gehouden met bijzondere belastingen die verband houden met de snelheid en de verplaatsingswijze van de voertuigen (remmen, scherpe bochten, enz.). Voor deze belastingen moeten in het ontwerp van de verharding extra voorzorgen worden ingebouwd.

Zo kunnen voor natuursteenkeien verschillende toepassingsgebieden worden bepaald, toegespitst op concrete verkeerssituaties, waaraan dan technische eisen kunnen worden verbonden. Ook kan daarbij rekening worden gehouden met specifieke randvoorwaarden in welbepaalde situaties, zoals wringkrachten door zwaar verkeer dat met een lage snelheid manoeuvreert (bijvoorbeeld op een marktplein).

De *toepassingsgebieden* worden opgesomd in tabel 3.3. De overeenstemming met de verkeerscategorieën en de gebruiksklassen wordt daarbij aangegeven. Verderop in deze handleiding (zie § 3.3.11) volgt een overzichtstabel met de technische eisen voor elk toepassingsgebied.

Verkeerscategorie	Toepassingsgebied	Gebruiksklasse (PTV)
I	Weg met druk verkeer	6
II	Weg met matig verkeer	6
II	Parking voor zwaar verkeer / Marktplein	4-6
III	Weg met beperkt verkeer	6
III	Parking voor licht verkeer	3
IV	Voetgangersruimte en fietspad, niet voor voertuigen toegankelijk <sup>(1)</sup>	1-2

<sup>(1)</sup> Als er zware voertuigen (bestelvoertuigen, ambulances) op rijden – ook al is het maar occasioneel –, moet voor het ontwerp worden uitgegaan van het toepassingsgebied Parking voor zwaar verkeer / Marktplein.

**Tabel 3.3** – Toepassingsgebieden en overeenkomstige verkeerscategorieën

Met de toepassing van natuursteen in *trambanen* is in tabel 3.3 geen rekening gehouden, wegens de vele negatieve ervaringen die tot dusver in dergelijke projecten zijn opgedaan. Om te beginnen schept de aanwezigheid van rails tal van technische moeilijkheden bij het ontwerp en de aanbrenging: het systeem om de rail te bevestigen, de juiste afstand tussen en de kromming van de rails en de drainage en waterafvoer vergen bijzondere aandacht en precisie. Voorts veroorzaken de trillingen bij het voorbijrijden van trams in combinatie met het voertuigenverkeer zeer veel schade wanneer de weg eenmaal voor verkeer is opengesteld, zelfs als het ontwerp en de aanbrenging correct zijn uitgevoerd. Geprefabriceerde systemen om deze problemen te verhelpen, zitten momenteel in de testfase.

Voor *bushaltes* is natuursteen als verhardingsmateriaal af te raden. De vele rem- en optrekkkrachten die bussen daar uitoefenen en de draaibewegingen die zij daarbij maken, zijn doorgaans niet met elementenverhardingen te verenigen, omdat het toch om voertuigen gaat die wat gewicht betreft met zware vrachtwagens te vergelijken zijn.

Ook *parkeerdaken* zijn niet in de standaardtoepassingsgebieden van natuursteen opgenomen, omdat de aanwezigheid van een afdichtingssysteem op betonplaten en de behoefte aan doeltreffende waterafvoer vaak tot schade aan de natuursteenverharding leiden. Als er dan ook nog uitzetvoegen moeten worden gemaakt (bij stijve wijze van bestraten), is het bovendien zeer moeilijk systemen te vinden om voegen aan te brengen zonder de duurzaamheid van de verharding zelf en van het afdichtingssysteem te schaden. Een dergelijke toepassing moet daarom nog niet worden uitgesloten, maar vergt wel een goed doordacht ontwerp dat aangepast is aan de specifieke omstandigheden van parkeerdaken.

Ten slotte moeten bijzondere voorzorgen worden getroffen bij toepassingen van natuursteenbestratingen op *bruggen met druk verkeer*, om rekening te houden met de trillingen die dit verkeer veroorzaakt. Bovendien gaat de aanbrenging van een afdichtingssysteem niet goed samen met een natuursteenverharding. Daarom zijn dergelijke toepassingen evenmin standaard in deze handleiding opgenomen. Zij moeten per geval worden bekeken.

### 3.3.3 Regels voor het dimensioneren van de lagen

Tabel 3.4 geeft de aanbevolen dimensionering van de lagen, naargelang van de verkeerscategorie volgens § 3.3.2.1. Deze tabel is opgemaakt voor een natuursteenbestrating met een levensduur van twintig jaar. Tabel 3.4 geeft geen richtlijnen voor de dimensionering van de onderfundering. De regels voor het ontwerp van het baanbed en de onderfundering zijn gegeven in § 3.1.3 van deze handleiding.

Verkeerscategorie		I	II	III	IV
Minimale nominale staartheogte straatkeien (cm) <sup>(1)</sup>		12	10	8	8 of 6 <sup>(2)</sup>
Dikte straatlaag onder straatkeien, na verdichting (cm)		5-8	4-6	3-5	2-4
		Hoogstens de helft van de staartheogte			
Aard en dikte (cm) van de fundering	Walsbeton	20	15	-	-
	Schraal beton	25	20	15	-
	Drainerend schraal beton	-	20	15	-
	Hydraulisch gebonden steenslag	-	25	15	-
	Zandcement	-	-	20	15
	Steenslag	-	35	25	15
Onderfundering: zie § 3.1.3.					
<sup>(1)</sup> Voor een tegelbestrating gelden de regels van PTV 841 [9].					
<sup>(2)</sup> 6 cm volstaat als de bestrating uitsluitend voor voetgangers is bestemd; als er ook voertuigenverkeer mogelijk is (bijvoorbeeld garage-inritten), dienen de straatkeien minimaal 8 cm dik te zijn.					

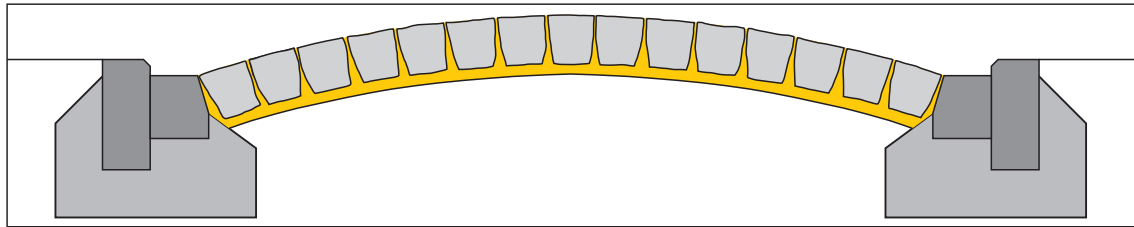
**Tabel 3.4** – Dimensionering van de lagen voor een natuursteenbestrating, naargelang van de verkeerscategorie

Voor tegelbestratingen gelden de regels van PTV 841 [9] wat de minimumdikte van de tegels betreft. De gebruiksklassen die erin zijn vastgelegd (zie hoofdstuk 2), zijn beter geschikt voor situaties zonder verkeer of met weinig verkeer, waarin tegels doorgaans worden toegepast; tegels voldoen meestal niet voor toepassingen in de verkeerscategorieën I, II en III. Voor toepassingen in categorie III is in elk geval een specifiek vooronderzoek naar de afmetingen van de tegels en naar de materialen voor de straatlaag en de voegen nodig, waarbij speciale aandacht wordt besteed aan de hechting van de tegels op de straatlaag.

Bij het berekenen van de dikte van elementen moet rekening worden gehouden met de toleranties op deze dikte. Wanneer bijvoorbeeld een tolerantie van 4 mm is toegestaan (tegels met dikte groter dan 80 mm), moeten tegels worden voorgeschreven die 4 mm dikker zijn dan de dikte volgens de berekening.

### 3.3.4 Specifieke ontwerpprincipes voor structuren met een traditionele natuursteenbestrating

Een structuur met een natuursteenbestrating vertoont traditioneel het profiel dat op figuur 3.5 is afgebeeld.



**Figuur 3.5** – Standaarddwarsdoorsnede van een traditionele natuursteenbestrating [42, blz.56]

Voor natuursteenbestratingen gelden specifiek drie fundamentele principes:

- gewelfeffect in het verticale vlak;
- boogeffect in het horizontale vlak, enkel bij mozaïekkeien;
- verdichtings- en stabilisatie-effect van de verdunning langs de zijvlakken van de straatkeien.

Dit traditionele ontwerp biedt voordelen voor de stabiliteit van de structuur, maar ook voor de afvoer van oppervlaktewater. Het wordt tegenwoordig niet meer systematisch toegepast.

#### 3.3.4.1 Gewelfeffect in het verticale vlak

Vroeger werden alle bestratingen gerealiseerd met een tonrond dwarsprofiel, waarbij, net zoals voor metselwerk, gebruikgemaakt werd van een gewelfeffect om de verharding stabiliteit te geven.

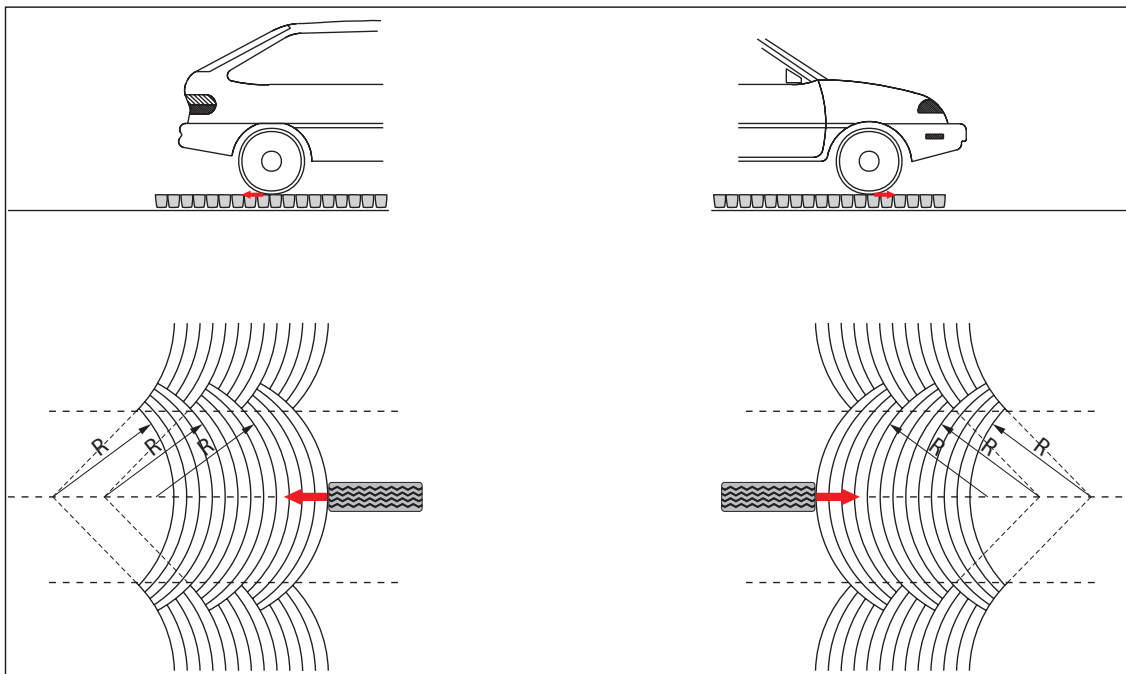
Om dit gewelfeffect te laten spelen, moest de tonrondte voldoende zijn, moesten de voegen correct gevuld zijn, moesten de straatkeien voldoende verdunning langs de zijvlakken vertonen en moest de kantopsluiting van de bestrating stabiel en juist gedimensioneerd zijn.

Door de technische evolutie van verschillende cementgebonden materialen die zowel in de fundering en de straatlaag als in de voegen worden toegepast, is het dwarsprofiel van bestratingen geleidelijk vlakker geworden en wordt gewelfeffect niet meer als een noodzakelijke voorwaarde voor de stabiliteit van een bestrating beschouwd. Daarom zijn veel straatkeien die tegenwoordig in de handel zijn blok-vormig en vertonen zij langs de zijvlakken geen verdunning meer.

#### 3.3.4.2 Boogeffect in het horizontale vlak (mozaïekkeien)

Bij mozaïekbestratingen geldt in het horizontale vlak een soortgelijk principe als het gewelfeffect dat in het dwarsprofiel van een natuursteenbestrating kan optreden.

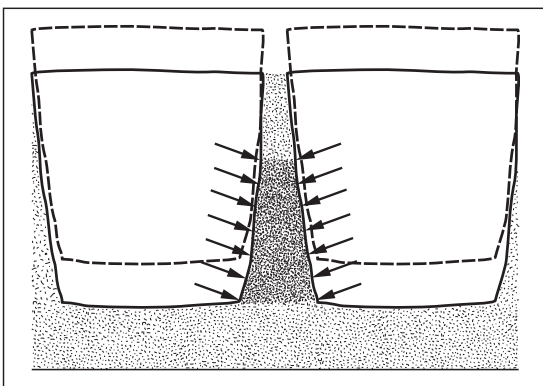
Op die manier kunnen de horizontale schuifkrachten over de straatkeien worden verdeeld door de voegen te laten verspringen, en vervolgens over de verschillende cirkelbogen die de verharding vormen.



**Figuur 3.6** – Bestrating in boogverband - Gewelfeffect in het horizontale vlak: richting van de spanningen in een optrekzone (links) en richting van de spanningen in een remzone (rechts)

### 3.3.4.3 Verdichtings- en stabilisatie-effect van de verdunning langs de zijvlakken

Anders dan betonstraatstenen, die op de straatlaag worden gelegd, moeten natuursteenkeien vol in deze laag worden ingebed. Daarom moeten traditioneel vervaardigde natuursteenkeien voldoende verdunning langs de zijvlakken vertonen. Dit maakt niet alleen de bovengenoemde inbedding mogelijk, maar ook natuurlijke verdichting van de straatlaag tussen de straatkeien en aanbrenging van deze stenen onder een tonrond profiel.



**Figuur 3.7** – Inbedden van straatkeien in de straatlaag



### 3.3.5 Keuze van het natuurstenen element

De soort en afmetingen van de elementen worden gekozen volgens de beoogde toepassing (voornamelijk de verkeerscategorie) en volgens esthetische criteria, die verband kunnen houden met architecturale context (historische locatie, visuele effecten, enz.).

De bestekken dienen de grenswaarden van de voorgeschreven kenmerken van de straatkeien te bepalen naargelang van de context (soort en intensiteit van *verkeer, kans op bevuilding, enz.*) waarin zij worden toegepast.

Naast de in hoofdstuk 2 vastgelegde eisen die verband houden met stroefheid, slijtweerstand en vorst-dooibestendigheid, moeten de voorschriften afhankelijk van de beoogde toepassing de volgende informatie bevatten:

- de **afmetingen**: naast de dikte, de breedte en de lengte van de elementen moeten de staat van de verschillende vlakken (*dagziend en niet-dagziend*) en de randen, de geometrische afmetingen en de toegestane maatafwijkingen (*rechtheid, haaksheid, vlakheid, enz.*) van het eindproduct worden bepaald;
- de **minimaal verwachte druk- of buigsterkte van de steensoort**: de eisen hangen van de toepassing af en staan in de PTV's 841, 842 en 843 [9, 10, 11]. Voor verdere details kan worden verwezen naar § 2.1.4 in hoofdstuk 2 van deze handleiding;
- de **evolutie van de stroefheid**: sommige steensoorten (bijvoorbeeld bepaalde soorten kalksteen) hebben de eigenschap gemakkelijk door verkeer te worden gepolijst en snel zeer (te) glad te worden nadat ze zijn verwerkt. Dergelijke materialen zijn te verwerpen voor alle toepassingen onder intens voertuigenverkeer. Jammer genoeg bestaat er nog geen genormaliseerde methode om deze eigenschap objectief te meten (waarbij een slijtageproef met een stroefheidsmeting gecombineerd wordt). Gerapporteerde ervaringen zijn hier het enige middel om dit risico te onderkennen;
- de **bescherming tegen vuil**, dat de neiging heeft in het element te dringen en dan moeilijker te verwijderen is. In de regel dient een als monster genomen straatkei minder dan 4 % poriën te bevatten, zo niet dient een geschikte oppervlakbehandeling te worden toegepast;
- de **oppervlakafwerking**: het oppervlak dient zo te worden afgewerkt (*vlambehandeling, zandstralen, gritstralen, boucharderen, enz.*), dat de kans op slippen of uitglijden minimaal is. Gladde of ruw gezaagde afwerkingen zijn om veiligheids- en comfortredenen doorgaans te mijden, tenzij stroefheidsmetingen op het afgewerkte vlak het tegendeel bewijzen.

### 3.3.6 Keuze van het bestratingsverband voor natuurstenen elementen

Het bestratingsverband kan worden omschreven als het patroon waarin de straatkeien ten opzichte van elkaar worden aangebracht om de verharding haar uiteindelijke aanzien te geven. De keuze van het verband hangt voornamelijk van het gewenste architecturale effect af, maar er moet ook rekening worden gehouden met de intensiteit van het verkeer en de bijbehorende stabiliteit van de bestrating.

Men onderscheidt rechtlijnige verbanden en boogverbanden (of mozaïekverbanden).

### 3.3.6.1 Rechthoekige verbanden

Alle soorten van straatkeien en -tegels kunnen in een dergelijk verband worden aangebracht.

Onder de meest voorkomende verbanden voor natuursteen dienen te worden vermeld:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>halfsteensverband:</b> de elementen worden in rechte rijen aangebracht en de voegen verspringen van rij tot rij met ten minste een derde van de lengte van een straatkei. Deze verspringing wordt gerealiseerd door om en om aan het uiteinde van elke rij een pas- of een verbandsteen (anderhalve straatkei) aan te brengen. De doorlopende voegen dienen haaks op de rijrichting van het verkeer te lopen;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>blokverband:</b> de elementen worden in rechte rijen aangebracht en de voegen lopen in beide richtingen (evenwijdig met en haaks op de lengteas) door. Dit verband mag enkel voor voetgangersruimten en fietspaden worden toegepast;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>diagonaalverband:</b> de elementen worden in rechte rijen aangebracht en de voegen lopen in beide richtingen (schuin op de lengteas) door. Dit verband dient voor rijbanen te worden afgeraden.</li> </ul>

**Figuur 3.8** – Voorbeelden van rechthoekige bestratingsverbanden (Foto's: Febenat)

### 3.3.6.2 Boog- of mozaïekverbanden (enkel voor straatkeien)

Boogverbanden worden gerealiseerd met mozaïekkeien van licht verschillende afmetingen.

- **Verbanden met niet-concentrische cirkels**

De middelpunten van de cirkels waarin gestraat wordt, worden gelijkmatig opgeschoven, om evenwijdige bogen met een constante straal te verkrijgen.

Deze verbanden kunnen slechts worden gerealiseerd met straatkeien van verschillende afmetingen. De kleinste straatkeien worden voor de aanzetten van de bogen gebruikt, de grootste voor de sluitstukken.

Bij deze groep van bestratingsverbanden onderscheidt men:

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ segment- of cirkelboogverband;</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ schelpen- of pauwstaartverband.</li></ul>

**Figuur 3.9** – Voorbeelden van bestratingsverbanden met niet-concentrische cirkels (Foto's: ©PierresEtMarbresDeWallonie)

- **Verbanden met concentrische cirkels**

De cirkels waarin gestraat wordt, hebben hetzelfde middelpunt.

Deze verbanden kunnen worden gerealiseerd met straatkeien van verschillende modules per formaat en van verschillende afmetingen, of met op grootte gesorteerde stenen van constante afmetingen.

Bij deze groep van bestratingsverbanden onderscheidt men:

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ waaierverband;</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ schubverband.</li></ul>

**Figuur 3.10** – Voorbeelden van bestratingsverbanden met concentrische cirkels (Foto's: PMW)

Vakkundig bestraten begint bij een oordeelkundig ontwerp van de bestratingsverbanden. Dit vereist een goede kennis van de verschillende mogelijkheden met de beschikbare materialen, om geen projecten op te zetten die in de praktijk niet uitvoerbaar zijn.

### 3.3.7 Specifieke ontwerpprincipes voor het bestratingsverband met natuursteenkeien

Traditionele natuursteenbestratingen werden aangebracht met bestratingsverbanden die als voornaamste functie hadden de spanningen onder verkeer op te nemen zonder de onderliggende constructie te zwaar te belasten. Als deze laatste al bestond, bleef zij vaak beperkt tot breukstenen die min of meer verticaal in de ondergrond werden gezet om de structuur te verstevigen en tegelijk een gewelfeffect te creëren. Deze regel gaat in de huidige praktijk niet meer op, tenzij bij renovatie van oude bestratingen met weinig verkeer.

De belastingen die het verkeer uitoefent, zijn sinds de aanleg van de eerste straatwegen aanzienlijk toegenomen. Tegenwoordig zou een bestrating moeilijk de resulterende spanningen kunnen opnemen als zij niet met een voldoende gedimensioneerde onderbouw werd gecombineerd.

Het ketenmechanisme voor de productie van natuurstenen elementen resulteert tegenwoordig in producten met herhaalbare standaardafmetingen die goed geschikt zijn voor bestratingen in halfsteensverband. Voor boogverbanden moet echter ofwel een patroon worden gekozen dat met één keiformaat te verenigen is, ofwel een order voor verschillende keiformaten worden geplaatst om zich aan het gekozen patroon aan te passen.

In deze context is het moeilijk een verscheidenheid van formaten te vinden om boogpatronen te realiseren zoals zij oorspronkelijk, voor handmatig behouwen stenen, zijn ontworpen. Ook moet worden onderstreept dat straatwerk volgens de oude manier handigheid en vakkennis vereist, die enkel via een specifieke, gerichte opleiding en door lange praktijkervaring te verwerven zijn; dit gaat soms moeilijk samen met de moderne drang naar snelheid en economische optimalisering.

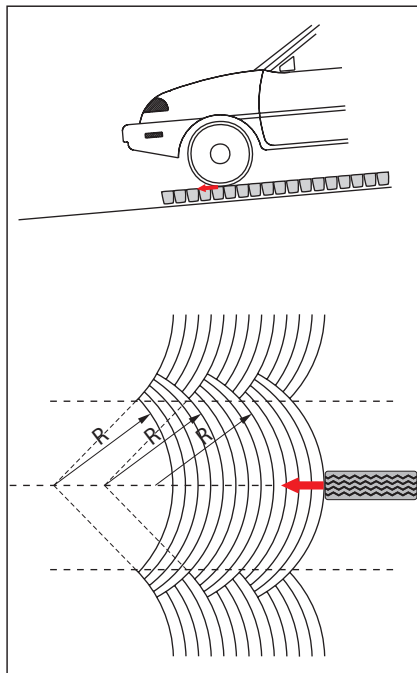
Tegenwoordig hangt de keuze van het bestratingsverband bij heel wat projecten met natuursteen (*al te*) vaak van louter esthetische overwegingen af. De ontwerper mag niet uit het oog verliezen dat technische overwegingen een bepaald bestratingsverband kunnen uitsluiten of de voorkeur kunnen verleggen naar een bestratingsverband dat de verkeersbelasting beter aankan.

Ten slotte mag bij een realisatie met natuursteen nooit worden vergeten dat de keuze van een bestratingsverband onlosmakelijk verbonden is met de vorm en afmetingen van de straatkeien, de breedte van de rijbaan, de richting en steilte van de helling en de rijrichting van het verkeer.

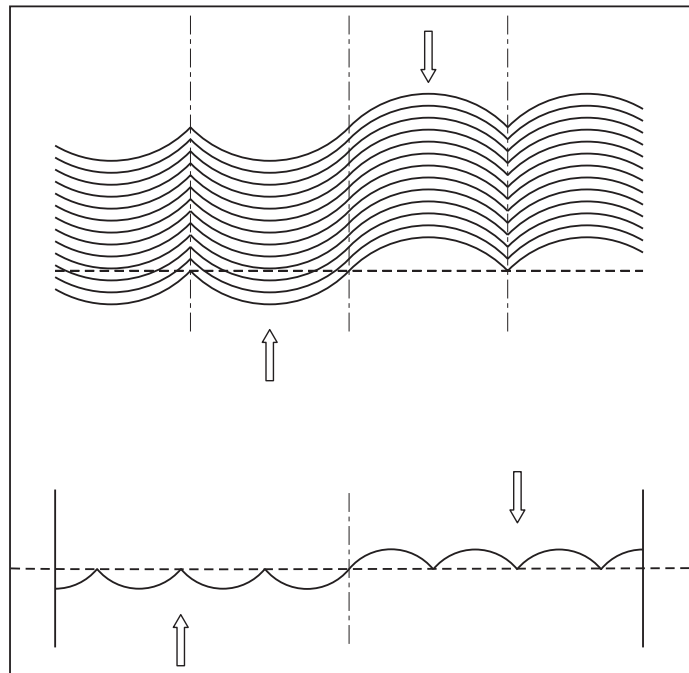
De keuze en oriëntatie van een bestratingsverband houden niet alleen verband met esthetische overwegingen, maar hangen ook van de volgende factoren af:

- **de soort van straatkeien:**
  - *boogverbanden* kunnen enkel met mozaïekkeien worden gerealiseerd;
  - *rechtlijnige verbanden* kunnen theoretisch met alle soorten van straatkeien worden gerealiseerd, hoewel de voorkeur hier naar langwerpige straatkeien gaat (bij toepassing van mozaïekkeien, die kleiner zijn, moet bij voorkeur kunnen worden gebruikgemaakt van het gewelfeffect in het horizontale vlak – zie § 3.3.4.2);

- de **vorm van de straatkeien**: deze is direct bepalend voor het verband waarin zij kunnen worden aangebracht;
- de **aard en intensiteit van het verkeer (voor rechtlijnige verbanden)**: niet alle bestratingsverbanden zijn even goed tegen verkeersbelasting bestand. Een blokverband bijvoorbeeld is slecht bestand tegen belasting door remmende en optrekkende voertuigen. Een halfsteensverband maakt al een betere verdeling van de krachten over de straatkeien mogelijk. Als algemene regel dienen rechtlijnige voegen in de rijrichting te worden vermeden;
- de **rijrichting en de langshelling van de weg (voor boogverbanden)**: mozaïekverbanden moeten voor zover mogelijk in de juiste richting ten opzichte van het verkeer en de lengterichting van de weg worden gelegd, om het gewelfeffect in het horizontale vlak te laten spelen.



**Figuur 3.11** – Oriëntatie van een mozaïekverband naargelang van de langshelling van de weg



**Figuur 3.12** – Verandering van richting van een mozaïekverband op de lengteas van een weg, naargelang van de rijrichting

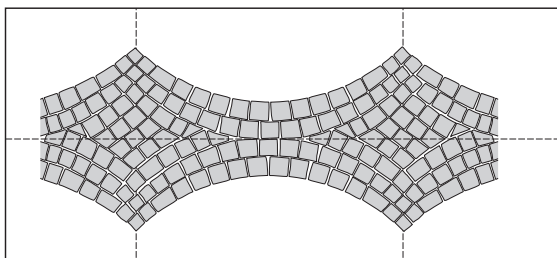


### 3.3.8 Aansluitingen in de bestrating

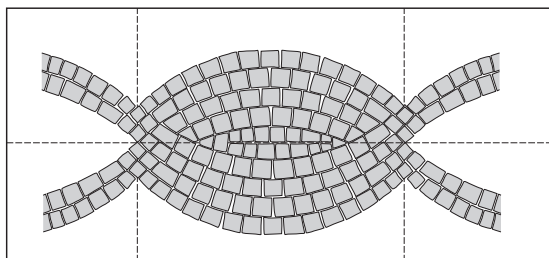
Waar de rijbaan van richting verandert of de richting van een boogverband moet worden gewijzigd, dient een aansluiting in de bestrating te worden gemaakt.

Deze aansluitingen moeten zo worden ontworpen, dat de straatkeien - net op plaatsen waar de schuifspanningen en de remkrachten groter zijn – goed blijven zitten. Als algemene regel geldt dat hakstukken in oppervlakte gezien nooit kleiner zouden mogen zijn dan de helft van een straatkei.

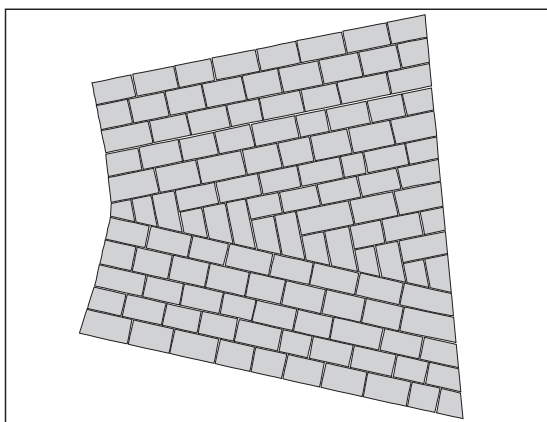
Op de figuren 3.13 tot en met 3.16 worden enkele voorbeelden van de bekendste aansluitingen in bestratingen afgebeeld.



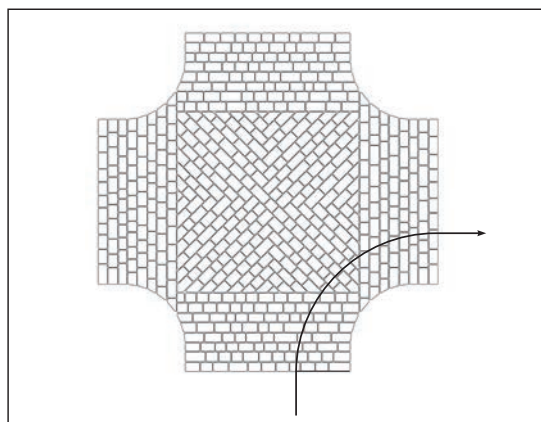
**Figuur 3.13** – Verandering van richting van een mozaïekverband op een top in het lengteprofiel van een weg (ruit)



**Figuur 3.14** – Verandering van richting van een mozaïekverband in een dal in het lengteprofiel van een weg (run-deroog)



**Figuur 3.15** – Voorbeeld van een rechtlijnig verband – Afwerking in een bocht door middel van een geer



**Figuur 3.16** – Voorbeelden van rechtlijnige verbanden (ridderkruis) – Afwerking op een kruispunt

### 3.3.9 Keuze van de wijze van bestraten met natuurstenen elementen

De **wijze van bestraten** betreft de combinatie van *het voegmateriaal en de straatlaag*. De keuze van de materialen voor de straatlaag en de voegen hangt dus hoofdzakelijk van dit principe af. Momenteel bestaan er twee concepten naast elkaar:

- **flexibel** bestraten neemt doorgaans de vorm aan van een geheel dat bestaat uit een straatlaag van zand of steenslag en voegen met zand of fijn steenslag.

Voor de samenhang van dit concept en een goed gedrag van de bestrating mag deze wijze van bestraten maar worden gekozen als de fundering doorlatend is. Afgezien van drainerend schraal beton, dat een bijzonder geval vormt, zijn gebonden funderingen hier dus uit den boze.



Deze constructies zijn vrij goed bestand tegen uitgeoefende krachten, gemakkelijk te repareren en niet onderhevig aan schade zoals scheurvorming of opwelling. Voorts zijn de straatkeien gemakkelijk te hergebruiken, wat de flexibele wijze van aanbrengen ecologisch en economisch zeer aantrekkelijk maakt; anderzijds is het onderhoud (bijvoorbeeld met borstel- en veegwagens) achteraf minder eenvoudig (zie hoofdstuk 5);

- **stijf, en doorgaans waterdicht bestraten:** deze techniek combineert een stijve straatlaag (van bijvoorbeeld gestabiliseerd zand of mortel) met een gebonden voegmateriaal (bijvoorbeeld cement- of gemodificeerde mortel). Zij moet steeds op een stijve fundering (bijvoorbeeld schraal beton of gestabiliseerd steenslag) worden toegepast.

In een dergelijke verharding treden vervormingsspanningen op, zoals in een monolithische betonverharding. De hechting van de straatkeien aan het voegmateriaal en in de straatlaag moet dan ook optimaal zijn. Bovendien moet de waterdichtheid van de hele verharding worden gegarandeerd door een juiste keuze en goede aanbrenging van de gebruikte materialen.

Doordat uitzetvoegen moeten worden gemaakt en met gebonden (kwaliteits)materialen moet worden gewerkt, vergen het ontwerp en de aanbrenging meer aandacht dan bij de flexibele wijze van bestraten. Anderzijds is een dergelijke structuur bestand tegen schuifkrachten door zwaardere voertuigen (bijvoorbeeld op marktplainen) en tegen drukker verkeer. Ook is zij gemakkelijker te onderhouden (voegen bestand tegen schoonmaken, geen onkruidgroei). Repareren bij schade is dan weer duurder, en de straatkeien zijn als zodanig zeer moeilijk opnieuw te gebruiken.

Deze twee concepten steunen op de volgende hoofdregels:

- **er moet steeds voor goede afvoer van oppervlaktewater worden gezorgd** door de constructie een geschikt dwarsprofiel te geven en, als voor een doorlatende opbouw is gekozen, drainerende materialen voor de straatlaag en de fundering te gebruiken; als voor een ondoorlatende opbouw is gekozen, is ondoorlatendheid van de voegen van fundamenteel belang (goede hechting, goede voegvulling);
- **een flexibele voeg moet altijd met een flexibele straatlaag worden gecombineerd:** op een stijve straatlaag leidt een flexibele voeg doorgaans tot verplaatsing van straatkeien, die de neiging hebben omhoog te komen en uit te steken. Deze doorgaans doorlatende combinatie moet gepaard gaan met een voldoende doorlatende fundering, om infiltratiewater te kunnen afvoeren;
- **een stijve voeg moet altijd met een stijve straatlaag en fundering worden gecombineerd.**

Niet-naleving van deze basisregels leidt onvermijdelijk tot schade zoals verderop in hoofdstuk 5 besproken (en op figuur 3.17 geïllustreerd) wordt.



**Figuur 3.17** – Voorbeeld van onverenigbaarheid tussen voeg- en straatlaagmateriaal: combinatie van een stijve straatlaag van zandcement met flexibele, doorlatende zandvoegen, waarbij de straatkeien los komen te liggen onder invloed van water, vorst en verkeer

De verschillende combinaties van fundering, straatlaag en voegmateriaal worden in tabel 3.5 opgesomd en toegelicht. Zij hangen van velerlei verschillende omstandigheden af, zoals de doorlatendheid en het draagvermogen van de ondergrond, de watertoevloed onder de stenen, de verkeersbelasting, enz.

Voegen	Straatlaag		Fundering	Beoordeling <sup>(1)</sup>	Opmerkingen
Zand	Flexibel	Zand	Ongebonden	+/-	Bij watertoevloed af te raden. Enkel voor de verkeerscategorieën III-IV
			Gebonden	+/-	De fundering moet doorlatend zijn
		Steenslag (split) (2/6,3)	Ongebonden	+	Toepasbaar op drainerende ondergrond. Filterstabiliteit tussen voegen en straatlaag nagaan. Enkel voor de verkeerscategorieën III-IV
			Gebonden	+/-	De fundering moet doorlatend zijn
	Stijf	Alle soorten	Alle soorten	-	
Steenslag (split) (2/4-2/6,3)	Flexibel	Zand (0/6,3)	Alle soorten	-	
		Steenslag (split) (2/6,3)	Ongebonden	++	Toepasbaar op drainerende ondergrond
			Gebonden	+/-	De fundering moet doorlatend zijn (drainerend schraal beton)
Stijf	Alle soorten	Alle soorten	-		
Traditionele cementmortel	Flexibel	Alle soorten	Alle soorten	-	
	Stijf	Zandcement	Ongebonden	-	
			Gebonden	+	
		Cementmortel	Ongebonden	-	
Gebonden	+/-	Enkel voor verkeerscategorie IV			
Gemodificeerde cementmortel	Flexibel	Alle soorten	Alle soorten	-	
	Stijf	Zandcement	Ongebonden	-	
			Gebonden	+++	
		Cementmortel	Ongebonden	-	
Gebonden	+/-	Enkel voor verkeerscategorie IV			

<sup>(1)</sup> - = stellig afgeraden; +/- = beoordeling hangt van het geval af; + = goed; ++ = zeer goed; +++ = ideaal  
<sup>(2)</sup> Weinig ervaring in België met de beschouwde voeg- en straatlaagmaterialen; de beoordelingen gelden als indicatie

**Tabel 3.5** – Lijst van de voornaamste combinaties van fundering, straatlaag en voegmateriaal

vervolg op bladzijde 80

Voegen	Straatlaag		Fundering	Beoordeling <sup>(1)</sup>	Opmerkingen
Bitumineuze mortel <sup>(2)</sup>	Flexibel	Zand (0/6,3)	Ongebonden	+/-	Enkel voor verkeers-categorie IV
			Gebonden	+/-	De fundering moet doorlatend zijn
		Steenslag (split) (2/6,3)	Ongebonden	+/-	
			Gebonden	+/-	De fundering moet doorlatend zijn
	Stijf	Alle soorten	Alle soorten	-	
Polymeerzand <sup>(2)</sup>	Flexibel	Zand (0/6,3)	Gebonden of ongebonden	+	Weinig verkeer (categorïe IV) De fundering moet doorlatend zijn
	Stijf	Alle soorten	Alle soorten	-	
Epoxy mortel <sup>(2)</sup>	Flexibel	Steenslag (split) (2/6,3)	Gebonden of ongebonden	+/-	Weinig verkeer (categorïe IV) De fundering moet doorlatend zijn
	Stijf	Doorlatende mortel	Gebonden of ongebonden	+	De fundering moet doorlatend zijn Doorgaans geschikt voor geringe verkeersbelasting; navragen bij de leverancier
<sup>(1)</sup> - = stellig afgeraden; +/- = beoordeling hangt van het geval af; + = goed; ++ = zeer goed; +++ = ideaal <sup>(2)</sup> Weinig ervaring in België met de beschouwde voeg- en straatlaagmaterialen; de beoordelingen gelden als indicatie					

**Tabel 3.5** – Lijst van de voornaamste combinaties van fundering, straatlaag en voegmateriaal

### 3.3.10 Aanvullende aanbevelingen voor de voegen en de straatlaag van keibestratingen

Voor de verschillende onderdelen die met de wijze van bestraten te maken hebben, gelden nog verdere aanbevelingen.

#### 3.3.10.1 Afmetingen en kwaliteit van de voegen

De minimale nominale staartheogte van de straatstenen varieert meestal van 6 tot 12 cm. Dit heeft een aanzienlijke invloed op de hoogte van de voeg.

In geval van verkeersbelasting dient een bepaalde diepte-breedteverhouding van de voegen te worden aangehouden: de voegdiepte moet groter zijn dan of gelijk aan tweemaal de voegbreedte. Als vuistregel geldt dat de voegen tot minstens de helft van de staartheogte met voegmateriaal gevuld moeten zijn.

Tabel 3.6 geeft de maatvoering van de voegen aan, afhankelijk van de beschouwde verkeerscategorie.

Verkeerscategorie	I	II	III	IV
Breedte l bij gebonden voegmateriaal (mm) <sup>(1)</sup>	$8 \leq l \leq 25$	$5 \leq l \leq 20$	$5 \leq l \leq 20$	$5 \leq l \leq 15$
Breedte l bij ongebonden voegmateriaal (mm)	Breedte zo klein mogelijk, maar te verenigen met de $D_{\max}$ van het zand of het steenslag			
Minimale vulhoogte van de voegen (mm) <sup>(1)</sup>	50	40	40	30
<sup>(1)</sup> Afhankelijk van de verwerkbaarheid van het materiaal en de maattolerantie voor de straatkeien				

**Tabel 3.6** – Afmetingen en vulhoogte van de voegen

Bij flexibel bestraten met ongebonden voegmateriaal wordt de keuze van de maximale korrelgrootte op de voegbreedte afgestemd. De maximale korrelgrootte bedraagt 1 mm voor smalle voegen (< 2 mm) of 0,8 maal de voegbreedte, met een maximum van 8 mm (voegbreedte 10-15 mm).

#### 3.3.10.2 Straatlaag

De straatlaag is wellicht een van de belangrijkste onderdelen van de wegconstructie. Het is van het grootste belang voldoende aandacht en zorg te besteden aan de keuze en de verwerking van het materiaal voor deze laag.

In de eerste plaats moet worden stilgestaan bij de onderliggende constructie. Er moet immers kunnen worden gewerkt op een fundering waarvan het oppervlak evenwijdig loopt met dat van de afgewerkte bestrating.

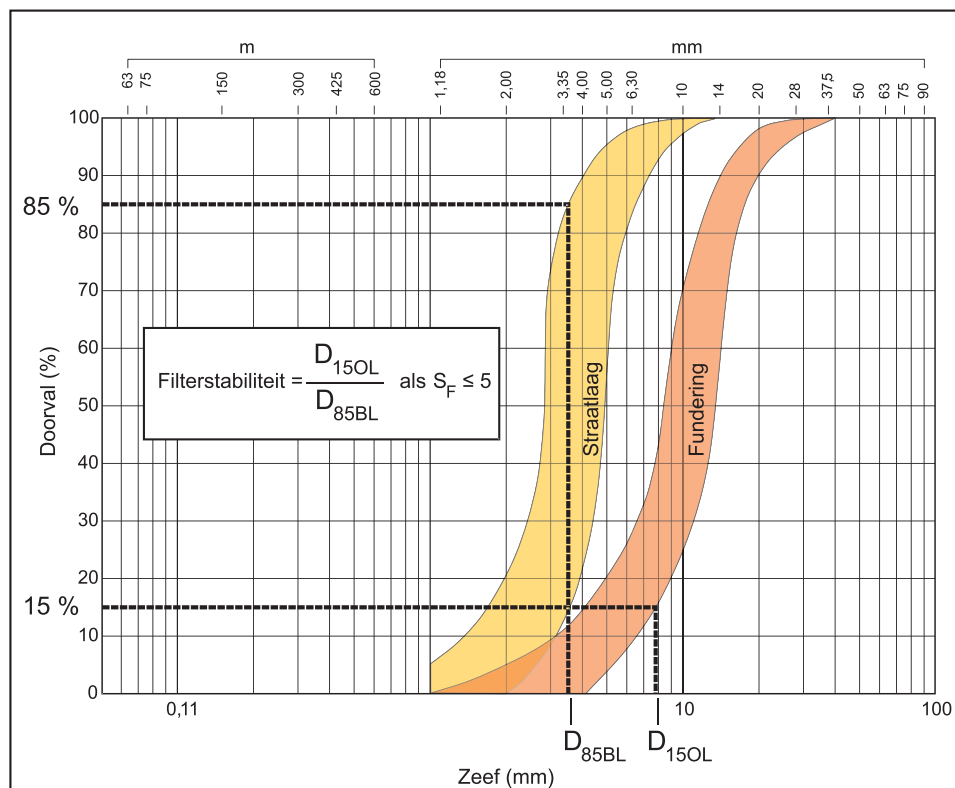
De standaardbestekken staan geen onvlakheden van meer dan 1 cm toe in het oppervlak van de fundering.

Enkele belangrijke aandachtspunten:

- **dikte van de straatlaag:** deze hangt van de staarhoogte en de soort van straatkeien af (zie tabel 3.4);
- **verdichting van de straatlaag:** deze vindt pas na het aanbrengen van de straatkeien plaats. De straatlaag moet immers de hoogteverschillen tussen deze keien compenseren. Voorverdichting van de straatlaag resulteert in hoogteverschillen aan het oppervlak;
- **doorlatendheid van de straatlaag:** deze laag is waterdoorlatend, tenzij volgens een stijve ondoorlatende wijze van bestraten wordt gewerkt. Zo wordt voorkomen dat er water op de straatlaag blijft staan;
- **ondoordringbaarheid van de fundering:** als een ongebonden straatlaag op een steenslagfundering wordt aangebracht, moet het bovenste deel van deze fundering goed worden dichtgemaakt (*door eventueel fijne bestanddelen in te trillen en/of in te slempen*). Zo niet kunnen achteraf onvlakheden in de verharding ontstaan doordat de straatlaag deels in de onderliggende fundering verdwijnt. De filterstabiliteit tussen fundering en straatlaag kan worden nagegaan aan de hand van de volgende relatie:

$$S_F = \frac{D_{15OL}}{D_{85BL}} \leq 5$$

$D_{15OL}$  = maaswijdte die overeenstemt met 15 % doorval van de onderliggende laag;  
 $D_{85BL}$  = maaswijdte die overeenstemt met 85 % doorval van de bovenliggende laag.



**Figuur 3.18** – Controle op filterstabiliteit tussen ongebonden straatlaag en fundering [43, blz 36]

Bij geregeld terugkerende watertoevloed (grondwaterspiegel dicht bij het baanbed) dreigt een ongebonden straatlaag schade op te lopen doordat bestanddelen worden uitgespoeld, wat tot verzakkingen kan leiden. Een stijve straatlaag is dan meer aangewezen. Steenslag 2/6,3 of 2/4, gestabiliseerd met cement (zogenoemd "splitbeton"), zou het mengsel ook luchtig houden en water doorlaten, maar in België is hier voorlopig nog weinig ervaring mee.

Bij flexibel bestraten hangt de materiaalkeuze van de beschouwde verkeerscategorie af (zie tabel 3.7).

Verkeerscategorie	Doorval door een zeef van 63 $\mu\text{m}$	Minimale intrinsieke kenmerken <sup>(1)</sup> volgens PTV 411 [30]
II	< 4,0 % ( $f_4$ volgens PTV 411)	Ab of 3
III	< 4,0 % ( $f_4$ volgens PTV 411)	Bc of 4
IV	< 7,0 % ( $f_7$ volgens PTV 411)	Alle soorten natuurzand/steenslag
<sup>(1)</sup> Te meten aan een andere steenslagfractie uit hetzelfde moedergesteente		

**Tabel 3.7** – Kenmerken van materialen voor een ongebonden straatlaag, naargelang van de verkeerscategorie (categorie I is niet aangewezen in dit geval)

### 3.3.10.3 Aanbevelingen voor het ontwerp van een stijve straatlaag van zandcement

De ervaringen met zandcement als straatlaag zijn zeer uiteenlopend. Voor middelmatig tot zwaar belaste wegen bieden zulke straatlagen, indien goed uitgevoerd, zeker een goede oplossing. Een straatlaag van zandcement kan het best worden gecombineerd met een voegvulling van (gemodificeerde) mortel en een stijve fundering van bijvoorbeeld drainerend schraal beton. Zo wordt een stijf geheel verkregen, dat bestand is tegen wringkrachten en waarin spoorvorming zo goed als onmogelijk is.

Algemeen heeft zandcement voor de uitvoering van de straatlaag de volgende nadelen:

- de bestrating moet worden aangebracht voordat het cement begint te binden. Vervoer van het gestabiliseerde zand, spreiden en gelijktrekken van de straatlaag en het aanbrengen van de straatkeien moeten **binnen een tijdspanne van ongeveer drie uren** kunnen plaatsvinden. Zandcement dat na het begin van het bindingsproces is verwerkt, verliest zeer gemakkelijk zijn structuur. In dit geval wordt deze gevoeliger voor de effecten van water en vorst dan niet-gestabiliseerd zand met een geschikte korrelverdeling. Ook vervormt het sneller en wordt het gemakkelijker uitgeperst dan niet-gestabiliseerd zand dat wel optimaal gegraadeerd is;
- bij bestraten op zandcement zijn ongeveer twee weken nodig om het materiaal van de straatlaag voldoende sterkte te laten ontwikkelen voordat verkeer mag worden toegelaten;
- aan de korrelverdeling van niet-gestabiliseerd zand wordt doorgaans meer aandacht besteed dan aan die van met cement gestabiliseerd zand. Deze controle op de korrelverdeling is nochtans noodzakelijk om een goede stabiliteit te waarborgen.



### 3.3.11 Eisen aan natuursteenbestratingen volgens toepassingsgebied

Toepassingsgebied	Verkeers- categorie <sup>(1)</sup>	Minimum- dikte (cm)	Minimaal verwacht- te druksterkte $E_L$ (MPa) <sup>(3)</sup>	Bestratings- verband	Wijze van be- straten <sup>(2)</sup>	Aanvullende eisen	Klasse PTV 842
Voetgangersruimte of fietspad, niet voor voer- tuigen toegankelijk	IV	6	50	Alle verbanden	Flexibel of stijf	Rekening houden met PBM	1-2
Parking voor licht verkeer	III	8	85	Alle verbanden	Flexibel of stijf	Aandacht voor stroefheid en evolutie daarvan <sup>(4)</sup>	3
Weg met weinig ver- keer	III	8	100	Alle verbanden	Flexibel of stijf	Aandacht voor stroefheid en evolutie daarvan <sup>(4)</sup>	6
Parking voor zwaar verkeer / Marktpllein	II	10	100	Geen blokverband	Stijf	Aandacht voor stroefheid en evolutie daarvan <sup>(4)</sup>	4-6
Weg met matig verkeer	II	10	100	Geen blokverband	Flexibel of stijf	Aandacht voor stroefheid en evolutie daarvan <sup>(4)</sup>	6
Weg met druk verkeer	I	12	100	Geen blokverband	Stijf	Aandacht voor stroefheid en evolutie daarvan <sup>(4)</sup>	6

<sup>(1)</sup> Voor de dimensionering; zie de tabel 3.4 Dimensionering van de lagen voor een natuursteenbestrating, naargelang van de verkeerscategorie

<sup>(2)</sup> Controleer de verenigbaarheid van de voegvulling, de straatlaag en de fundering aan de hand van de tabel 3.5 Lijst van de voornaamste combinaties van fundering, straatlaag en voeg-  
materiaal.

<sup>(3)</sup> Minimaal verwachte druksterkte  $E_L$ , volgens bijlage B bij norm NBN EN 1342 [7]. Voor CE-markering moet deze waarde in de prestatieverklaring (DoP) worden opgegeven.

<sup>(4)</sup> Sommige steensoorten (bijvoorbeeld bepaalde soorten kalksteen) hebben de eigenschap gemakkelijk door verkeer te worden gepolijst en snel zeer (te) glad te worden nadat ze zijn  
verwerkt. Dergelijke materialen zijn voor het beschouwde toepassingsgebied te verwerpen. Vooral nog bestaat er geen algemeen aanvaarde methode om deze eigenschap objectief

**Tabel 3.8 – Overzicht van de eisen aan het ontwerp van natuursteenbestratingen naargelang van het toepassingsgebied**

### 3.3.12 Speciale voegen

#### 3.3.12.1 Uitzetvoegen

De uitzettingscoëfficiënt van gesteenten kan bij een temperatuurverschil van 50 °C (tussen winter en zomer) maatveranderingen van verscheidene centimeters per 100 m veroorzaken.

Tijdens eenzelfde dag kan het verschil tussen minimum- en maximumtemperatuur tot 20 °C of zelfs meer oplopen. Het ongunstigste geval betreft donker gekleurde bestratingen die na een hele dag zon een onweer over zich heen krijgen.

Wegens de temperatuurverschillen tussen dag en nacht en tussen winter en zomer, en de manier waarop producten zich daarbij gedragen en presteren, moet rekening worden gehouden met warmte-uitzetting van de constructie.

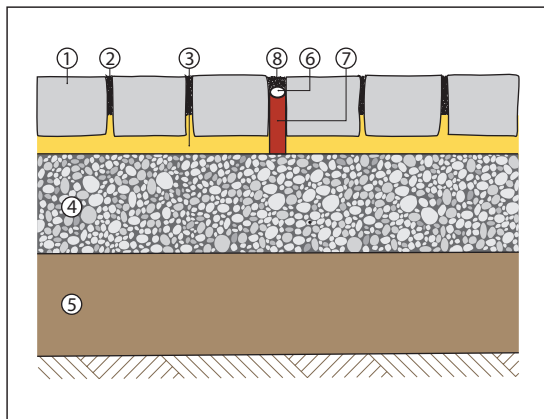
In een bestrating die volgens de flexibele wijze is uitgevoerd, wordt deze uitzetting door de voegen tussen de elementen opgenomen en zijn dus geen uitzetvoegen vereist.

In een bestrating die volgens het stijve, waterdichte concept wordt gerealiseerd, zijn uitzetvoegen nodig. Het aantal van deze voegen is afhankelijk van de kenmerken van de verwerkte materialen en de te bestraten oppervlakte. Op grond van de warmte-uitzettingscoëfficiënten van de steensoorten die het meest in wegen worden toegepast, kan worden gesteld dat ten minste om de 10 m een uitzetvoeg moet worden gemaakt, waarbij oppervlakken uit één stuk tot maximaal 50 m<sup>2</sup> moeten worden beperkt. Volgens de Franse norm NF P98-335 [44] behoren uitzetvoegen doorgaans een oppervlakte van 40 tot 60 m<sup>2</sup> af te bakenen, waarbij de diagonaallijn niet langer mag zijn dan 10 m.

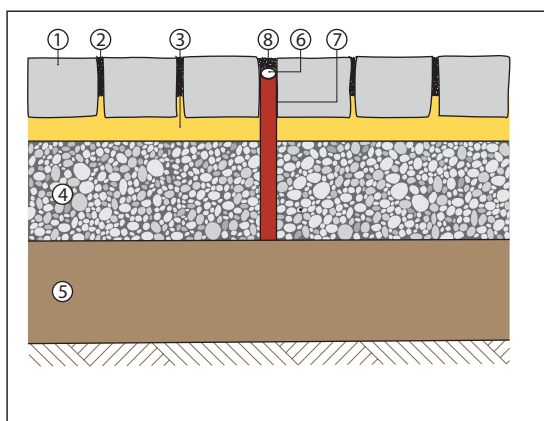
De uitzetvoegen moeten daarbij worden voorzien van een voegplaat van rotvrij materiaal (en eventueel samenvallen met de voegen in gebonden funderingen). Deze plaat moet betrekkelijk samendrukbaar zijn, maar na samendrukking ook weer haar oorspronkelijke vorm kunnen aannemen. De Amerikaanse normen ASTM D1751-04 [45] en ASTM D1752-04a [46] geven bijvoorbeeld voorschriften voor deze producten, die met een reeks specifieke methoden worden beproefd.

Nadat de voegplank is aangebracht, moet onder in de voeg een ronde plastic- of schuimstrook (rugvulling) worden aangebracht en aangedrukt, om te vermijden dat het daarna aangebrachte voegvullingsproduct aan de voegplaat gaat hechten.

Bovenin (2-3 cm) wordt de voeg dichtgemaakt met een koud gegoten voegvullingsproduct of een gelijksoortige elastische voegkit. Deze producten moeten voldoen aan de eisen in norm NBN EN 14188-2 [47] en/of NBN EN 15651-4 [48].



1. Straatkei
2. Gebonden voegmortel
3. Stijve straatlaag
4. Fundering
5. Baanbed
6. Rugvulling
7. Voegplaat
8. Elastische voegkit



1. Straatkei
2. Gebonden voegmortel
3. Stijve straatlaag
4. Gebonden fundering
5. Baanbed
6. Rugvulling
7. Voegplaat
8. Elastische voegkit

**Figuur 3.19** – Voorbeelden van opbouw van uitzetvoegen in een gebonden natuursteenbestrating (eventueel samen-vallend met uitzetvoeg in gebonden fundering)

### 3.3.12.3 Isolatievoegen

Met isolatievoegen kan de verharding worden gescheiden van andere constructies of constructiedelen zoals muren van gebouwen, kunstwerken en singuliere punten.



**Figuur 3.20** – Isolatievoeg tussen een muur van een woning en een trottoir

### 3.3.13 Ontwerp en dimensionering van de kant- en andere opsluitingen

Bij bestratingen is altijd een kantopsluiting nodig: enerzijds om de straatkeien in te klemmen en zo te voorkomen dat ze verschuiven of draaien onder de krachten die het verkeer uitoefent, en anderzijds om te voorkomen dat straatlaagmateriaal door water wordt uitgespoeld.

Kantopsluiting is altijd nodig, ongeacht de te bestraten oppervlakte, het bestratingsverband en de soort van straatkei en bij om het even welk verwacht verkeer. Zowel aan het begin als op het einde en aan de zijkanten van een bestrating moeten steeds kantopsluitingselementen worden aangebracht; deze moeten voldoende stabiel zijn (op een fundering rusten). Ook waar de bestrating in een andere verhardingssoort (bv. asfaltverharding, betonverharding, enz.) overgaat, is een kantopsluiting nodig om te voorkomen dat de bestrating beweegt wanneer de aangrenzende verharding vervormt.

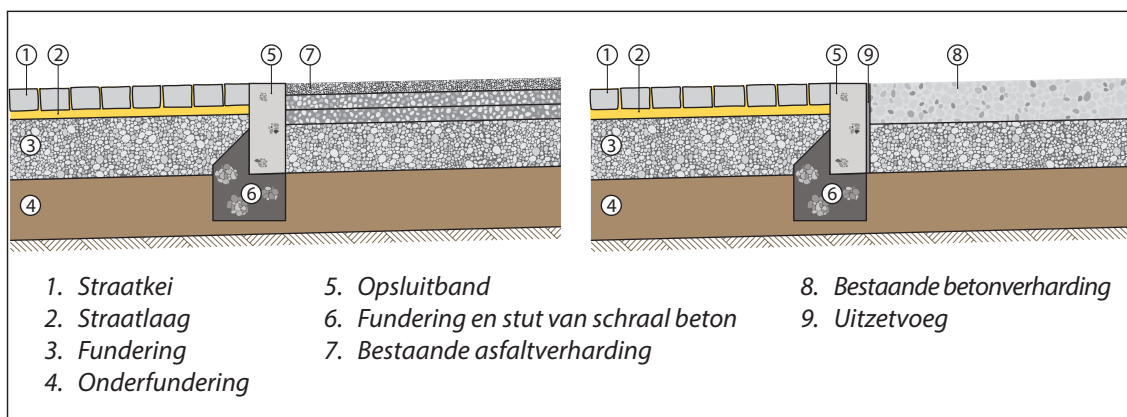
Bij een aansluiting op een asfaltverharding volstaat een kantopsluiting tussen de twee verhardingen. Bij een aansluiting op een betonverharding moet bovendien een uitzetvoeg worden gemaakt.



**Figuur 3.21** – Kantopsluiting tussen trottoir en rijbaan bij een natuursteenverharding



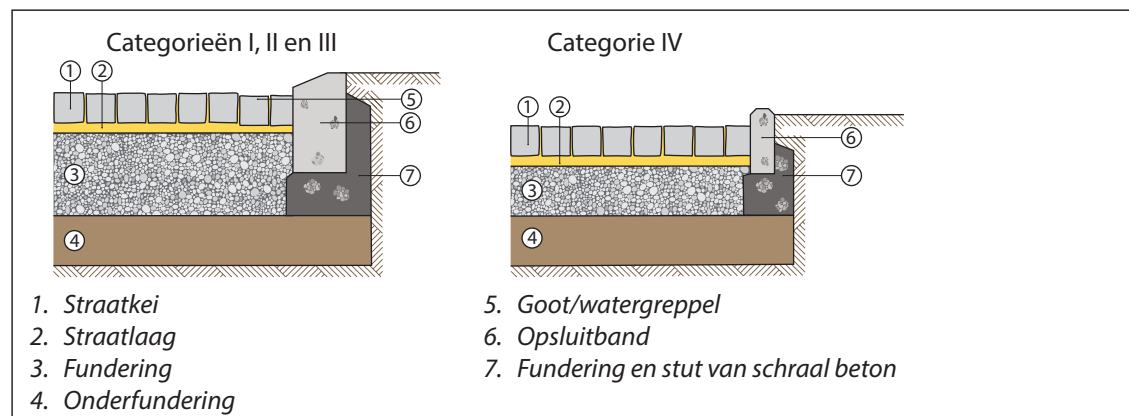
**Figuur 3.22** – Opsluitband op de overgang tussen een asfaltverharding en een natuursteenverharding



**Figuur 3.23** – Langsdoorsneden ter plaatse van aansluitingen tussen verschillende verhardingssoorten



Onder verkeer van categorie I, II of III (*licht verkeer – beperkt zwaar verkeer*) verdienen kantopsluitings-elementen van ten minste 20 cm breedte en dikte de voorkeur boven een hoge, smalle kantopsluiting. Figuur 3.24 toont kantopsluitingen in diverse situaties.



**Figuur 3.24** – Kantopsluiting voor de verkeerscategorieën I, II en III (links) en IV (rechts)

### 3.3.14 Ontwerp en dimensionering van de waterafvoerinrichtingen

Water dat in de fundering of de straatlaag blijft staan, tast de stabiliteit en het draagvermogen van de constructie aan en moet dus worden vermeden. Om de nadelige effecten van water in de constructie te voorkomen, is het erg belangrijk:

- waterindringing via de voegen zoveel mogelijk te beperken;
- infiltratiewater zo snel mogelijk af te voeren, opdat het niet in de straatlaag of in de fundering blijft staan.



**Figuur 3.25** – Voorbeeld van goede voegvulling voordat verkeer wordt toegelaten

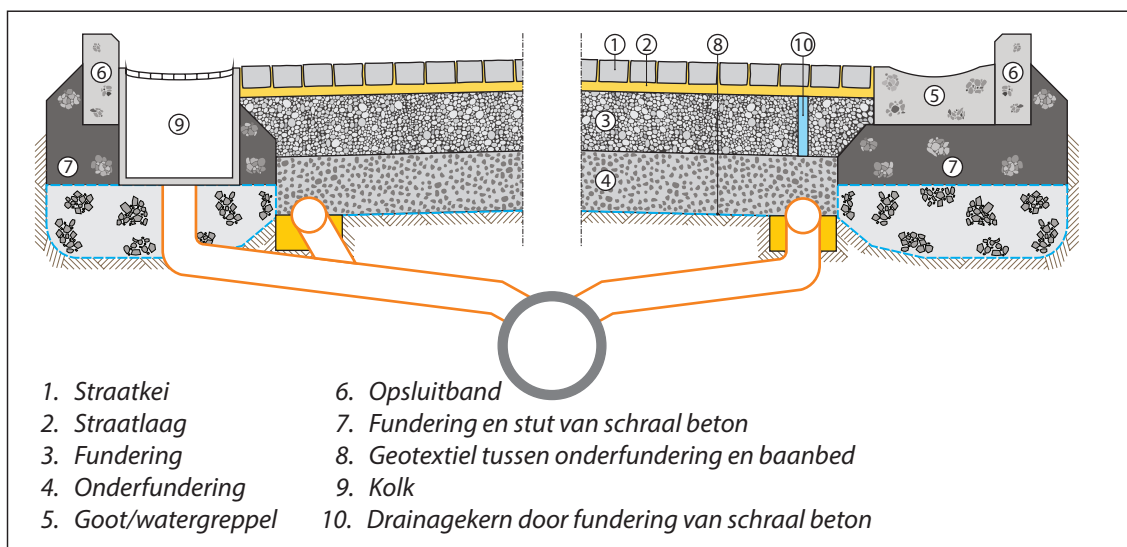
Bij bestraten volgens het flexibele, doorlatende concept kan niet worden voorkomen dat via de voegen water in de constructie dringt. Deze waterinfiltratie kan echter maximaal worden beperkt door het korrelskelet van het voegmateriaal te optimaliseren en voor een goede voegvulling te zorgen. Voor de stabiliteit van de constructie is het van fundamenteel belang dat de straatlaag en de fundering goed doorlatend zijn, opdat het infiltratiewater zo snel mogelijk wordt afgevoerd.

Bij bestraten volgens het stijve, waterdichte concept moet uiteraard de ondoorlatendheid van de verharding worden gewaarborgd door een voegmateriaal van hoge kwaliteit te gebruiken (goede hechting, goede mechanische sterkte). Voorts is het belangrijk dat het oppervlaktewater doeltreffend van de

weg wordt afgevoerd. Aan deze eis kan worden voldaan door het wegoppervlak voldoende (minstens 2 %) dwarselling te geven en de weg op de juiste plaatsen van voldoende goten, straatgoten en kolken te voorzien.

Als de fundering ondoorlatend is (bijvoorbeeld schraal beton), kan water dat in de wegconstructie is gedrongen worden afgevoerd door één of twee drainagesleuven in het ontwerp op te nemen of door drainageopeningen aan de rand van de rijbaan te maken. Daartoe kunnen ter hoogte van de straatgoot en in de laagste punten gaten door de ondoorlatende fundering worden geboord, die met fijn steenslag worden gevuld voordat de straatlaag wordt aangebracht.

Als de ondergrond doorlatend is, zal een drainerend oppervlak aan de buitenranden van de verharding (*steenslag, grind, enz.*) meestal volstaan. Is de ondergrond niet zo doorlatend, dan verdient het aanbeveling rondom het bestrate oppervlak een sleuf te maken, waarin onder afschot een geperforeerde afvoerbuis wordt gelegd die op de riolering wordt aangesloten of het water naar dieper gelegen, meer doorlatende lagen brengt.



**Figuur 3.26** – Waterafvoer via een kolk voor een ondoorlatende verharding (links) en afvoer van in de fundering gedrongen water via een drainagebuis voor een doorlatende verharding op een onderdoorlatende fundering (rechts)

### 3.3.15 Rekening houden met de specifieke behoeften van voetgangers en fietsers

Valide en mindervalide voetgangers en ook fietsers moeten over kwaliteitsvolle infrastructuur beschikken om zich veilig en comfortabel te kunnen verplaatsen. Voor kwaliteitsvol weggebruik zijn verhardingen nodig die voldoen aan hun behoeften wat vlakheid, stabiliteit, stroefheid, obstakelvrijheid, waterafvoer, herkenbaarheid en netheid betreft.

Bij het kiezen van materialen waarmee bijvoorbeeld een trottoir of een fietspad zal worden verhard, moet met deze zeven criteria rekening worden gehouden om ervoor te zorgen dat de weggebruiker de voorziening echt als de zijne ziet en ze dus ook gebruikt.



### ■ Vlakheid

De vlakheid van de verharding bepaalt voor een groot deel het comfortgevoel van fietsers, rolstoelgebruikers, kinderen in een kinderwagen, enz. Dit comfort wordt ook nog door vele andere parameters beïnvloed – zoals de grootte van de straatkeien, het bestratingsverband en de breedte van de voegen.



**Figuur 3.27** – *Weinig comfortabele natuursteenbestrating door de vele onvlakheden<sup>5</sup>*

Voor een vlakheid die aan de behoeften van actieve weggebruikers (voetgangers en fietsers) tegemoetkomt, zijn gezaagde straatkeien te verkiezen. In dit geval dient rekening te worden gehouden met het risico op uitglijden en wordt in voorkomend geval een gepaste oppervlakafwerking voorzien. Platte straatkeien bieden de weggebruiker doorgaans minder comfort door de oneffenheden in het oppervlak en vergen dus bijzondere aandacht bij de keuze door de wegbeheerder. Soms kunnen monsters nuttig zijn om dit materiaal door alle weggebruikers te laten goedkeuren voordat het verwerkt wordt. Straatkeien uit oude bestratingen die opnieuw worden gebruikt, moeten worden bijgezaagd om aan de vlakheidscriteria te voldoen.

Ook het vullen van de voegen vergt bijzondere aandacht. Als dat niet met zorg gebeurt, zullen de weggebruikers voortdurend hinder ondervinden van zeer oncomfortabele trillingen (wasbordeffect).



**Figuur 3.28** – *Marktplaats in het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest, heraangelegd met gezaagde keien*

### ■ Stabiliteit

Behalve nadelige effecten op de structuur van de verharding zelf heeft een onstabiele bestrating directe gevolgen voor de voetganger, die zijn evenwicht kan verliezen. Elementenverhardingen zijn vatbaarder voor stabiliteitsgebreken dan doorgaande verhardingen; daarom moeten de voorschriften die deze handleiding voor de aanbrenging geeft, worden nageleefd. Berijdbare inritten, waar gemotoriseerd verkeer nogal vaak voor stabiliteitsproblemen zorgt, vragen in dit verband bijzondere aandacht.

<sup>5</sup> Op verzoek van de weggebruikers én van handelaars met terrassen zijn deze straatkeien achteraf ter plekke geschuurd, om de onvlakheden te verminderen en de weggebruikers zo een beter comfort te bieden. Uiteraard moeten dergelijke toestanden worden vermeden. Vandaar het belang van goede materiaalkeuze vooraf.

### ■ Stroefheid

De stroefheid van de verharding is van directe invloed op de glijweerstand voor schoenzolen, voor de tip van de wandelstok van een bejaarde of voor fietsbanden.

In vergelijking met andere verhardingssoorten worden natuursteenbestratingen als gladder beschouwd. De stroefheid van het bestratingsvlak hangt van het (gekloven of gezaagde) kopvlak van de straatkeien, van de oppervlakafwerking, en van de steensoort (porfier, zandsteen, graniet, enz.) af, evenals van het aantal en de breedte van de voegen. Metingen met de wrijvingsslinger (SRT) kunnen mogelijk uitsluitsel geven over de behaalde stroefheid *in situ*.

De stroefheid van natuursteenbestratingen kan, indien nodig, worden verbeterd door het oppervlak van de straatkeien te behandelen (bv. boucharderen of vlambehandeling). Bij sommige realisaties wordt voorgesteld onbewerkte natuursteenkeien met gepolijste keien af te wisselen, maar dit biedt niet altijd een oplossing om de stroefheid van de verharding te verbeteren. Alles hangt immers van de resterende gepolijste oppervlakken af, die zo beperkt mogelijk moeten blijven.



**Figuur 3.29** – Natuursteenbestrating met afwisselend gepolijste en onbewerkte straatkeien. Aan de gepolijste oppervlakken te zien blijft er gevaar om uit te glijden<sup>6</sup>

### ■ Obstalenvrijheid

Zelfs als een natuursteenbestrating optimaal ontwerpen en uitgevoerd is, kunnen bepaalde plaatselijke elementen de voordien geleverde inspanningen tenietdoen. Zo kunnen boomwortels de bestrating omhoogduwen, waardoor onvlakheden en/of scheuren ontstaan.

Elementenverhardingen in het algemeen, en dus ook natuursteenbestratingen, zijn gevoeliger voor boomwortels dan doorgaande verhardingen. Er zijn nochtans oplossingen om dit probleem aan te pakken, bijvoorbeeld een geschikte fundering toepassen, de onderbouw verhogen of diep wortelende boomsoorten (linden, essen, hazelaars, esdoorns, enz.) kiezen<sup>7</sup> [49].

<sup>6</sup> Deze bestrating bevindt zich in een hellende zone. Er zijn al verscheidene fietsers uitgedaald en ten val gekomen.

<sup>7</sup> Voor meer informatie over geschikte boomsoorten voor elementenverhardingen wordt verwezen naar de literatuur over bomen en de groei ervan, bijvoorbeeld "Van den Berk over Bomen".

### ■ Waterafvoer

Op een bestrating die voor voetgangers en fietsers comfortabel en aantrekkelijk moet zijn en hen een veilig gevoel moet geven, mag uiteraard geen water blijven staan. Evenals voor andere verhardingen is waterafvoer van een natuursteenbestrating dus erg belangrijk.

De algemene principes voor drainage en waterafvoer, die in de §§ 3.2.2 en 3.3.14 van dit hoofdstuk zijn gesteld, zijn dus essentieel en moeten worden toegepast om de infrastructuur aan de behoeften van de weggebruikers te laten voldoen.

### ■ Herkenbaarheid

Een voetgangers- of fietsvoorziening moet voor alle weggebruikers herkenbaar zijn. Dit betekent dat het oppervlak er zo moet uitzien, dat zij in een oogopslag zien waar de plaats van de verschillende verwoerwijzen op de weg is en hoe zij met elkaar moeten samengaan.

Een mogelijkheid om een natuursteenvoorziening herkenbaar te maken, is spelen met de kleur van de steen en in zekere mate ook met het toegepaste bestratingsverband.

### ■ Netheid

Ook de netheid van de voorziening is voor de voetganger of de fietser een belangrijk criterium. Een wegdek dat er netjes uitziet, is des te aantrekkelijker voor de weggebruiker en verhoogt ook zijn comfort en veiligheid.

Natuursteenverhardingen zijn goed bestand tegen agressieve stoffen en koolwaterstoffen. Een uitzondering is kalksteen, dat gevoeliger is voor zure producten. Bij weinig gebruikte voetgangers- of fietsvoorzieningen kan onkruid in de voegen van de verharding groeien als zij volgens het flexibele, ongebonden concept is aangebracht; er kan dan plaatselijk klein onderhoud nodig zijn, zoals verder besproken in hoofdstuk 5 (§ 5.4).

Bij het kiezen van materialen voor een openbare ruimte dient de wegbeheerder naast de criteria met betrekking tot de behoeften van de weggebruikers ook nog met andere randvoorwaarden rekening te houden, zoals stedenbouwkundige en milieuregels. In verband hiermee worden soms natuursteenmaterialen verkozen of zelfs geëist die niet met de behoeften van de weggebruiker te verenigen zijn. Er bestaan oplossingen om openbare ruimten in te richten op een manier die voor het publiek niet oncomfortabel en onaantrekkelijk is, en die dan ook kunnen worden voorgesteld. Dit geldt bijvoorbeeld voor openbare pleinen die met langwerpige keien zijn bestraat en waar met gezaagde straatkeien een comfortabele doorgang kan worden aangeboden om elke kant van deze openbare ruimte te bereiken. Ook in bestrate rijbanen kunnen met gezaagde straatkeien comfortstroken worden gemaakt.



**Figuur 3.30** – Comfortstrook met gezaagde straatkeien in een rijbaan met klassieke straatkeien



**Figuur 3.31** – Comfortabele inrichting voor fietsers (rijbaan met gezaagde straatkeien), maar niet voor voetgangers (trottoir met platineststraatkeien)

### 3.3.16 Aandacht voor het milieuaspect

Al jaren wordt de behoefte om de milieueffecten van bouwprojecten te beoordelen steeds duidelijker aangevoeld. De regels voor deze beoordeling nemen geleidelijk vaste vorm aan. Door deze ontwikkelingen is het onder meer mogelijk geworden nationale milieulabels in het leven te roepen voor bouwproducten, waaronder natuursteen. Heel wat van deze labels steunen op een levenscyclusanalyse (LCA) volgens de referentienorm ISO 14040 [50].

LCA maakt het mogelijk milieuverklaringen op te stellen om de milieueffecten van het betrokken product te beoordelen uit het oogpunt van klimaatverandering, energieverbruik, water- en luchtkwaliteit, enz. De analyse omvat het hele proces van productie, vervoer, verwerking, en behandeling op het einde van de levensduur. Verscheidene Europese landen hebben hun eigen milieuclassificatie uitgewerkt (NIBE in Nederland, FDES in Frankrijk, enz.), om producten onderling te kunnen vergelijken.

Tot dusver zijn in Europa maar weinig milieuverklaringen opgemaakt. Ten tijde van de redactie van deze handleiding waren in België maar twee steensoorten op milieueffecten beoordeeld, namelijk Belgische blauwe hardsteen (tegels en trottoirbanden) en zandsteen (platinestraatkeien).

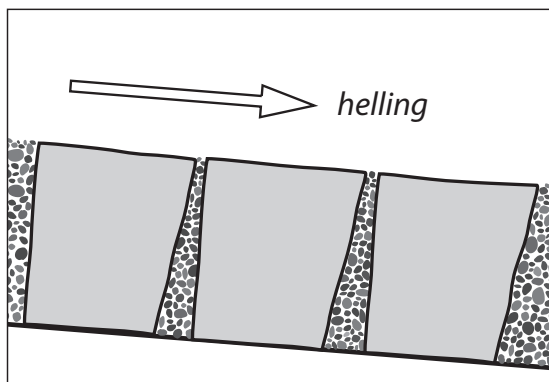
Natuursteen haalt doorgaans een goede milieuscore, door zijn lange levensduur en de mogelijkheden tot hergebruik. De CO<sub>2</sub>-afdruk is gunstig, doordat de productie van dit materiaal geen verwarmings- of kookprocessen inhoudt. Het materiaalverlies in de productiefase kan weliswaar aanzienlijk zijn, maar dit verlies wordt in ruime mate beperkt door hergebruik in de vorm van gebroken aggregaten.

## 3.4 Ontwerp van bijzondere constructies

### 3.4.1 In de lengte hellende bestratingen

Bij het ontwerp en de dimensionering van een bestratingsconstructie met hellend topografisch lengteprofiel dient rekening te worden gehouden met de volgende punten:

- **er kan het best met een boogverband worden gewerkt.** De bogen moeten zo gericht zijn, dat hellingafwaarts verkeer van de bolronde naar de holronde kant van de bogen rijdt (zie figuur 3.11);
- **een tonrond dwarsprofiel is minder belangrijk**, omdat het water toch van de langshelling afvloeit;
- **de vorm van de straatkeien moet (zoals bij de meeste op de oude wijze behouden straatkeien) asymmetrisch zijn.** Een van de twee zijvlakken waarmee de straatkeien haaks op de rijrichting worden gelegd, dient een sterkere verdunning te vertonen dan het andere.



**Figuur 3.32** – Leggen van keien op een helling (doorsnede volgens de lengteas)

- **om schade aan de voegen door loswrikken van straatkeien te voorkomen**, kunnen de voegen op twee manieren worden uitgevoerd:
  - uitvoering volgens een stijve wijze van bestraten;
  - voegen met emulsie of licht gestabiliseerd zand (50-70 kg cement / m<sup>3</sup> zand) op een straatlaag van draineerzand of steenslag (2/6,3 voor een betere drainage) of eveneens licht gestabiliseerd zand. Zand of grind als voegmateriaal is in dit geval dus niet aan te bevelen;
- **het straatwerk moet onder aan de helling beginnen.**

### 3.4.2 Tegelbestratingen

Bij tegelbestratingen moet op voorhand worden nagegaan of de buigsterkte van de steensoort in combinatie met de afmetingen van de tegels het mogelijk maakt de buigspanningen te weerstaan die in de beoogde toepassing zullen optreden. De verschillende gebruiksklassen zijn bepaald in hoofdstuk 2 van deze handleiding.

Bijlage A bij norm NBN EN 1341 [6] geeft een vereenvoudigde methode voor deze controle. Ze staat beschreven in de PTV 841 [9] en maakt gebruik van de formule in figuur 3.33. Deze formule wordt momenteel herzien en zal wellicht in de volgende editie van PTV 841 [9] worden gewijzigd.

$P = \frac{R_{tf} \times W \times t^2}{1500 \times L \times 1,6}$	<i>waarin</i>	<i>P</i>	<i>berekende breuklast, in kN</i>
		<i>W, L, t</i>	<i>breedte, lengte en dikte, in mm</i>
		<i>R<sub>tf</sub></i>	<i>minimaal verwachte buigsterkte, in MPa</i>

**Figuur 3.33** – Formule voor de berekening van de breuklast volgens PTV 841 [9] (versie 1.0 van 28/02/2005 – formule in herziening)

### 3.4.3 Specifieke eisen voor lijnvormige elementen

Op een soortgelijke manier als bij tegelbestratingen moet worden nagegaan of de breuklast die uit de buigsterkte van het materiaal en de afmetingen van het element voortvloeit, groter is dan de minimale breuklast die voor de beoogde verkeerscategorie geldt.



# Hoofdstuk 4

## Uitvoering

### 4.1 Inleiding

De sleutel tot het succes van een natuursteenverharding ligt evenzeer in een coherent en realistisch ontwerp als in de kwaliteit van de uitvoering.

Een kwaliteitsvolle uitvoering begint met de invoering van een procedure voor de keuring en de controle van de materialen, om zich ervan te vergewissen dat zij gedurende de hele aanvoer aan de eisen van het bestek blijven voldoen.

De uitvoering van het baanbed en de aanbrenging van de fundering, de onderfundering en de natuursteenverharding moeten volgens de regels van vakmanschap plaatsvinden, die in dit hoofdstuk worden toegelicht. Deze regels moeten integraal worden nageleefd, zo niet komt het gehele project in het gedrang.

Met verschillende controles kan worden nagegaan of de verharding en de onderliggende lagen goed zijn uitgevoerd; ook die worden in dit hoofdstuk beschreven.

### 4.2 Keuring en controle van de materialen

#### 4.2.1 Algemeen

Voordat natuurstenen bestratingselementen worden verwerkt, moet bij de levering van de materialen worden gecontroleerd of zij wel degelijk overeenstemmen met wat besteld is en of zij voldoen aan de voorschriften van het bestek.

Dit betekent dat in de planning van de werkzaamheden de nodige tijd moet worden uitgetrokken om proeven uit te voeren en om te reageren als er een probleem met de kwaliteit wordt ontdekt. Daarom is het van het grootste belang dat de aannemer het nodige doet opdat de keuringsprocedure tussen het tijdstip van de bestelling en het begin van de verwerking geheel kan worden doorlopen.

Elke tekortkoming in de kwaliteitseigenschappen (*sterkte, afmetingen, toegestane maatafwijkingen, kleur, afwerking, hoeveelheid, enz.*) van geleverde partijen ten opzichte van de eisen kan immers de duurzaamheid van de verharding ernstig in het gedrang brengen.

De ruimte voor de keuring en opslag van producten moet zo worden ingericht, dat zij behoed worden voor de verschillende vormen van schade die zij zouden kunnen oplopen: beschadiging bij laden of lossen, schokken, diefstal of vandalisme.



## 4.2.2 Goedkeurings- en keuringsprocedures

De procedures voor goedkeuring en keuring van natuurstenen elementen verschillen van gewest tot gewest; elke gewestelijke overheid beschikt over een standaardbestek waarin zij haar specifieke eisen beschrijft.

Voorts bestaan er verschillende aanpakken naast elkaar, onder meer afhankelijk van al of niet rekeninghouden met een keurmerk (bijvoorbeeld ATG/BENOR).

Ongeacht het gewest is het uiteindelijke doel van de procedure steeds hetzelfde: aan monsters nagaan of de geleverde producten aan de voorschriften voldoen.

In eerste instantie worden hiervoor referentiemonsters gebruikt die voor het uit te voeren werk zijn geleverd en waarover tevoren een akkoord is bereikt (zie de desbetreffende paragrafen verderop). Deze monsters worden gebruikt:

- om de gebruiksgeschiktheid van de geleverde producten voor de beoogde toepassing na te gaan;
- om na te gaan of de producten gepaste kenmerken bezitten om aan esthetische of zelfs milieutechnische en/of sociale voorschriften te voldoen.

Daarna volgt een systematische bemonstering van de geleverde producten, om zich ervan te vergewissen dat wat effectief geleverd wordt aan de gestelde eisen voldoet.

### 4.2.2.1 Procedure in Wallonië en in het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest

De aanpakken die in de bestekken van het Waalse Gewest en het Brusselse Hoofdstedelijk Gewest beschreven staan, steunen op het principe van systematische partijkeuring.

#### 1. Keuring aan de hand van documenten

Aan de hand van de verklaring van herkomst van de steensoort, de bijbehorende beproevingsverslagen en de prestatieverklaring gaat de aanbestedende overheid na of de kenmerken van het materiaal wel degelijk overeenstemmen met de eisen in het bestek.

#### 2. Contractueel monster

Aan de aanbestedende overheid wordt een contractueel monster (of "referentiemonster") bezorgd. Dit monster moet representatief zijn voor de uiterste variaties in aanzien (kleuren, korrels, aders, fossielen, enz.), de oppervlakafwerking van alle vlakken en de vorm die voor de betrokken opdracht zijn toegestaan.

#### 3. Keuringsproeven

De aanbestedende overheid neemt in het bijzijn van de leverancier en de aannemer monsters voor keuringsproeven. De monsters worden in de steengroeve genomen of, voor geïmporteerde elementen, op de plaats waar zij in België zijn opgeslagen.

Op de plaats van de monsterneming of in het laboratorium worden dan de relevante kenmerken van de producten gecontroleerd. De proeven worden verricht volgens de voorschriften in het toepasselijke gewestelijke standaardbestek.

#### 4.2.2.2 Procedure in Vlaanderen

Volgens de algemene bepalingen in Standaardbestek 250 [12] worden natuurstenen elementen aanvaard op grond van een certificaat van overeenkomstigheid met PTV 841, 842 of 843 [9, 10, 11], dat door een onafhankelijke instelling is afgeleverd. Voor natuurstenen elementen wordt een door COPRO afgeleverd BENOR-certificaat of een gelijkwaardig certificaat geëist. Ontbreekt dit certificaat, dan moet een partijkeuring plaatsvinden.

Als de producten een BENOR-certificaat (en dus ook een technische goedkeuring met certificering ATG) of een gelijkwaardig verklaard certificaat hebben, beperkt de keuring zich tot een controle van de kenmerken die op de technische steekkaarten (ATG en BENOR) vermeld staan.

De werkopzichter gaat na of de documenten die de aannemer bezorgt aan de besteksvoorschriften voldoen en met de geleverde partij overeenstemmen. De afleveringsbonnen van de geleverde producten moeten het BENOR-merk dragen.

Als de producten geen BENOR-certificaat hebben, moet een partijkeuring door een controle-instelling plaatsvinden. Het schema voor de controle is nagenoeg hetzelfde als bij een certificering. De proeven op de materialen en de producten worden verricht volgens de voorschriften in de verschillende PTV's [9, 10, 11].

#### 4.2.3 Bijzonder geval: hergebruikte of gerecyclede materialen

Als de straatkeien, tegels of trottoirbanden geheel of gedeeltelijk uit hergebruikte materialen bestaan, moeten zij doorgaans worden voorbehandeld. Dit bestaat ten minste in schoonmaken van de teruggewonnen elementen om ze te ontdoen van resten van straatlaagmateriaal, voegvullingsproducten en andere bestanddelen die eraan kunnen kleven of ermee vermengd kunnen zijn. Er wordt dan van "hergebruikte straatkeien" gesproken. In sommige gevallen vindt nog een verdere behandeling (bijvoorbeeld herzagen) plaats, die dan "gerecyclede straatkeien" oplevert.

Er zijn vooralsnog weinig regelgevende of normatieve documenten die met recycling van natuurstenen elementen rekening houden. Ten tijde van het schrijven van deze handleiding verwees enkel het Waalse standaardbestek *CCT Qualiroutes* [13] ernaar. Voor gerecyclede en hergebruikte materialen moet de verklaring van herkomst, waarop de procedure voor de voorafgaande keuring gebaseerd is, (onder meer) het volgende vermelden (eigen vertaling): "de herkomst van de grondstoffen, met inbegrip van de administratieve naspeurbaarheid van ten minste de laatste verwerking en de verschillende medebetrokkenen in het fabricageproces", evenals een aanvaardingsprocedure voor grondstoffen zoals vastgelegd in het kader van de productiecontrole in de fabriek (FPC). Uiteraard is dit in de praktijk van oudere (40-50 jaar) natuursteenverhardingen niet altijd evident.

#### 4.2.4 Keuring van producten in samenhang met het voorgeschreven bestratingsverband

Bij de keuring van producten moet de aannemer zich ervan vergewissen dat de producten qua formaat, dikte, voorgeschreven bestratingsverband, toegestane maatafwijkingen, enz. geschikt zijn voor de te realiseren verhardingen.

### 4.3 Algemene voorwaarden voor de weersomstandigheden

Als algemene regel geldt dat wegenwerken altijd moeten worden uitgevoerd in weersomstandigheden die met alle in de wegconstructie toegepaste materialen te verenigen zijn.

Bij lage (of vries-) of te hoge temperaturen moeten, afhankelijk van de te verwerken materialen, bijzondere voorzorgen worden genomen. De verschillende gewestelijke standaardbestekken bepalen in welke weersomstandigheden bijzondere maatregelen nodig zijn.

Algemeen:

- mogen cementbeton en -mortel worden verwerkt bij temperaturen tussen 5 en 25 °C. Ook boven 25 °C blijft verwerking mogelijk, maar dan moeten bijzondere voorzorgen worden genomen door hulpstoffen toe te voegen, door pas verwerkte materialen te beschermen (zie figuur 4.1) of door een combinatie van beide. Cementgebonden materialen mogen niet worden verwerkt bij temperaturen onder 5 °C en moeten de eerste zeven dagen na de verwerking vorstvrij worden gehouden;
- mogen bitumineuze materialen worden verwerkt bij temperaturen boven 5 °C, maar niet bij hevige neerslag;
- kunnen (meestal epoxy) harsgebonden voegen worden toegepast bij de temperaturen die de fabrikant opgeeft. De ideale verwerkingstemperatuur is afhankelijk van de specifieke epoxysamenstelling. Een harsgebonden voegstelsel is een chemisch reactief systeem dat sterk temperatuurafhankelijk is.



**Figuur 4.1** – Voorbeeld van bescherming van een natuursteenverharding bij ongunstige weersomstandigheden

### 4.4 Voorbereidende werkzaamheden vóór het straten

#### 4.4.1 Gereedmaken van het baanbed

Voordat een geotextiel en de onderfundering worden aangebracht, moet het baanbed worden uitgevlakt – het is zeer belangrijk dat het profiel van het baanbed evenwijdig loopt met dat van de toekomstige verharding – en verdicht. Voor dit laatste kan beter een statische wals worden gebruikt dan een trilwals, om oprillen van water te voorkomen.

Het draagvermogen van het baanbed wordt bepaald met een plaatbelastingsproef, die een samendrukbaarheidsmodulus van ten minste 17 MPa als resultaat moet geven. Zo niet moet de ondergrond opnieuw worden verdicht of moet hij worden verbeterd of vervangen.

#### 4.4.2 Aanbrengen van de drainage-inrichting

De drainage van de weg wordt in de ontwerpfase ontworpen en gedimensioneerd (zie § 3.3.14).

Tijdens het aanbrengen moet worden nagegaan of de drainagevoorzieningen goed werken. Deze controle kan in eerste instantie worden verricht door visueel op zoek te gaan naar hydraulische obstakels en al wat plaatselijk wateropeenhoping kan veroorzaken. In tweede instantie kan het oppervlak intens worden besproeid om na te gaan of er nergens water blijft staan en of de drains doeltreffend zijn.

#### 4.4.3 Aanbrengen van de onderfundering

Afhankelijk van de benodigde dikte mogen de materialen voor de onderfundering in een of meer lagen worden aangebracht. Voor elke laag geldt een maximumdikte van 30 cm. Het profiel van de onderfundering loopt altijd evenwijdig met het profiel van de toekomstige verharding.

Na verdichting moet in de plaatbelastingsproef een draagvermogen van ten minste 35 MPa worden gemeten. Als de onderfundering van zand is, moet bij deze proef een plaat van 750 cm<sup>2</sup> worden gebruikt; in andere gevallen is dat een plaat van 200 cm<sup>2</sup>.

#### 4.4.4 Aanbrengen van de kantopsluiting en afwerken van de randen

Natuursteenverhardingen moeten altijd aan de kanten worden opgesloten, om te voorkomen dat de straatkeien verschuiven onder de horizontale krachten die rijdende voertuigen uitoefenen. Voor deze kantopsluiting worden doorgaans lijnvormige elementen zoals trottoirbanden en/of straatgoten gebruikt, die op hun beurt op een fundering van schraal beton rusten en tegen een stut van schraal beton aanleunen.



**Figuur 4.2** – Aanbrengen van kantopsluitingen voordat de fundering en de straatlaag worden aangebracht

De fundering van lijnvormige elementen voor kantopsluiting begint ter hoogte van de onderfundering van de weg, of nog lager. Kantopsluitingselementen worden vóór de wegfundering en de straatlaag aangebracht.

Langs lijnvormige elementen voor kantopsluiting mogen de bestrating en de fundering pas worden verdicht wanneer deze elementen voldoende sterkte hebben ontwikkeld. Deze sterkte heeft te maken met:

- de verhardingstijd van in het werk gestorte kantopsluitingen;
- de verhardingstijd van de fundering (schraal beton, zandcement) van geprefabriceerde kantopsluitingselementen.

In normale weersomstandigheden duurt het verhardingsproces meestal twee tot drie dagen. Deze duur in acht nemen is vooral van belang als de kantopsluiting in het werk is gestort.

Het is belangrijk dat lijnvormige elementen voor kantopsluiting niet alleen op een fundering rusten, maar ook kunnen aanleunen tegen een goed verdichte stut van schraal beton.

In een aantal bijzondere situaties kan het nodig zijn opsluitingselementen dwars op de rijrichting toe te passen, om afschuiven van straatkeien in de lengterichting van de weg tegen te gaan.



**Figuur 4.3** – Voorbeeld van overdwarse opsluiting in een hellende straat

Als een bestrating wegbreedt wordt aangebracht zonder kantopsluitingen te maken, moet tussen de fundering, de bestrating en de voorgevels van gebouwen een isolatievoeg worden gemaakt.

#### 4.4.5 Aanbrengen van de fundering

Het is zeer belangrijk dat het profiel van de fundering evenwijdig loopt met het profiel van de toekomstige verharding, om een straatlaag van zo constant mogelijke dikte te kunnen aanbrengen. Zo niet zal de bestrating onder de uitgeoefende belastingen gaandeweg onvermijdelijk de vorm van de onderliggende constructie aannemen.



**Figuur 4.4** – Belang van goede vlakheid en juiste profilering van fundering

Als voor de fundering een hydraulisch gebonden mengsel wordt gebruikt, moet het watergehalte van dit materiaal optimaal zijn wanneer het verwerkt wordt. Dit optimale gehalte wordt bepaald met een versterkte Proctorproef. Tijdens deze proef wordt de volumieke massa van proefstukken die op een gestandaardiseerde wijze zijn verdicht, gemeten als functie van het watergehalte. Het watergehalte dat met de hoogste volumieke massa overeenstemt, is het optimale. Alle verrichtingen met cementgebonden materialen moet binnen twee uren na de aanmaak van het mengsel plaatsvinden.

Vooreerst wordt de fundering met trillend materieel verdicht. Deze dynamische wijze van verdichten is over de hele laagdikte efficiënt. Het aantal werkgangen hangt van het type van trillende machine en de soort van fundering af. Het kan eventueel op voorhand worden bepaald, op een proefvakje. Steenslag-funderingen dienen vooral statisch te worden afgewalst, bijvoorbeeld met een bandenwals. Na verdichting moet in de plaatbelastingproef een draagvermogen van ten minste 110 MPa worden gemeten.

In elk geval is het nodig dat de doorlatendheid en/of drainage van de fundering gewaarborgd blijft door een gepaste materiaalkeuze of door waterafvoerinrichtingen aan te brengen. In funderingen van schraal beton, drainerend schraal beton of walsbeton moet om de 5 m een krimpvoeg worden gezaagd of in het verse beton worden gekerfd. Langs bestaande gebouwen moet er rekening mee worden gehouden dat een schraal-betonfundering kan uitzetten. Er dient dan een isolatievoeg tussen de gevel en de fundering te worden gemaakt, om deze uitzetting op te vangen. Met een druksterkteproef op een kern die uit de constructie is geboord, kan worden nagegaan of de druksterkte aan de eisen in het bestek voldoet.

Dicht bij toebehoren dat boven het wegoppervlak uitsteekt of ermee gelijkligt (*kolken, riooldeksels, enz.*) moet de verdichting van funderingen en onderfunderingen bijzonder scherp worden gecontroleerd. Rond deze singuliere punten moeten de fundering en de eventuele onderfundering een constante dikte hebben en perfect worden verdicht, om geen nazetting te krijgen die nadelig zou zijn voor de vlakheid en de duurzaamheid van de verharding.

Bij uitstekende riooldeksels en inspectieputten dient de straatmaker na te gaan of de ondergrond niet gescheurd is, niet in zijn waterdichtheid is aangetast en geen stilstaan van water bevordert, en of de nodige dikte beschikbaar is om alle lagen van de constructie met de voorgeschreven dikten aan te brengen.

Onvlakheden in de fundering, gemeten met een rei van 3 m, mogen volgens de gewestelijke standaardbestekken nooit groter zijn dan 10 mm. Vóór de aanbrenging van de straatlaag moeten eventuele onvlakheden bij gebonden funderingen met microbeton (poreus als de fundering van poreus beton is) en bij niet-gebonden funderingen met een geschikt fijn materiaal worden uitgevuld. Vlakheidsgebreken mogen in geen geval worden goedge maakt door de straatlaag een veranderlijke dikte te geven.

## 4.5 Werkzaamheden bij het straten

### 4.5.1 Aanbrengen van de straatlaag

Voordat de straatlaag gespreid wordt, dient men er zich van te vergewissen dat het oppervlak van de fundering vrij is van plassen, onzuiverheden en onvlakheden.

Het materiaal voor de straatlaag moet overal gelijkmatig worden gespreid. Het is zeer belangrijk dat de laag een constante dikte heeft, want in een te dunne of te dikke straatlaag zullen straatkeien doorgaans niet op hun plaats blijven (verzakken of omhoogkomen).



De straatlaag wordt pas verdicht nadat de straatkeien zijn aangebracht. Deze worden in eerste instantie in de straatlaag gebed. Daarna wordt de bestrating samen met de straatlaag verdicht, om tot de nominale dikte te komen die voor de straatlaag is voorgeschreven. Vóór deze verdichting kan een deel van het straatlaagmateriaal bijkomend in de voegen worden geveegd, om de straatkeien extra te stabiliseren. Indien nadien wordt ingevoegd, mag het straatlaagmateriaal niet hoger dan halfweg de straatkei komen als zandcement wordt toegepast. Met steenslag mag de voeg volledig worden gevuld.



**Figuur 4.5** – Inbedden van straatkeien in een straatlaag, gevolgd door verdichting

Als de straatlaag van zandcement is, gelden de volgende aandachtspunten:

- zandcement moet bij de verwerking “aardvochtig” van consistentie zijn;
- het verdient aanbeveling het oppervlak van de fundering en de straatkeien te bevochtigen alvorens de straatlaag aan te brengen, om wegtrekken van aanmaakwater uit de straatlaag of uit voegvullingen te voorkomen;
- de straatkeien moeten worden gelegd en verdicht voordat het zandcement begint te verhardnen. In de praktijk heeft de straatmaker daarvoor ongeveer drie uren tijd. Dit houdt meestal in dat zandcement moet worden aangebracht en aangevoerd naarmate het straten voortgaat;
- bij kans op vorst in de eerstvolgende 24 h mag geen zandcement worden verwerkt.

Als de fundering en de straatlaag allebei van zandcement zijn, wordt de fundering verdicht voordat de straatlaag wordt aangebracht.

## 4.5.2 Aanbrengen van de straatkeien

### 4.5.2.1 Algemeen

Het is aan te bevelen dat opdrachtgever en opdrachtnemer vóór de aanvang van het werk afspraken maken over een aantal onderwerpen die specifiek gelden voor verhardingen met natuurstenen elementen, zoals voegen, spelen met formaatvariaties bij boogpatronen, verschillen in straatwerk tussen enerzijds natuursteen en anderzijds betonstraatstenen en gebakken klinkers.

Een referentieproefvak kan helpen om een beter beeld te krijgen van het uiteindelijke aanzien van de bestrating. Hiermee wordt voorkomen dat achteraf discussie ontstaat over de kwaliteit van het geleverde werk.

Een belangrijke succesfactor bij straatwerk ligt in de knowhow en ervaring van de straatmakers die bij het project betrokken zijn. Door de ontwikkeling van technieken en materialen in de wegenbouw zijn

natuursteenkeien echter veelal uit het wegbeeld verdwenen. Een hele tijd zijn natuursteenverhardingen vaak voorbehouden voor locaties waarvan de historische waarde of het prestige met natuursteen kon worden onderstreept. Door deze minder veelvuldige toepassing van natuursteenbestratingen en de behoefte om de aanbrengingstechnieken aan de nieuwe materialen aan te passen, is de ervaring van de straatmakers van weleer onvermijdelijk voor een deel verloren gegaan. Tegenwoordig worden natuursteenbestratingen echter weer meer toegepast, vooral waar in een stedelijke omgeving een bepaalde uitstraling of esthetisch effect wordt beoogd. De straatmaker moet dus nog steeds specifieke ervaring hebben met het product en het gewenste bestratingsverband.

Bij de verwerking sorteert de straatmaker de geleverde partij om straatkeien die afgebroken of beschadigd zijn, niet het juiste formaat bezitten of een ander technisch of esthetisch gebrek vertonen, te verwijderen. Deze sortering staat los van de keuringsprocedure en kan tot afwijzing van een deel van de levering leiden; een uitval van 5 % wordt als acceptabel beschouwd.

De aanbrengingstechniek verschilt weinig naargelang van het gekozen bestratingsverband. Bij een flexibel concept kiest de straatmaker de straatkeien bij het aanbrengen zo, dat ze zo goed mogelijk tegen elkaar aansluiten. Bij een stijf concept worden de straatkeien met een voeg van minstens 1 cm gelegd. De straatkeien worden vervolgens door middel van inkloppen één per één in de straatlaag gebed, waarbij ervoor gezorgd wordt dat de voegen verspringen of het gewenste bestratingsverband volgen.

Belangrijk is ook geregeld zowel in de lengte als in de dwarsrichting de rechtlijnigheid van de voegen te controleren, bijvoorbeeld met een touw.



**Figuur 4.6** – Aanbrengen van straatkeien met visuele controle van de rechtlijnigheid van de voegen

Enkele technische basisregels:

- bij hellende wegen moet hellingopwaarts worden gewerkt en een geschikte fundering voor waterafvoer worden aangebracht;
- hakstukken kleiner dan een halve straatkei mogen niet worden verwerkt;
- de straatmaker moet erop letten dat de voegbreedte voldoet aan de eisen in het bijzonder bestek (zie ook tabel 3.6). Te brede voegen zijn nadelig voor de duurzaamheid van de bestrating; te smalle voegen bemoeilijken correcte vulling (of maken ze onmogelijk) en vergroten de kans dat de straatkeien met elkaar in contact komen, wat op zijn beurt eveneens de duurzaamheid van de bestrating kan schaden;

- aan de randen kan eventueel met een streklaag ("regel") van enkelvoudige straatkeien worden gewerkt, om een betere afwerking van het bestratingsverband te verkrijgen (zie figuur 4.7);



**Figuur 4.7** – Aanbrengen van een streklaag



**Figuur 4.8** – Kleurverschillen

- normaal wordt aan de randen van de verharding gestart en loodrecht op de wegas gewerkt. De richting waaruit het aanbrengen van de straatkeien wordt aangevat, dient zorgvuldig te worden gekozen - onder meer naargelang van de fasering van de werken, de verwachte openstelling voor verkeer en dwarse aansluitingen met andere wegen;
- om eventuele kleurverschillen tussen naast elkaar gelegen straatkeien te vermijden, is het raadzaam natuursteen van verschillende leveringen te nemen en bij het straten te mengen.

#### 4.5.2.2 Rechthoekige verbanden

De straatkeien worden haaks op de rijrichting aangebracht. Veranderingen van richting worden met "sluitstenen" gerealiseerd, waardoor de voegen kunnen opschuiven met de aslijn van de rijrichting (zie ook hoofdstuk 3, § 3.3.8).



**Figuur 4.9** – Richting van de doorgaande voegen: haaks op de rijrichting

Bij blokverband wordt een kleinere maatafwijking gekozen, om de voegen binnen gewenste breedten te houden.



### 4.5.2.3 Mozaïekverbanden

De vorm en breedte van de bogen worden bepaald door het gekozen mozaïekverband, de gebruikte soort van straatkeien en de breedte van de te verhardende rijbaan. De breedte van de bogen moet de breedte van de rijbaan precies verdelen, onder aftrek van de goten en straatgoten. Deze worden eerst gestraat, met twee of drie rijen die evenwijdig met de trottoirbanden lopen. De halve bogen aan de rand van het te bestraten oppervlak eindigen haaks op de straatgoten of goten.

Als de weg een langshelling van meer dan 3 % vertoont, komt het middelpunt van elke boog in het laagste punt. Is de langshelling minder steil, dan laat men de plaats van het middelpunt indien mogelijk van de verkeersbelasting afhangen (zie de figuren in hoofdstuk 3, § 3.3.7).

Voor boogverbanden met niet-concentrische cirkels dienen straatkeien met verschillende afmetingen te worden gebruikt, waarbij de kleinste in de aanzet en de grootste langs het gewelf van de boog worden verwerkt. Zulke bestratingsverbanden zijn onmogelijk met straatkeien van één formaat te realiseren.

Langs toebehoren in de weg (*bijvoorbeeld riooldeksels*) dienen aanpassingen plaats te vinden, door een welbepaald verband voor te stellen om de bestrating tegen dergelijke elementen aan te werken.



**Figuur 4.10** – Voorbeeld van straatwerk rond singuliere punten

### 4.5.3 Aftrillen van de bestrating en vullen van de voegen

Pas nadat de volledige bestrating (met inbegrip van de randafwerking) is aangebracht, worden de voegen eventueel een eerste maal ingeveegd met hetzelfde materiaal als de straatlaag (bijvoorbeeld zandcement, steenslag 2/4). Daarna worden de straatkeien vastgezet met een trilplaat, waarbij tevens de straatlaag verdicht wordt.

Idealiter wordt er met een halve trilplaatbreedte overlapt. De trilplaat wordt ook zo dicht mogelijk tegen de randen van de verharding gestuurd, om ook langs de kantopsluitingen en rondom singuliere punten een goede verdichting te verkrijgen.

Zo nodig moet het gewicht van de trilplaat worden afgestemd op het type van straatkeien.

Tijdens het aftrillen worden beschadigde straatkeien vervangen en worden afwijkingen van het profiel, onvlakheden van het oppervlak en al te grote hoogteverschillen tussen straatkeien onderling gecorrigeerd; de oneffenheden en onderlinge hoogteverschillen bedragen hoogstens tweemaal het maximaal toegestane hoogteverschil op het kopvlak van de straat- of mozaïekkeien.



**Figuur 4.11** – Goed afrillen van bestrating, ook aan de randen

Voordat de voegen helemaal gevuld worden, moet worden nagegaan of het voegmateriaal te verenigen is met de voegbreedte (zie ook tabel 3.6 in hoofdstuk 3).

Tussen de natuursteenelementen kunnen, afhankelijk van de toegepaste verhardingsconstructie, verschillende voegsoorten en voegmaterialen worden toegepast. De soort van voegvulling moet echter steeds in samenhang met het concept (flexibel of stijf, doorlatend of ondoorlatend – zie ook tabel 3.5 in hoofdstuk 3) worden gekozen.

De techniek verschilt naargelang van de toegepaste voegsoort en straatlaag.

- **Zand- en steenslagvoegen:** deze worden gerealiseerd in opeenvolgende fasen:
  - vullen van de voegen met vochtig straatlaagmateriaal (zand of steenslag 2/4, 2/6,3) tot enkele centimeters onder het oppervlak. Soms kunnen de straatkeien daarbij tevoren worden bevochtigd;
  - trillend verdichten van het geheel (zie hierboven);
  - vullen en afstrooien van de bovenste centimeters van de voeg met (droger) zand of fijn steenslag 0/2;
  - herhalen van deze laatste verrichting na enkele weken indien nodig, als er holten zijn ontstaan.



**Figuur 4.12** – Verdichten van bevochtigde straatkeien, waarna de voegen worden gevuld

Als tijdens deze verrichtingen straatkeien beschadigd raken, moeten ze worden vervangen en moeten de bovenbeschreven verrichtingen op kleinere schaal worden overgedaan.

- **Stijve voegen** (al of niet gemodificeerde cementmortel): de voegen moeten breed genoeg zijn, om de mortel goed te laten indringen. Nagegaan moet worden of de water-cementfactor van het voegvullingsproduct wordt nageleefd. Bij het aanmaken van de mortel dient de hoeveelheid water overeen te stemmen met wat de fabrikant van de mortelsamenstelling heeft opgegeven.

Als de natuursteen enigszins poreus is, kan het aan te bevelen zijn hem op voorhand met zuiver water te bevochtigen, om de zuigkracht weg te nemen en te voorkomen dat de voegmortel direct op het oppervlak kleeft.

De straatkeien dienen goed vast te zitten in de straatlaag. Tussen de aanbrenging van de straatkeien en de uitvoering van het voegwerk kan het best ook voldoende tijd (bv. zeven dagen) worden gelaten, om zetting van de straatkeien en eventuele krimp van de onderlaag te laten plaatsvinden. Het is van belang dat de voegen volledig en voldoende diep met mortel gevuld zijn. De minimale voegdiepte bedraagt 3 cm.

Het voegwerk verloopt in twee fasen.

*Fase 1:*

- aantrillen van de in de straatlaag van zandcement gebedde straatkeien om het profiel vlak te maken, de straatlaag te verdichten en de keien vast te zetten;
- uitblazen van de voegen, om alle onzuiverheden te verwijderen;
- vullen van de voegen tot gelijk met of net onder het keioppervlak of de facetkant, indien aanwezig. Het materiaal wordt op het oppervlak gestort en met vloertrekkers in de voegen gewerkt;
- wachten om te laten verharderen en drogen.

*Fase 2:*

- schoonmaken van de bestrating met een sponsmachine of een spuitlans, om alle cementsporen op de straatkeien te verwijderen.



**Figuur 4.13** – Vullen van voegen met gemodificeerde mortel



**Figuur 4.14** – Schoonmaken van de bestrating nadat de voegen zijn gevuld

De overtollige voegmortel wordt verwijderd, om te voorkomen dat hij op het oppervlak kleeft voordat de binding optreedt en achteraf een cementsluier vormt. Dit schoonmaken kan plaatsvinden met een borstel(machine) of spons(machine), of onder sproeien met water. De voegen mogen daarbij niet worden uitgewassen of uitgediept. Hiertoe wacht men het juiste moment af, wanneer de mortel in de voeg "aangetrokken" is en enige weerstand biedt. Het verdient aanbeveling om bij de uitvoering van het voeg- en schoonmaakwerk voldoende rekening te houden met de weersomstandigheden.



- **Voegen met emulsie of bitumineuze mortel** (meestal bij onderhoud van bestaande voegen die met bitumineuze mortel waren gevuld): hier wordt in drie fasen gewerkt.

*Fase 1:*

- schoonblazen van de open voegen met een luchtdrukpistool of een hogedrukreiniger, tot een derde van de hoogte van de straatkeien en ten minste 3 cm diep;
- vol en zat vullen van de voegen met emulsie of bitumineuze mortel. Het materiaal wordt op het oppervlak gestort en met vloertrekkers in de voegen gewerkt;
- trillend verdichten van het geheel.



**Figuur 4.15** – Vullen van voegen met bitumineuze mortel

*Fase 2 (een tot twee weken later):*

- aanblazen van de voegen met lucht, om de korst (0,5 tot 1 cm) aan het oppervlak te verwijderen;
- storten van emulsie op het oppervlak en inwerken met vloertrekkers om de nieuwe holten te vullen.

*Fase 3 (een week tot zes maanden later) omvat dezelfde verrichtingen als fase 2.*

**Opmerking:** tussen deze fasen in mag verkeer worden toegelaten, dat de voegvullingen beter zal vastzetten. Voor deze techniek moet de weg wel meermaals worden afgesloten.

- **Voegen met (epoxy)harsgebonden mortel:** het vullen gebeurt hier slechts in één fase.

De voegen dienen eerst goed te worden gereinigd en de minimale voegdiepte en -breedte die de fabrikant aangeeft, dienen in acht te worden genomen.



**Figuur 4.16** – Vullen van voegen met epoxyharsgebonden mortel

Nadat de verschillende harscomponenten eerst met gekalibreerd zand en nadien, voor een betere verwerkbaarheid, met water zijn vermengd, wordt het mengsel met een vloertrekker in de voegen van de vooraf bevochtigde bestrating gewerkt. Na een tiental minuten mag het oppervlak van de bestrating voorzichtig met een grove bezem worden schoongeveegd, om alle mortelresten te verwijderen. Het juiste moment voor dit afvegen is normaal bereikt als bij het vegeen geen witte sluier meer achterblijft, en er moet altijd diagonaal worden geveegd.

Bij een epoxygebonden voegvulling blijft na aanbrenging een vetachtige film op de natuursteen achter. Hierdoor bestaat in de aanvangssituatie een grotere kans op ongevallen door mindere stroefheid en weerstand tegen uitglijden. Deze film verdwijnt na een aantal maanden onder invloed van zon en regen.

Bij cementgebonden producten en zeker bij bitumineuze voegvullingen bestaat kans op sluiervorming op of bevulling van de natuursteen. Om die te voorkomen, moet de verharding kort na het aanbrengen van de voegvulling goed worden schoongemaakt.

#### 4.5.4 Uitzetvoegen in de bestrating

Bij stijve uitvoering worden in een natuursteenbestrating uitzetvoegen aangebracht, om de thermische bewegingen van de straatkeien tijdens een warme periode op te vangen (zie hoofdstuk 3, § 3.3.12). Daarbij wordt de normale bestratingsvoeg op bepaalde afstanden vervangen door een bredere voeg (10-20 mm). Hierin wordt, ter hoogte van de straatkeien én de straatlaag, een voegplaat van samendrukbaar en niet-rottend materiaal (bv. harsgebonden kurk, polyethyleenschuim met voldoende hoge volumieke massa, bepaalde soorten rubber) geschoven, tot op een hoogte van ongeveer 2-3 cm onder het kopvlak van de steen. Tijdens het invoegen met de gebonden mortel wordt deze holte dan tijdelijk gevuld met een "negatieve strip" (van hout of plastic) of een rond snoer. Na het invoegen wordt deze dan opnieuw verwijderd en wordt de bovenkant van de voeg opgevuld met een gepast elastisch materiaal, om de voeg af te dichten. Belangrijk daarbij is dat er ook een rugvulling tussen voegplaat en voegkit wordt aangebracht, om te voorkomen dat deze laatste aan de voegplaat kleeft.



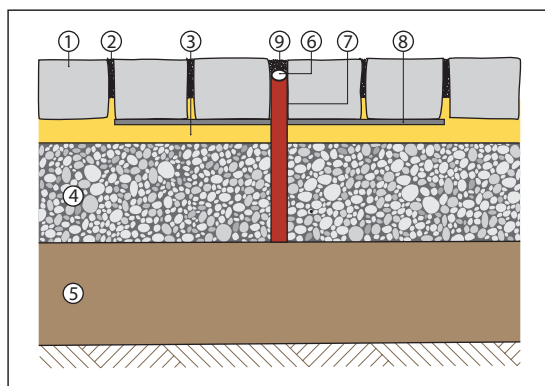
**Figuur 4.17** – Aanbrengen van uitzetvoegen

Typisch worden deze voegen om de 10 tot 20 m aangebracht; ook voor en na bochten kan dit nodig zijn. Als in een cementgebonden fundering een voeg is gemaakt, moet zij samenvallen met een uitzetvoeg in de bestrating.

Het is echter wel zo dat de straatkeien op deze plaatsen aan één zijde minder ondersteund worden en stabiliteit kunnen verliezen, waardoor ze onder verkeersbelasting kunnen gaan bewegen in de richting van de voeg. Zeker als het verkeer direct op de uitzetvoegen rijdt, kan dit soms leiden tot beweging (kantelen) van de straatkei naar de voeg toe en zo in bepaalde gevallen schade en/of afbrokkeling ver-

oorzaken. Het is dan ook aangewezen deze voegen zoveel mogelijk op de niet belaste delen van de natuursteenverharding aan te brengen.

Om de stabiliteit van de straatkeien ter hoogte van de uitzetvoeg te verbeteren, wordt in Duitsland tussen een stijve straatlaag en straatkeien soms ook een dunne hechtlaag van mortel (bijvoorbeeld zelfde materiaal als voegmortel) aangebracht, over een lengte van ca. 0,5 m aan weerszijden van de voeg (zie figuur 4.18).



1. Straatkei
2. Gebonden voegmortel
3. Stijve straatlaag
4. Fundering
5. Ondergrond
6. Rugvulling
7. Voegplaat
8. Hechtlaag
9. Elastische voegkit



**Figuur 4.18** – Boven: toepassing van hechtbrug (Haftbrücke) tussen stijve straatlaag en natuursteen ter hoogte van uitzetvoegen, zoals toegepast in Duitsland. Onder: voorbeeld van toepassing door dompelen van straatkeien ter hoogte van de uitzetvoeg

## 4.6 Controleverrichtingen

### 4.6.1 Fundering

De volgende punten dienen tijdens de uitvoering nauwlettend in het oog te worden gehouden:

- evenwijdigheid tussen het oppervlak van de fundering en het oppervlak van de voltooide verharding;
- vlakheid van het bovengevlak;
- draagvermogen of druksterkte, door middel van metingen;
- verdichting rond singuliere punten.

#### 4.6.2 Straatlaag

In hoofdzaak dient de afwezigheid van grove bestanddelen (keien, stenen) op minder dan 1 cm van de straatkeien te worden nagegaan. Deze bestanddelen kunnen een straatkei opwrikken.

Ook de naleving van de voorgeschreven dikte en korrelverdeling van de straatlaag wordt gecontroleerd.

Ten slotte wordt ook nog de vlakheid van het bovenzak gecontroleerd en, bij zandcement, de druksterkte door middel van Proctorproeven.

#### 4.6.3 Oppervlak van de voltooide bestrating

De vlakheid wordt nagemeten met een rei van 3 m. Bij onvlakheden van meer dan 10 mm moet de bestrating worden opgebroken en op het juiste niveau worden gebracht. Hetzelfde geldt voor plaatsen waar regenwater blijft staan.

Het profiel wordt topografisch nagemeten.

#### 4.6.4 Voegen

De afgewerkte voegen worden op aanzien gecontroleerd, om zich een beeld te vormen van de kwaliteit van de vulling. Ook de breedte van de voegen kan worden gecontroleerd.

De uitzetvoegen moeten volgens het afgesproken patroon zijn aangebracht. Ook moet worden nagegaan of deze voegen hun rol naar behoren kunnen vervullen (geschikt vullingsproduct, geen storende elementen).

#### 4.6.5 Oppervlakkenmerken

Bij twijfel, of als het bestek het specifiek voorschrijft, kan ook de stroefheid *in situ* van de verharding worden gemeten met een wrijvingslinger (SRT-apparaat).



**Figuur 4.19** – Stroefheidsmeting met een SRT-apparaat



## 4.7 Bijzonderheden bij werkzaamheden voor het aanbrengen van trottoirbanden

Kantopsluitingen in het algemeen, en dus ook natuurstenen trottoirbanden in het bijzonder, worden steeds vóór de fundering en de straatlaag aangebracht. Het spreekt vanzelf dat vóór de aanbrenging van de kantopsluiting moet worden vastgelegd hoe breed het te verhardende oppervlak tussenin moet worden. Dit is namelijk afhankelijk van de reële afmetingen van de aan te brengen straatkeien, waarbij rekening moet worden gehouden met de maattoleranties (zie hoofdstuk 2). Het is van groot belang dat de kantopsluiting niet alleen gefundeerd, maar ook achteraan voorzien wordt van een goed verdichte stut van schraal beton. Eventueel kan tussen de natuurstenen trottoirband en de aanliggende bestrating ook een isolatievoeg worden gemaakt, wat dan wel weer op die plaats een verzwakking van de wegconstructie teweegbrengt.



**Figuur 4.20** – Aanbrengen van trottoirbanden en isolatievoeg (rechts) tussen trottoirband en straatkeien

Trottoirbanden van natuursteen dienen te worden aangebracht volgens de gegevens die in de standaardbestekken vermeld staan. Daarbij dient rekening te worden gehouden met onder meer het type van trottoirband (A, B, C, D, afhankelijk van de afschuining bovenaan), de afmetingen van de fundering en van de stut van de trottoirband, de wijze van aanbrengen van de trottoirband op de fundering, en de opstand van de trottoirband ten opzichte van de rijbaan en/of de straatgoot.

Trottoirbanden worden, naargelang van het type, ingegraven of in opstand aangebracht:

- trottoirbanden van type A, B en D: in opstand;
- trottoirbanden van type C: in opstand of ingegraven.

Trottoirbanden die in opstand worden aangebracht, worden steeds voorzien van een fundering en achteraan van een stut van schraal beton.

De voegen liggen in een verticaal vlak loodrecht op de weg. Tenzij de opdrachtdocumenten anders bepalen, worden de trottoirbanden aangebracht met voegen van 5 tot 10 mm breed en worden de voegen niet gevuld. De langsvoeg tussen een trottoirband en een straatgoot wordt echter altijd van een voegvullingsproduct voorzien.

Bochten met trottoirbanden van type C worden met rechte elementen uitgevoerd. Voor bochten met een straal van minder dan 15 m bepalen de standaardbestekken of gebogen trottoirbanden dan wel rechte trottoirbanden van minder dan 1 m lang moeten worden gebruikt. Trottoirbanden mogen enkel door middel van zagen worden ingekort.

De richtlijnen die de verschillende gewestelijke standaardbestekken voor de uitvoering verstrekken, dienen steeds te worden gevolgd.

#### 4.8 Bijzonderheden bij werkzaamheden voor het aanbrengen van tegels

Natuursteentegels worden, in tegenstelling tot straat- of mozaïekkeien, op de straatlaag gelegd of gevlijd, waarna ze met een geschikte straathamer worden vastgezet. In principe vindt geen verdichting door afrillen – tenzij met hoogfrequente rollende trilapparatuur (bv. ultrasoon toestel met rolletjes) – plaats, om het oppervlak niet te beschadigen.



**Figuur 4.21** – *Ultrasoon toestel met rolletjes*

De straatlaag van zandcement of het mortelbed wordt in dit geval enkel geëffend en geprofileerd om de voorgeschreven en gelijkmatige dikte na verdichting te verkrijgen. Dit kan bijvoorbeeld door gebruik te maken van metalen stellatten die stevig vastgezet zijn, of van een stalen lat die op de kantopsluiting wordt gelegd.



**Figuur 4.22** – *Profileren en effenen van een mortelbed voor natuursteentegels*

Het leggen van tegels op een mortelbed moet beëindigd zijn voordat de mortel begint te binden (meestal binnen twee tot vier uren na het aanmaken van de mortel). Alleen bij toepassing van bindingsvertragers is een afwijking daarvan toegestaan. De voegen worden gevuld met (gemodificeerde) cementmortel. Eventuele uitzetvoegen worden, tot 2 cm diepte, vóór het verharden van de mortel gereinigd en met voegvullingsmassa gevuld.

Straatkeien van natuursteen met een gladde, gezaagde afwerking onderaan en aan de zijkanten, worden op een gelijksoortige manier als natuursteentegels aangebracht (vlijen op straatlaag en NIET afrillen met plaat). Om de hechting tussen straatkei en straatlaag te verbeteren, is het in dit geval echter aangewezen een hechtlaag tussen beide aan te brengen (zie hoofdstuk 2, § 2.4.4).





**Figuur 4.23** – Aanbrengen van gezaagde natuurstenen straatkeien met een “hechtlaag” tussen straatlaag en straatkei

# Hoofdstuk 5

## Onderhoud en herstelling van natuursteenverhardingen

### 5.1 Algemeen

Zoals voor alle wegverhardingen geldt, is geregeld onderhoud nodig om de investering in een nieuw project met een natuursteenverharding optimaal te laten renderen. Bovendien zal de verharding op langere termijn onvermijdelijk schade oplopen als ze niet regelmatig preventief onderhouden wordt.

Een goed beheer van het wegennet bestaat er dan ook in gebreken tijdig op te merken, de ernst van de schade na te gaan en vooral ook de oorzaak van de gebreken te bepalen om dan een gepaste herstellingsmethode vast te leggen, eventueel tijdelijk of definitief.

Tijdig onderhoud en kleine ingrepen kunnen soms voorkomen dat schade zicht uitbreidt en volledige heraanleg noodzakelijk wordt. Helaas wordt dit preventieve onderhoud in de praktijk vaak verwaarloosd, omdat het op korte termijn vrij duur en tijdrovend lijkt. Op middellange of lange termijn kan het echter zeer rendabel blijken, wanneer volledige reconstructie van de verharding op die manier kan worden uitgesteld.

Algemeen onderscheidt men volgende vormen van onderhoud:

- **reiniging** van de verharding, noodzakelijk om de netheid van de openbare ruimte te kunnen garanderen;
- **onkruidbeheersing** om het comfort en de veiligheid van de weggebruikers en/of het esthetische aanzien van de verharding te waarborgen;
- **preventief onderhoud**, dat tot doel heeft het serviceniveau van de verharding aan te houden;
- **curatief onderhoud**, dat uitgevoerd wordt wanneer de schade of gebreken zodanig zijn dat plaatselijke herstellingen nodig zijn of zelfs tot volledige heraanleg van (een deel van) de wegconstructie dient te worden overgegaan.

Reiniging van de verharding omvat het geheel van maatregelen die doorgaans nodig zijn om de verharding net te houden. Dit onderhoud heeft tot doel het comfort voor de weggebruikers (en de aanwonenden), de hygiënische kwaliteit of zelfs de veiligheid te waarborgen. Onkruidbeheer kan daarbij als een speciaal geval van "reiniging" worden beschouwd, om ongewenste plantengroei aan te pakken.

Preventief onderhoud wordt uitgevoerd om de verharding in een goede staat te houden voor de functionaliteit en het serviceniveau van de weg. Ideaal gebeurt dit op periodieke wijze of wordt regelmatig onderhoud van de bestrating ingepland. Daarbij is het nodig vooraf een bepaalde strategie te definiëren of aan te houden, onder meer betreffende inspectie van de verharding, benodigde frequentie, interventieniveau en gestelde prioriteiten, en planning van de maatregelen. Het kan hier gaan om controle en hervullen van de voegen tot plaatselijk verwijderen en opnieuw aanbrengen van de verharding (straatkeien + straatlaag) in geval van lokale schade (bijvoorbeeld plaatselijke verzakking).

Curatief onderhoud bestaat uit herstellingswerkzaamheden bij plaatselijke of meer uitgebreide gebreken die de functie van de verharding in het gedrang brengen doordat ze de veiligheid van de weggebruiker, het gebruikscomfort van de aanwonenden of zelfs de duurzaamheid van aanliggende bouwwerken bedreigen. Bij dergelijke schade is algemeen snel ingrijpen nodig, soms dringend en zelfs tijdelijk om het gevaar in te dijken. Deze tijdelijke reparaties worden doorgaans gevolgd door het inplannen van

grotere onderhoudswerkzaamheden, die zelfs tot volledige heraanleg van de wegconstructie (inclusief fundering) over een bepaalde zone of een bepaald deel van de weg kunnen gaan.

Alvorens (preventief en/of curatief) in te grijpen, is het ook van cruciaal belang de schadeoorzaken uit te zoeken, om nieuwe schade te vermijden. Gebreken en schade aan elementenverhardingen zijn doorgaans toe te schrijven aan een of meer van de volgende oorzaken:

- **verharding ongeschikt voor de gegeven toepassing:** toepassingsgebied niet nageleefd, bijvoorbeeld onvoldoende rekening gehouden met de verkeersbelasting;
- **onvolkomenheden in het ontwerp** (zie hoofdstuk 3): grondbeginselen niet nageleefd, verkeerde materiaalkeuze, onverenigbaarheid tussen lagen, geen drainage, enz.;
- **onvolkomenheden in de uitvoering** (zie hoofdstuk 4): materialen die niet voldoen aan eisen in het standaardbestek of in het bijzonder bestek, ontoereikende verdichting, onzorgvuldig zagen/kappen van straatkeien, verwerkbaarheidstijd van cementgebonden materialen niet in acht genomen, enz.;
- **onvolkomenheden in de controle** of zelfs helemaal geen controle.

Het komt er dus in de eerste plaats op neer de regels van goede praktijk voor ontwerp en uitvoering, zoals onder meer in deze handleiding beschreven, na te leven en nadien ook geregeld en gepast onderhoud uit te voeren. In wat volgt beschrijven we eerst in meer detail de voornaamste schadebeelden en mogelijke schadeoorzaken bij natuursteenverhardingen, waarna we inzoomen op de verschillende verrichtingen voor onderhoud en herstelling van deze verhardingen.

## 5.2 Voornaamste schadebeelden en oorzaken

De voornaamste schadebeelden van natuursteenverhardingen behoren tot de volgende grote groepen:

- schade aan een bestratingselement: beschadigde elementen, afschilfering, afsplijting, afslijting, enz.;
- verlies van constructieve samenhang van de verharding: ongeschikte voegbreedte, verschuiven en/of draaien van elementen, breken van elementen;
- scheuren of barsten in gebonden voegmortel;
- vervorming: dwars- en langsonvlakheid, plaatselijke oneffenheden of lokale verzakkingen.

### 5.2.1 Schade aan een element



**Figuur 5.1** – Voorbeeld van afsplijting of desintegratie van bepaalde natuursteensoorten onder klimatologische en/of verkeersbelasting

Bij deze vorm van schade gaat het vaak om beschadiging aan het oppervlak (textuur) van het element door afslijting of afschilfering, bijvoorbeeld onder invloed van vorst-dooicycli al dan niet in aanwezigheid van dooizouten of wanneer de bestrating zwaardere belastingen ondergaat dan verwacht.

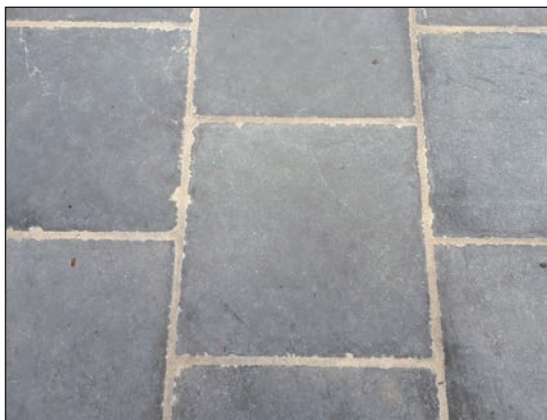
Bij de aanvang van het project kan het best ermee rekening worden gehouden dat er wel eens elementen kunnen kapotgaan en vervangen moeten worden. Voor bestratingselementen van natuursteen is het dan vaak zeer moeilijk exact dezelfde elementen met een identiek aanzien terug te vinden. Het kan dus nuttig zijn bij de uitvoering wat reservemateriaal achter de hand te houden en in dezelfde omstandigheden te laten verouderen als de verharding zelf.

Om zulke schade (die ook deels met de natuursteensoort te maken heeft, zie § 2.1.5 in hoofdstuk 2) te voorkomen, is het van fundamenteel belang kwaliteitsmaterialen te kiezen, waarbij belangrijke criteria zoals slijtvastheid en weerbestendigheid voor de beoogde toepassing zijn vastgelegd.

Een tweede vorm van oppervlakschade is afbrokkeling aan hoeken en randen, ontstaan door bijvoorbeeld het hanteren van de elementen op de bouwplaats of ook hier doordat de elementen ongeschikt zijn voor de gegeven toepassing.

Deze schade mag zeker niet worden verward met *getrommelde* stenen, die aan de hoeken en randen doelbewust kunstmatig verouderd zijn. Ook bij hergebruikte elementen zal de beoordeling van het oppervlak anders moeten worden benaderd.

Ten slotte kan ook breuk van de elementen zelf optreden door plaatselijk contact (puntcontact) tussen de elementen, als de verharding met te smalle voegen is aangebracht. Typisch is een minimale voegbreedte van 8-10 mm nodig om de voegen goed te kunnen vullen en toch de nodige stabiliteit te waarborgen (zie ook hoofdstuk 3).



**Figuur 5.2** – Voorbeeld van *getrommelde* natuurstenen bestratingselementen die met opzet zijn verouderd en dus niet als beschadigd mogen worden beschouwd



**Figuur 5.3** – Voorbeeld van breken of afbrokkeling aan de randen van straatkeien, door te smalle voegen

### 5.2.2 Verlies van constructieve samenhang

Een tweede grote groep van schadebeelden houdt verband met verlies van samenhang in de verharding. Dit kan te maken hebben met een overmatige voegbreedte, mogelijk te wijten aan de kwaliteit van de uitvoering (bv. gebrekkige vulling van de voegen) of te grote maatafwijkingen van de elementen. Ook het bestratingsverband heeft een grote invloed op de stabiliteit van de verharding, zoals al besproken in § 3.3.7 van hoofdstuk 3.



Daarnaast kan verlies van samenhang ook toe te schrijven zijn aan *verschuiven of loskomen* van de elementen zelf, bijvoorbeeld opnieuw door toepassing van te brede voegen, een onaangepast bestratingsverband of onzorgvuldige afwerking aan randen en rond singuliere punten. Bij de randafwerking is het vooral van belang geen te kleine passtukken (steeds groter dan een half element) toe te passen, om de stabiliteit van de verharding te waarborgen.

Ten slotte is, zeker bij ongebonden uitvoering, goede kantopsluiting onmisbaar om de bestratingselementen samen te houden en de voegbreedte en stabiliteit van de verharding op langere termijn te waarborgen. Dit geldt zowel voor de uiteinden als de randen van de natuursteenverharding.



**Figuur 5.4** – Voorbeelden van verlies van constructieve samenhang van de verharding door te brede voegen, een onaangepast bestratingsverband, gebrek aan kantopsluiting en/of onzorgvuldige afwerking aan de randen en rond singuliere punten

### 5.2.3 Scheuren in of schade aan (cement)gebonden voegen

Een vaak voorkomend schadeverschijnsel is de aanwezigheid van scheuren in gebonden voegen. Wanneer een gebonden voegvulling loslaat van een element, zal dit doorgaans leiden tot geleidelijke verdere afbrokkeling van de voeg onder verkeersbelasting en moet dus tijdig worden ingegrepen om dit probleem te verhelpen (zie verder in § 5.5.1). Dikwijls heeft dit ook te maken met overmatige thermische spanningen en bewegingen bij onjuist ontwerp of uitvoering van uitzetvoegen en/of bij overgangen van grotere naar kleinere oppervlakken.



De oorzaken kunnen echter van velerlei aard – van onaangepast ontwerp tot onzorgvuldige uitvoering – zijn, en achteraf dikwijls moeilijk te achterhalen:

- onvoldoende kwaliteit van het product in verhouding tot de verkeersbelasting;
- onaangepast bestratingsverband;
- ontoereikende voegdiepte;
- niet-naleving van water-cementfactor;
- uitvoering in slechte weersomstandigheden;
- te vroege openstelling voor verkeer;
- ontoereikende verdichting van de straatlaag;
- onverenigbaarheid met het straatlaagmateriaal;
- onzuiverheden bij het vullen van voegen;
- problemen met uitzetvoegen;
- enz.



**Figuur 5.5** – Barsten in cementgebonden voegen zijn een vaak voorkomend schadebeeld waaraan een hele rist oorzaken ten grondslag kan liggen

## 5.2.4 Vervorming van de verharding

### 5.2.4.1 Dwarsonvlakheid

Dwarsonvlakheid – voornamelijk spoorvorming – in natuursteenverhardingen heeft doorgaans te maken met:

- onvolkomenheden in de **fundering** die onvoldoende draagkrachtig is door bijvoorbeeld te krappe dimensionering of slechte verdichting;
- onvolkomenheden in de **straatlaag** door slechte kwaliteit van de toegepaste materialen of te grote dikte, waardoor zettingen kunnen optreden.

Bij reparatie van zulke schade is het dus van belang eerst de oorzaken weg te nemen: in de fundering of in de straatlaag, of eventueel in onverenigbaarheid van verschillende lagen en materialen. Een voorbeeld van dit laatste is het “pompeffect”, dat dikwijls wordt veroorzaakt doordat een ondoorlatende fundering (bv. schraal beton) is gecombineerd met een straatlaag en voegen van ongebonden zand/steenslag en daarbij onvoldoende drainage voorhanden is. Water dat langs de voegen is ingedrongen, blijft dan op het scheidingsvlak tussen straatlaag en fundering staan, waar het onder invloed van verkeer (het zogenoemde “pompen”) erosie van de fundering en uitpersing van fijne bestanddelen van de straatlaag veroorzaakt – met alle gevolgen van dien.



**Figuur 5.6** – Voorbeelden van spoorvorming en "pompeffecten" in een natuursteenverharding

#### 5.2.4.2 Langsonvlakheid

Naast dwarsonvlakheid kan een natuursteenverharding ook langsonvlakheid vertonen. Mogelijke oorzaken hiervan zijn slecht aangevulde en/of verdichte dwarsseuven, verschillen in thermische uitzetting en bijbehorende spanningen bij toepassing van gebonden funderingen, aansluitingen met andere verhardingen of ondoordachte plaatskeuze voor uitzetvoegen. Voor de aansluiting met andere verhardingen verwijzen we naar § 3.3.13 in hoofdstuk 3; correct ontwerp en uitvoering van uitzetvoegen in gebonden natuursteenverhardingen staan beschreven in de hoofdstukken 3 en 4.

Krimpscheuren in cementgebonden funderingen (die naar het oppervlak kunnen doorslaan: reflectiescheuren) zijn te beheersen door de funderingslaag afdoende tegen uitdroging te beschermen en/of door op voldoende korte afstand van elkaar ( $\leq 5$  m) voegen in het verse beton te kerven of in het verharde beton te zagen. Belangrijk daarbij is dat de mogelijke uitzetvoegen in de verharding ook samenvallen met deze krimpvoegen in de fundering.



**Figuur 5.7** – Voorbeelden van langsonvlakheid en schade, te wijten aan thermische bewegingen en/of aansluiting op andere verhardingen



### 5.2.4.3 Plaatselijke vervormingen

Plaatselijke vervormingen, zoals oneffenheden en lokale verzakkingen, zijn vaak een teken van fouten in de uitvoering of aanbrenging van een natuursteenverharding. Als het een meer algemeen probleem betreft, is de schade wellicht veeleer aan een verkeerd ontwerp te wijten.

Lokale verzakkingen kunnen te maken hebben met gebreken in de fundering door plaatselijk slechte verdichting of onvlakheid, gebrekkige kantopsluiting (bijvoorbeeld zonder stut van schraal beton), waterophoping in de weg bij onvoldoende of onbestaande drainage (zie verderop), onzorgvuldige afwerking rond singuliere punten of onverenigbaarheid van de samenstellende lagen.



**Figuur 5.8** – Voorbeelden van plaatselijke vervormingen door onzorgvuldige uitvoering en/of gebreken in het ontwerp

In dit laatste opzicht is het uitermate belangrijk een coherent concept voor de verharding te kiezen, zoals duidelijk beschreven in § 3.3.9 van hoofdstuk 3:

- ofwel een flexibel concept doorgaans met een straatlaag van zand of steenslag en ongebonden voegen op een doorlatende fundering, zodat er geen water in de wegconstructie kan blijven zitten;
- ofwel een stijf concept met gebonden voegen en straatlaag en een stijve(re) fundering. De voegvulling is hier cruciaal, om ervoor te zorgen dat de verharding als één geheel blijft werken. Hoewel deze wijze van bestraten doorgaans ondoorlatend is, moet het waterafvoerende vermogen van de fundering steeds gewaarborgd blijven.

Wanneer bijvoorbeeld stijve mortelvoegen gecombineerd worden met een straatlaag van zand, zullen door differentiële zettingen van de materialen heel snel problemen rijzen met loskomen of afbrokkelen van voegvullingen of zelfs breken van elementen.

Nadeel van het stijve concept is de moeilijker herstelling wanneer schade optreedt. Er moet dan een goede hechting tussen de verschillende lagen worden gewaarborgd.



**Figuur 5.9** – Moeilijker herstelling bij uitvoering volgens het stijve concept

### 5.2.5 Slechte afwatering en/of drainage

Tot slot hangen veel van de hierboven vermelde schadebeelden ook samen met slechte afwatering en/of gebrekkige drainage van de verharding. Bij een klassieke bestrating dient, om schade te voorkomen, in een goede waterafvoer te worden voorzien. Enerzijds aan het oppervlak, door het water via een voldoende grote dwarshelling en de nodige straatgoten en -kolken zo snel mogelijk te laten afvloeien. Anderzijds in de wegconstructie zelf, om water dat toch via de voegen is ingedrongen uit de straatlaag en de fundering af te voeren. Het correcte ontwerp van waterafvoerinrichtingen staat beschreven in § 3.3.14 van hoofdstuk 3.



**Figuur 5.10** – Voorbeelden van schade door gebrekkige waterafvoer van de natuursteenverharding

### 5.3 Reiniging

Het reinigen van natuursteenverhardingen kan bestaan in vegen, borstelen, spuiten van water onder hoge druk of een andere specifieke behandeling die wegens de blootstellingscondities, de soort van voegen of het gewenste aanzien van de verharding nodig is. Kaugummi bijvoorbeeld is een specifieke vervuiling, die aangepaste technieken zoals stomen, heet water onder hoge druk of ijsstralen vereist om ze te verwijderen. Uiteraard mag de verharding of de natuursteen zelf daarbij geen schade oplopen.



**Figuur 5.11** – Reinigen van natuursteen

In de ontwerpfase (zie hoofdstuk 3) moet daarom ook al rekening worden gehouden met het onderhoud dat men voor ogen heeft. Zo kan het best geen voegvulling van steenslag worden toegepast op een druk bezocht markplein waar elke dag een veegwagen passeert. Het is van groot belang dat de keuze van de materialen al bij het ontwerp afgestemd wordt op het gebruik van de verharding en de beperkingen ervan wat onderhoudsvriendelijkheid betreft: gebruiksintensiteit en al dan niet benodigd regelmatig en intensief onderhoud van de verharding (bv. centrumplein met wekelijkse markt), invloed

van de voegsoort (ongebonden of gebonden) op de ontwikkeling van onkruidgroei en bijbehorende onkruidbeheersing of –bestrijding, invloed van schoonmaakverrichtingen op de gebruikte materialen (natuursteen en voegen) en, indien mogelijk, aanpassing van de reinigingsmiddelen aan de ter plaatse aanwezige materialen (zie ook TV 197 [51]).

Ten slotte is het ook aangewezen de gevoeligheid voor vervuiling van natuursteenproducten (zie ook § 2.1.4 in hoofdstuk 2 en § 3.3.5 in hoofdstuk 3) na te gaan en meer bepaald geen al te lichte of te poruze steensoorten te gebruiken op plaatsen waar het risico op vervuiling zeer hoog is. Het zou daar namelijk zeer veel energie (druk, warmte) vergen om vervuilende elementen die in gesteenten met een hoge open porositeit zijn gedrongen, te verwijderen.

Anderzijds kan, om de gevoeligheid voor vervuiling van natuursteenverhardingen te verminderen, een oppervlakbehandeling (bijvoorbeeld met silanen, siloxanen of teflon) worden toegepast, die maakt dat olie of andere vette substanties minder snel in de poriën van de steen kunnen dringen. De effectiviteit van deze behandeling varieert wel sterk met het gebruikte product en de aard en intensiteit van het verkeer op de verharding (zie TV 140 [52]). Een periodieke herhaling is dan ook in de meeste gevallen noodzakelijk.

## 5.4 Onkruidbeheersing

### 5.4.1 Onkruidgroei op natuursteenverhardingen

Onkruidgroei op verhardingen bestrijden en voorkomen blijft een actueel thema, des te meer omdat het gebruik van herbiciden in openbare ruimten in België sinds kort sterk beperkt of zelfs volledig verboden is – zoals verduidelijkt in de *Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen – A 84/12* [43]. Aangezien voegen het vatbaarst zijn voor vuilopstapeling en onkruidgroei, doet dit probleem zich vooral voor bij elementenverhardingen zoals keibestratingen met soms zeer brede, ongebonden voegen. Het is dan ook van belang hiermee rekening te houden bij het ontwerp en de uitvoering van natuursteenverhardingen, of bepaalde keuzen af te stemmen op het latere risico op onkruidgroei.



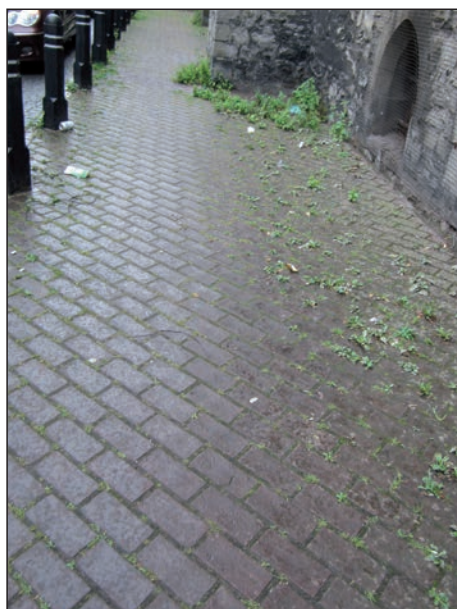
**Figuur 5.12** – Onkruidgroei



Onderzoek heeft aangetoond dat er alleszins geen duidelijk verband is tussen de **materiaalsoort** (bijvoorbeeld beton, klei of natuursteen) van de straatstenen (bij vergelijkbare voegbreedte) enerzijds en de onkruidgroei anderzijds. De **straatsteensoort** (formaat, vorm, afmetingen) bepaalt echter wel mee de voegbreedte en het percentage voegen in het verhardingsoppervlak, zodat zij samen met de toegepaste voegvulling wel een duidelijke invloed op de onkruidgroei kan hebben. Hieronder worden de voornaamste aandachtspunten in verband met onkruidbeheer op natuursteenverhardingen beschreven, alsook de onkruidbestrijding die, indien nodig, achteraf moet plaatsvinden. Voor meer details wordt verwezen naar publicatie *Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op bestratingen met kleinschalige elementen* – A 84/12 [43] van het OCW.

## 5.4.2 Aandachtspunten bij het ontwerp

In de eerste plaats komt het erop aan het risico of de kans op onkruidgroei sterk te beperken, om problemen achteraf te vermijden. Zo is betreding of overrijden van de bestrating door verkeer de eerste en misschien wel beste manier van onkruidbestrijding. De verharding dient dus goed op het verwachte gebruik te worden afgestemd, aangezien de gebruiksintensiteit ook bepalend zal zijn voor de onkruidgroei die op een bepaalde plaats mag worden verwacht (zie figuur 5.13 links). Vooral bij elementenverhardingen van verkeerscategorie III of IV (zie tabel 3.2) zal onkruidbeheer dus van belang zal zijn. Zo zal de kans op onkruidgroei bij een parking van 200 m<sup>2</sup> met minder dan tien aan- en afrijdende voertuigen per dag zo groot zijn, dat het aangewezen is extra maatregelen te nemen om onkruidgroei tegen te gaan. Als alternatief kan hier ook bewust voor een iets groener aanzien (bv. “groene” voegen, zie figuur 5.13 rechts) worden gegaan.



**Figuur 5.13** – Invloed van gebruiksintensiteit op onkruidgroei (links) en afstemming van onkruidbeheer op deze intensiteit (rechts)

Voorts moet vervuiling van de voegen met organisch materiaal (grond, afgevallen bladeren, enz.) zoveel mogelijk worden vermeden, omdat dit een ideale voedingsbodem voor onkruidgroei op de bestrating vormt. In dit opzicht brengen aanliggende groenzones of een bosrijke omgeving een sterk verhoogd risico op onkruidgroei met zich mee. Hierop kan worden ingespeeld door de voegvulling aan te passen, een fysieke scheiding tussen groenzone en verharding aan te brengen, en geregeld onderhoud van de flexibele voegen door bijvullen te voorzien.

Vooraf bij een flexibele wijze van bestraten met **ongebonden materialen** voor zowel de voegvulling als de straatlaag kunnen op plaatsen met een hoog risico op onkruidgroei (aanliggende groenzone, weinig

intensief gebruik, enz.) snel problemen met ongewenste plantengroei rijzen. Het kan dan aangewezen zijn de keuzen voor deze materialen aan te passen (zie § 5.4.3) en/of hiermee rekening te houden bij het benodigde onderhoud achteraf.

Ten slotte dient ook in het ontwerp van de verharding al een afstemming te worden gemaakt op het toekomstige beheer dat men voor ogen houdt, voor de vlotte passage van machines voor niet-chemische onkruidbestrijding:

- hou rekening met de werkbreedte van de machines (veelal tussen 1,2 en 1,6 m): minimale afstand tussen obstakels, zo weinig mogelijk of demonteerbare obstakels, enz.;
- creëer zo weinig mogelijk niveauverschillen, maak vloeiende overgangen tussen rijbaan en fietspad of trottoir, gebruik afgeronde goten en trottoirbanden met afgeschuinde hoeken, enz.



**Figuur 5.14** – Aandacht in het ontwerp voor machinaal onderhoud achteraf: voldoende afstand tussen of verwijderbare obstakels, vloeiende overgang tussen rijbaan en fietspad of trottoir, straatgoot tussen parkeervoorziening en rijbaan, enz.

### 5.4.3 Keuze van de voegvulling en de straatlaag

Bij toepassingen van bestratingen volgens het flexibele concept op locaties met een hoog risico op onkruidgroei (bosrijke omgeving, weinig intensief gebruik en brede, ongebonden voegen) dient dit risico in rekening te worden gebracht bij de keuze van de soort van voegvulling en straatlaag.

Indien de regels voor de straatlaag worden gevolgd en voor een open straatlaag (grof aggregaat d/D met  $d > 0$ , bv. steenslag 2/4 of 2/6,3) of voor een straatlaag met een beperkte hoeveelheid fijn materiaal wordt gekozen, zal het onkruid minder snel groeien dan bij een meer gesloten straatlaag (zie figuur 5.15).



Voor de keuze van de voegvulling dient rekening te worden gehouden met de breedte van de voegen. De maximale korrelmaat bedraagt 1 mm voor smalle voegen of 0,8 maal de voegbreedte voor bredere voegen (10-15 mm), waarbij de fijne fractie (< 63 µm) beperkt is. De beperking van het gehalte aan fijne bestanddelen tot hoogstens 4 of zelfs 3 % heeft ook een gunstig effect op het veronkruidingsrisico.



**Figuur 5.15** – Invloed van straatlaagmateriaal op onkruidgroei in een voegvulling van vervuilde kalksteen 0/6,3 - Links: open straatlaag van porfier 2/6,3; rechts: gesloten straatlaag van kalksteen 0/6,3

In geval van nog bredere voegen en/of openingen op plaatsen met een verhoogd risico op onkruidgroei kan toepassing van innovatieve, maar voldoende waterdoorlatende voegvullingen zoals grof, met zout verrijkt zand 0/4 of met epoxyhars gebonden zand aangewezen zijn, om onkruidgroei in de brede waterdoorlatende voegen tegen te gaan. Als alternatief kan ook naar een stijve wijze van bestraten worden gegrepen, met geheel gebonden, ondoorlatende voegmaterialen.

#### 5.4.4 Niet-chemische onkruidbestrijding

De gangbaarste alternatieve, niet-chemische onkruidbestrijdingstechnieken (borstelen, branden, hete lucht, stomen, enz.), evenals de toepasbaarheid, effectiviteit en geïntegreerde toepassing ervan, staan gedetailleerd beschreven in hoofdstuk 4 van de *Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen* – A 84/12 [43].

Bij de keuze van de techniek zal ook de aard van de verharding een rol spelen. Zo zijn stalen onkruidborstels op natuursteenverhardingen met brede (> 6 mm), ongebonden voegen niet aangewezen vanwege het risico op uitborstelen van de ongebonden voegvulling, en is deze techniek evenmin inzetbaar op krasgevoelige natuursteensoorten. Op geslepen verhardingen van natuursteen is dan weer branden af te raden, wegens het risico op kleurverbleking.



**Figuur 5.16** – Verschillende niet-chemische onkruidbestrijdingstechnieken

Voor gebonden natuursteenverhardingen volstaat het doorgaans het oppervlak regelmatig te vegen om het vrij van onkruidgroei en vervuiling te houden. Voor elementenverhardingen met ongebonden voegen zullen echter, afhankelijk van de aanvangssituatie, de aanwezige onkruidflora en het risico op onkruidgroei, verschillende technieken moeten worden gecombineerd/geïntegreerd om op een duurzame, niet-chemische manier een bepaald gewenst straatbeeld te verkrijgen.

## 5.5 Preventief onderhoud

Dit onderhoud is noodzakelijk om de functie en het serviceniveau van de verharding aan te houden en het comfort en de veiligheid van de weggebruiker in de tijd te waarborgen. Algemeen dienen natuursteenverhardingen regelmatig te worden geïnspecteerd, om onderhoudsmaatregelen te kunnen inplannen. De frequentie van de inspecties is afhankelijk van de opbouw (zie tabel 3.4) en de belasting (*meer bepaald het type en de intensiteit van het verkeer*). Nadere informatie is terug te vinden in OCW Meetmethode *Visuele inspectie voor wegennetbeheer* - MN 89/15 [53], onder meer ook voor elementenverhardingen. Bij natuursteenverhardingen dienen jaarlijks toch minimaal twee visuele inspecties te worden uitgevoerd.

Preventief onderhoud is erop gericht versnelde schadeontwikkeling in de verharding tegen te gaan of te voorkomen. Het kan bestaan in:

- hervullen van lege voegen;
- herstellen van lokale verzakkingen;
- vervangen van beschadigde elementen;
- herstel van de oppervlakkenmerken en in het bijzonder de stroefheid van de verharding (bijvoorbeeld in geval van tegelbestratingen).

### 5.5.1 Onderhoud van de voegen

Als voegen over de volle diepte beschadigd zijn, dient het voegvullingsmateriaal volledig te worden verwijderd en vervangen, tot op het niveau van de straatlaag. Zijn ze slechts gedeeltelijk uitgehold/uitgediept, dan hoeft de voegvulling niet integraal te worden vervangen, maar de diepte van het herstelde deel dient dan wel minstens de helft van de dikte van het verhardingselement (straatkei of tegel) te bedragen.



**Figuur 5.17** – Lokale schade aan voegen in een natuursteenverharding (Foto: Febenat)

### 5.5.1.1 Ongebonden voegen

Bij verlies van zand of steenslag uit de voegen is het van belang de oorzaken hiervan na te gaan. Mogelijk houden zij verband met de verkeersbelasting of de intensiteit van de reiniging (verhoogde frequentie of uitzuigdruk). Ook watertoevloed, al dan niet gepaard gaand met pompeffecten (zie § 5.2.4.1), kan echter een rol spelen.

Als de kwaliteit van het oude, gebruikte voegmateriaal aan de basis ligt, dient dit materiaal uiteraard te worden vervangen door nieuw voegzand of steenslag van gepaste kwaliteit (zie § 2.4.2 in hoofdstuk 2) of een ander voegmateriaal dat compatibel is met de toegepaste opbouw en de bijbehorende verkeersbelasting (bijvoorbeeld polymeerzand of epoxy mortel).

### 5.5.1.2 Gebonden materialen

Bij gebonden voegmortel zijn tijdig onderhoud en snel verhelpen van lokale problemen ook van het grootste belang om ergere schade op lange termijn te voorkomen. Aangeraden wordt de voegen regelmatig – om de zes maanden en minstens eenmaal na de winter – te controleren en opnieuw in te voegen en/of bij te werken waar nodig. Daarbij dient de uitgehaalde voeg voldoende en goed te worden gereinigd (door uitblazen en/of met water onder hoge druk) alvorens de nieuwe mortel aan te brengen, om een goede hechting tussen het nieuwe en het oude materiaal en met de zijkanten van de bestratingselementen te verkrijgen.

Bij gebrek aan onderhoud zullen schade en mogelijke scheuren verder groeien in de tijd en uiteindelijk bewegingen ter hoogte van de elementen veroorzaken.

## 5.5.2 Vervanging van natuurstenen elementen

Het is belangrijk losliggende, gebroken of verbrokkelde elementen snel te vervangen om waterinfiltratie, die funest is voor de stabiliteit van de verharding op langere termijn, te voorkomen.

Het type en de vorm van de elementen dienen daarbij uiteraard ook in acht te worden genomen. Voor dringende en tijdelijke herstellingen kunnen bitumineuze producten of cementgebonden materialen (reparatiemortel, beton, enz.) worden gebruikt, maar voor de langere termijn bieden zij geen goede oplossing.



**Figuur 5.18** – Tijdig herstellen van lokale schade aan natuursteenverhardingen door vervanging van beschadigde elementen (Foto's: Febenat)



### 5.5.3 Oppervlakbehandeling in situ

Wanneer de oppervlakkenmerken en vooral de stroefheid van een natuursteenverharding niet (meer) voldoen, is het mogelijk de textuur van het oppervlak *ter plaatse* te verbeteren met behulp van verscheidene technieken zoals boucharderen of vlam- of gritstralen. Uiteraard is het aangewezen al bij het ontwerp daarmee rekening te houden en bijvoorbeeld polijstgevoelige gesteenten te vermijden op plaatsen met veel verkeer.

## 5.6 Curatief onderhoud

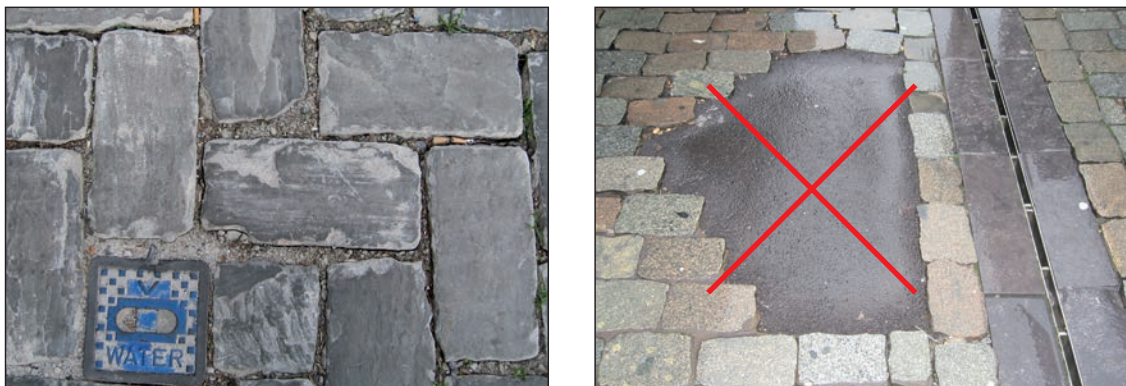
Curatieve onderhoudsmaatregelen kunnen nodig zijn in geval van (vaak meer uitgebreide) schade als gevolg van:

- geen (of **onvoldoende**) preventief onderhoud;
- een te krappe dimensionering van de wegconstructie ten aanzien van de verkeersbelasting;
- lokale schade met verlies van materiaal (bijvoorbeeld pompeffecten).

Het kan gaan om herstelling van de verharding: het geheel van verhardingselementen en straatlaag, of zelfs tot en met de fundering en/of onderfundering. De omvang en vooral ook de oorzaak van de schade zullen, samen met de bijzonderheden van het project (*vooral de wijze van bestraten en de aard van de gebruikte materialen*), de soort en ook de omvang van het curatieve onderhoud bepalen. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot heraanleg van zones met instabiliteiten in de opbouw (verzakking in de straatlaag, defect in de fundering, enz.) of herstraten van zones waar voorheen al tijdelijke herstellingen zijn uitgevoerd.

In beide gevallen is het van cruciaal belang eerst de oorzaken van de schade na te gaan (zie § 5.2) en weg te nemen. Daarnaast dienen ook bij het ontwerp en de uitvoering van de herstelling de basisregels voor nieuwe natuursteenverhardingen (zie de hoofdstukken 3 en 4) te worden nageleefd.

Een bijzonder geval vormen werkzaamheden van nutsbedrijven. Wanneer een elementenverharding voor werkzaamheden aan nutsleidingen gedeeltelijk moet worden weggenomen en heraangebracht, moeten dezelfde regels van goede praktijk (zoals verdichting, kwaliteit van de straatlaag en hervullen van de voegen) worden nageleefd en dient de nodige aandacht aan de herstelling te worden geschonken, om achteraf vroegtijdige schade te voorkomen.



**Figure 5.19** – Ook bij werkzaamheden aan nutsleidingen dienen de basisregels voor natuursteenverhardingen te worden nageleefd

In het ergste geval kan curatief onderhoud ook in reconstructie (geheel of gedeeltelijk) of volledige renovatie van de natuursteenverharding bestaan, als de schade bijvoorbeeld te ver gevorderd is.

## 5.7 Reconstructie of renovatie

Bij reconstructie van een natuursteenverharding kan het gaan om:

- **gedeeltelijke heraanleg:** reconstructie van een zone in de verharding over de volle breedte van de weg (bijvoorbeeld bij herinrichting van openbare ruimte) of reconstructie van de volledige wegconstructie – tot en met de fundering – over een beperkte breedte van de verharding (bijvoorbeeld werkzaamheden aan nutsleidingen, zie hierboven);
- **complete renovatie van een wegconstructie met natuursteenverharding.**



**Figuur 5.20** – Hergebruik van oude straatkeien bij volledige heraanleg van een natuursteenbestrating

Alvorens werkzaamheden voor de volledige reconstructie of renovatie van een natuursteenverharding (al dan niet op een identieke wijze als voorheen) worden gepland, dienen uiteraard ook de schadeverschijnselen en -oorzaken grondig te worden geanalyseerd en moet de wegoopbouw eventueel worden aangepast om een duurzame nieuwe verharding te verkrijgen.

In bepaalde gevallen kan de heraanleg ook met **hergebruik** van de ter plaatse uitgehaalde elementen gebeuren. Materialen afkomstig van constructies die volgens de “flexibele wijze van bestraten” zijn aangelegd, zullen daarbij na opbreken gemakkelijker te recupereren zijn. Bij gebonden elementenverhardingen is dat uiteraard veel moeilijker en zal dat meer werk (sorteren, schoonmaken van elementen, enz.) en enig verlies van materiaal met zich meebrengen. Aansluitend kan ook een nabehandeling (bijvoorbeeld afzagen van het kopvlak, vlammen van het oppervlak, enz.) nodig zijn alvorens de stenen kunnen worden hergebruikt.

Tegenwoordig komen steeds meer hergebruikte natuursteenproducten op de markt voor wegenwerken. Deze trend zal zich in de huidige context van een kringlooeconomie wellicht doorzetten. De status van deze materialen blijft echter onduidelijk of onbestaand, aangezien de productnormen niet van toepassing zijn op een product dat al een zekere afslijting, eventuele onderhoudsfasen of demontage ondergaan heeft. Bovendien zijn de proeven die de normen voorschrijven soms onuitvoerbaar om verschillende redenen, eigen aan deze hergebruikte materialen. Tot op heden bestaat voor de keuring van deze gerecyclede producten echter nog geen algemeen aanvaard of officieel controleprotocol waarmee hetzelfde kwaliteitsniveau kan worden gewaarborgd als met “nieuwe” bestratingselementen.



**Figuur 5.21** – Natuursteenbestrating voor, tijdens en na renovatie met hergebruik van bestaande straatkeien van Zweeds graniet



## Literatuur

- [1] **de Barquin, F.; Nicaise, D.; Bams, V. (2006)**  
*Natuursteen*  
 Brussel : Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB). (Technische Voorlichtingen WTCB (TV), 228). Interactieve en evolutieve TV. Online raadpleegbaar [www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=tv-nit&pag=228&lang=nl](http://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=tv-nit&pag=228&lang=nl), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [2] **Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten; Belgian Construction Certification Association (2005)**  
*Classificatie van gesteenten.*  
 Zellik; Brussel : COPRO; BCCA. (Technische Voorschriften (PTV), 844). Versie 1.0., online raadpleegbaar [www.copro.eu/nl/document/ptv-844-10-classificatie-van-gesteenten](http://www.copro.eu/nl/document/ptv-844-10-classificatie-van-gesteenten), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [3] **Bureau voor Normalisatie (2008)**  
*NBN EN 12440 – Natuursteen : benamingscriteria.*
- [4] **Cohen, K.M.; Finney, S.C.; Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2017)**  
*The ICS International Chronostratigraphic Chart.*  
 Episodes 36: 199-204.  
 Online raadpleegbaar [www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale](http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [5] **de Barquin, F. (2001)**  
*Belgische blauwe hardsteen of “Petit granit” uit het Tournaisiaanse geologische tijdperk.*  
 Brussel : Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB). (Technische Voorlichtingen WTCB (TV), 220).
- [6] **Bureau voor Normalisatie (2013)**  
*NBN EN 1341 – Natuursteentegels voor buitenbestrating : eisen en beproevingsmethoden.*
- [7] **Bureau voor Normalisatie (2013)**  
*NBN EN 1342 – Keien van natuursteen voor buitenbestrating : eisen en beproevingsmethoden.*
- [8] **Bureau voor Normalisatie (2013)**  
*NBN EN 1343 – Trottoirbanden in natuursteen : eisen en beproevingsmethoden.*
- [9] **Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2016)**  
*Buitenplaveien van natuursteen.*  
 Zellik : COPRO. (Technische Voorschriften (PTV), 841). Versie 1.11 van 2016-11-30, niet gepubliceerd, wordt herzien.  
 Huidige versie:  
**Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2005)**  
*Buitenplaveien van natuursteen.*  
 Zellik : COPRO. (Technische Voorschriften (PTV), 841). Versie 1.0, online raadpleegbaar [www.copro.eu/nl/document/ptv-841-10-buitenplaveien-van-natuursteen](http://www.copro.eu/nl/document/ptv-841-10-buitenplaveien-van-natuursteen), laatst geraadpleegd 06/09/2017.



- [10] **Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2016)**  
*Straatkeien van natuursteen.*  
 Zellik : COPRO. (Technische Voorschriften (PTV), 842). Versie 1.14 van 2016-11-30, niet gepubliceerd, wordt herzien.  
 Huidige versie:  
**Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2005)**  
*Straatkeien van natuursteen.*  
 Zellik : COPRO. (Technische Voorschriften (PTV), 842). Versie 1.0, online raadpleegbaar [www.copro.eu/nl/document/ptv-842-10-sstraatkeien-van-natuursteen](http://www.copro.eu/nl/document/ptv-842-10-sstraatkeien-van-natuursteen), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [11] **Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2016)**  
*Boordstenen van natuursteen.*  
 Zellik : COPRO. (Technische Voorschriften (PTV), 843). Versie 1.10 van 2016-11-30, niet gepubliceerd, wordt herzien.  
 Huidige versie:  
**Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2005)**  
*Boordstenen van natuursteen.*  
 Zellik : COPRO. (Technische Voorschriften (PTV), 843). Versie 1.0., online raadpleegbaar [www.copro.eu/nl/document/ptv-843-10-boordstenen-van-natuursteen](http://www.copro.eu/nl/document/ptv-843-10-boordstenen-van-natuursteen), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [12] **Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer (2016)**  
*Standaardbestek 250 voor de wegenbouw [versie 3.1a].*  
 Brussel : Vlaamse Overheid (AWV).  
 Online raadpleegbaar <http://wegenenverkeer.be/documenten>, laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [13] **Service Public de Wallonie - Direction Générale Opérationnelle des Routes et des Bâtiments (2012 Version 2016 consolidée)**  
*CCT Qualiroutes : cahier des charges-type.*  
 Namur : Service Public de Wallonie (SPW).  
 Online raadpleegbaar <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/index.html>, laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [14] **Brussels Hoofdstedelijk Gewest (2015)**  
*TB 2015 : typebestek betreffende wegeniswerken in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.*  
 Brussel : Brussels Hoofdstedelijk Gewest.  
 Online raadpleegbaar <https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/tb2015.pdf>, laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [15] **Bureau voor Normalisatie (2002)**  
*NBN EN 12670 – Natuursteen : terminologie.*
- [16] **Bureau voor Normalisatie (2007)**  
*NBN EN 1936 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de werkelijke dichtheid en de schijnbare dichtheid en van de totale poreusheid en open poreusheid.*
- [17] **Bureau voor Normalisatie (2007)**  
*NBN EN 13755 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van waterabsorptie bij atmosferische druk.*
- [18] **Bureau voor Normalisatie (1999)**  
*NBN EN 1925 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de waterabsorptiecoëfficiënt door capillaire werking.*

- [19] **Bureau voor Normalisatie (2005)**  
*NBN EN 14581 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de lineaire thermische uitzettingscoëfficiënt.*
- [20] **Bureau voor Normalisatie (2007)**  
*NBN EN 1926 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de eenassige druksterkte.*
- [21] **Bureau voor Normalisatie (2007)**  
*NBN EN 12372 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de buigsterkte bij geconcentreerde belasting.*
- [22] **Bureau voor Normalisatie (2003)**  
*NBN EN 14231 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de weerstand tegen uitglijden door middel van de slingermethode.*
- [23] **Bureau voor Normalisatie (2010)**  
*NBN EN 12371 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de vorstbestandheid.*
- [24] **Bureau voor Normalisatie (2004)**  
*NBN EN 14157 – Natuursteen : bepaling van de slijtweerstand.*
- [25] **Bureau voor Normalisatie (2003)**  
*NBN EN 13373 – Beproevingmethoden voor natuursteen : bepaling van de geometrische eigenschappen van natuursteenproducten.*
- [26] **Europese Unie (2011)**  
*Verordening (EU) Nr. 305/2011 van het Europees Parlement en de Raad van 9 maart 2011 tot vaststelling van geharmoniseerde voorwaarden voor het verhandelen van bouwproducten en tot intrekking van richtlijn 89/106/EEG van de Raad.*  
In : Publicatieblad van de Europese Unie, 04/04/2011, L88, blz. 5-43. Online raadpleegbaar <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:NL:PDF>, laatst geraadpleegd 02/08/2017.
- [27] **Europese Gemeenschappen (1989)**  
*Richtlijn van de Raad van 21 december 1988 betreffende de onderlinge aanpassing van de wettelijke en bestuursrechtelijke bepalingen der Lid-Staten inzake voor de bouw bestemde producten.*  
In : Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, 11/02/1989, L40, blz. 12-26. Online raadpleegbaar <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31989L0106&from=EN>, laatst geraadpleegd 02/08/2017.
- [28] **Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2013)**  
*Toepassingsreglement voor het gebruik en de controle van het ATG-BENOR-merk in de sector van tegels, straatstenen en boordstenen van natuursteen.*  
Zellik : COPRO. (Toepassingsreglement, TRA 19), versie 2.0. Online raadpleegbaar [www.copro.eu/nl/document/tra-19-20-toepassingsreglement-voor-het-gebruik-en-de-controle-van-het-atg-benor-merk-de](http://www.copro.eu/nl/document/tra-19-20-toepassingsreglement-voor-het-gebruik-en-de-controle-van-het-atg-benor-merk-de), laatst geraadpleegd 02/08/2017.
- [29] **Bureau voor Normalisatie (2002+A1 : 2008)**  
*NBN EN 13242 – Toeslagmaterialen voor ongebonden en hydraulisch gebonden materialen voor burgerlijke bouwkunde en wegebouw.*

- [30] **BE-CERT (2014)**  
*Codificatie van de granulaten overeenkomstig de normen NBN EN 12620, NBN EN 13043, NBN EN 13139 en NBN EN 13242.*  
Brussel : BE-CERT. (Technische Voorschriften (PTV), 411). Editie 2.1.  
In januari 2017 vervangen door:  
**BE-CERT (2017)**  
*Codificatie van de granulaten overeenkomstig de normen NBN EN 12620, NBN EN 13043, NBN EN 13139 en NBN EN 13242.*  
Brussel : BE-CERT. Uitgave 2.3,  
Online raadpleegbaar [www.be-cert.be/nl/documents/reglement-benor.html](http://www.be-cert.be/nl/documents/reglement-benor.html), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [31] **Bureau voor Normalisatie (2009+AC)**  
*NBN EN 12003 – Mortels en lijmen voor tegels : bepaling van de afschuifsterkte van reactieharlijmen.*  
In maart 2017 vervangen door:  
**Bureau voor Normalisatie (2017)**  
*NBN EN 12004-2 – Adhesives for ceramic tiles. Part 2, test methods.*
- [32] **Bureau voor Normalisatie (1999)**  
*NBN EN 1542 – Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies. Beproevingmethoden : bepaling van de hechtsterkte door middel van de afbreekproef.*
- [33] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2006)**  
*Handleiding voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies.*  
Brussel : OCW. (Aanbevelingen, ISSN 1376-9332, A 78).  
Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/a7806](http://www.brrc.be/nl/artikel/a7806), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [34] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2010)**  
*Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen.*  
Brussel : OCW. (Aanbevelingen, ISSN 1376-9332, A 81).  
Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/a8110](http://www.brrc.be/nl/artikel/a8110), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [35] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2010)**  
*Stabilisatie van grond voor onderfunderingslagen : praktijkgids (2).*  
Brussel : OCW. (Aanbevelingen, ISSN 1376-9332, A 81-2).  
Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/a8110](http://www.brrc.be/nl/artikel/a8110), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [36] **Bureau voor Normalisatie (2013)**  
*NBN EN 14227-1 – Hydraulisch gebonden mengsels : specificaties. Deel 1, met cement gebonden mengsels van korrelvormige materialen.*
- [37] **Bureau voor Normalisatie (2013)**  
*NBN EN 14227-2 – Hydraulisch gebonden mengsels : specificaties. Deel 2, met slak gebonden mengsels van korrelvormige materialen.*
- [38] **Bureau voor Normalisatie (2013)**  
*NBN EN 14227-3 – Hydraulisch gebonden mengsels : specificaties. Deel 3, met vliegglas gebonden mengsels van korrelvormige materialen.*
- [39] **Bureau voor Normalisatie (2013)**  
*NBN EN 14227-5 – Hydraulisch gebonden mengsels : specificaties. Deel 5, met hydraulische wegbindmiddelen gebonden mengsels van korrelvormige materialen.*

- [40] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2014)**  
*Handleiding voor de bescherming van wegconstructies tegen de inwerking van water.*  
 Brussel : OCW. (Aanbevelingen, ISSN 1376-9332, A 88).  
 Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/a8814](http://www.brrc.be/nl/artikel/a8814), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [41] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2009)**  
*Handleiding voor het ontwerp en de uitvoering van verhardingen in betonstraatstenen.*  
 Brussel : OCW. (Aanbevelingen, ISSN 1376-9332, A 80).  
 Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/a7806](http://www.brrc.be/nl/artikel/a7806), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [42] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW) (2009)**  
*Verhardingen voor fietsvoorzieningen: aanbevelingen voor het ontwerp, de aanbrenging en het onderhoud.* Brussel : Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. (Fietsvademeccum Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 5). Online raadpleegbaar [https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/vm-5-revetements\\_nl\\_web.pdf](https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/vm-5-revetements_nl_web.pdf), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [43] **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2012)**  
*Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen.*  
 Brussel : OCW. (Aanbevelingen, ISSN 1376-9332, A 84).  
 Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/a8412](http://www.brrc.be/nl/artikel/a8412), laatst geraadpleegd 06/09/2017.
- [44] **Association française de normalisation (2007)**  
*NF P98-335 – Chaussées urbaines : mise en œuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle.*
- [45] **ASTM International (2004, Reapproved 2013)**  
*ASTM D1751-04 – Standard Specification for Preformed Expansion Joint Filler for Concrete Paving and Structural Construction (Nonextruding and Resilient Bituminous Types).*
- [46] **ASTM International (2004, Reapproved 2013)**  
*ASTM D1752-04a – Standard Specification for Preformed Sponge Rubber Cork and Recycled PVC Expansion Joint Fillers for Concrete Paving and Structural Construction.*
- [47] **Bureau voor Normalisatie (2005)**  
*NBN EN 14188-2 – Voegvulmiddelen en afdichtingsmaterialen. Deel 2, specificaties voor koud aangebrachte voegafdichtingsmaterialen.*
- [48] **Bureau voor Normalisatie (2012)**  
*NBN EN 15651-4 – Afdichtingsproducten voor niet-dragende toepassingen in voegen van gebouwen en voetpaden. Deel 4, afdichtingsproducten voor voetpaden.*  
 In augustus 2017 vervangen door:  
**European Committee for Standardization (2017+AC)**  
*EN 15651-4:2017 – Sealants for non-structural use in joints in buildings and pedestrian walkways. Part 4, sealants for pedestrian walkways.*
- [49] **van den Berk, Jan; van den Berk, Paulus (2015)**  
*van den Berk over bomen.*  
 Sint-Oedenrode : Boomkwekerij Gebr. Van den Berk B.V. Tweede editie.
- [50] **International Organization for Standardization (2006)**  
*ISO 14040 – Environmental management. Life cycle assessment : principles and framework.*

**[51] De Bruyn, R.; Pien, A. (1995)**

*Gevelreiniging.*

Brussel : Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB).  
(Technische Voorlichtingen WTCB (TV), 197). Vervangt TV 121.

**[52] Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (1982)**

*Vochtwerende oppervlakteprodukten.*

Brussel : WTCB. (Technische Voorlichtingen WTCB (TV), 140).

In 2002 vervangen door :

**Pien, A.; De Bruyn, R. (2002)**

*Waterwerende oppervlaktebehandeling : keuze en verwerking.*

Brussel : Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB).  
(Technische Voorlichtingen WTCB (TV), 224).

**[53] Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2015)**

*Visuele inspectie voor wegennetbeheer.*

Brussel : OCW. (Meetmethode, ISSN 1376-9316, MN 89).

Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/mn8915](http://www.brrc.be/nl/artikel/mn8915), laatst geraadpleegd 06/09/2017.



## Andere nuttige documenten



## Naslagwerken

**Tomasek, Mario Johannes (2014)**

*Natural stone pavings : theory and practice from planning to performing.*

s.l. : Pavingtools Carola Tomasek.

**Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF) (2010)**

*Pierres naturelles. Conception et réalisation de voiries et d'espaces publics.*

Paris: Editions RGRA.

**Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques (2008)**

*Les pierres naturelles en voirie urbaine : dimensionnement et mode de pose.*

Paris : CERTU.



## Productnormen

**Bureau voor Normalisatie (2014)**

*NBN EN 197-2 – Cement. Deel 2, overeenkomstigheidsbeoordeling.*

**Bureau voor Normalisatie (2011)**

*NBN EN 197-1 – Cement. Deel 1, samenstelling, specificatie en overeenkomstigheidscriteria voor gewone cementsoorten.*

**Bureau voor Normalisatie (2002)**

*NBN EN 1008 – Aanmaakwater voor beton : specificatie voor monsterneming, beproeving en beoordeling van de geschiktheid van water, inclusief spoelwater van reinigingsinstallaties in de betonindustrie, als aanmaakwater voor beton.*



## Beproevingnorm

### **Bureau voor Normalisatie (2007)**

*NBN EN 12407 – Beproevingmethoden voor natuursteen : petrografisch onderzoek.*

## PTV

### **Onpartijdige Instelling voor de Controle van Bouwproducten (2015)**

*Bijlage aan de technische voorschriften voor wegenisproducten in natuursteen : technische voorschriften voor carbonaatrijk sedimentair gesteente.*

Zellik : COPRO. (Technische Voorschriften (PTV), 845). Deze technische voorschriften zijn een aanvulling op PTV 841, PTV 842, PTV 843 en PTV 844. Versie 1.0, online raadpleegbaar [www.copro.eu/nl/document/ptv-845-10-bijlage-aan-de-technische-voorschriften-voor-wegenisproducten-natuursteen](http://www.copro.eu/nl/document/ptv-845-10-bijlage-aan-de-technische-voorschriften-voor-wegenisproducten-natuursteen), laatst geraadpleegd 06/09/2017.

## TV

### **Pien, A.; De Bruyn, R. (2009)**

*Keramische binnenvloerbetegelingen.*

Brussel : Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB). (Technische Voorlichtingen WTCB (TV), 237).

## OCW-publicatie

### **Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (2010)**

*Verbetering van grond bij grondwerken en voor het baanbed : praktijkgids (3).*

Brussel : OCW. (Aanbevelingen, ISSN 1376-9332, A 81-3).

Online raadpleegbaar [www.brrc.be/nl/artikel/a8110](http://www.brrc.be/nl/artikel/a8110), laatst geraadpleegd 06/09/2017.

## Andere openbare documenten

### **Vlaams Ministerie van Mobiliteit en Openbare Werken - Agentschap Wegen en Verkeer - Afdeling Verkeerskunde (2010)**

*Toegankelijk Publiek Domein Vademecum.*

Brussel : MOW. Online raadpleegbaar [www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/toegankelijk-publiek-domein-vademecum](http://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/toegankelijk-publiek-domein-vademecum), laatst geraadpleegd 06/09/2017.

### **Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest; Belgische Confederatie voor Blinden en Slechtzienden (BCBS) (2008)**

*Vademecum personen met beperkte mobiliteit in publieke ruimte.*

Brussel : Ministerie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

### **Ministère de la région wallonne**

*Code wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, du patrimoine et de l'énergie : CWATUPE.*

Online raadpleegbaar <https://wallex.wallonie.be/index.php?doc=1423>, laatst geraadpleegd 06/09/2017.



Ressorterende en steunende leden krijgen de nieuwe OCW-publicaties kosteloos toegestuurd. Alle publicaties zijn gratis downloadbaar na registratie op onze website [www.ocw.be](http://www.ocw.be)

Niet-leden kunnen tegen kostprijs een papieren versie bij het OCW bestellen.

**Deze publicatie bestellen:**

[publication@brrc.be](mailto:publication@brrc.be) – Tel.: +32 (0)2 766 03 26

Kenmerk: A 95 – Prijs: 18,00 €

## ■ Andere publicaties in de reeks “Aanbevelingen”

De handleidingen (referentie A) zijn gericht op de praktijk van het ontwerpen, uitvoeren en onderhouden van wegen. Zij bundelen de bevindingen van werkgroepen die het OCW met betrekking tot welbepaalde onderwerpen heeft opgericht.

Kenmerk	Titel	Prijs
A 88/14	Handleiding voor de bescherming van wegconstructies tegen de inwerking van water	18,00 €
A 84/12	Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen	20,00 €
A 83/12	Handleiding voor het ontwerp, de aanbrenging en het onderhoud van bedekkingen op betonnen brugdekken	32,00 €
A 82/11	Handleiding voor industriële buitenverhardingen in beton	17,00 €
A 81/10	Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen (+ 4 Praktijkgidsen)	26,50 €

## ■ Andere OCW-reeksen

- Researchverslag
- Meetmethode
- Synthese



## Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Uw partner voor duurzame wegen

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947  
Woluwedal 42  
1200 Brussel  
Tel.: 02 775 82 20  
[www.ocw.be](http://www.ocw.be)

Deze handleiding voor natuursteenverhardingen vormt een naslagwerk voor de keuze van de materialen (zowel de natuurstenen bestratingselementen als de voeg- en de straatlaagmaterialen), het ontwerp en de dimensionering van projecten en de aanleg en het onderhoud van wegen met natuursteen. Omdat de fabricage van een natuurstenen bestratingselement in de eerste plaats haar oorsprong vindt in processen die soms honderden miljoenen jaren teruggaan, is een inleiding over geologie heel zinvol, te meer omdat de kenmerken van de steen er nauw mee samenhangen.

In dit naslagwerk wordt rekening gehouden met de evolutie in de uitvoeringstechnieken, die zich de laatste decennia heeft voorgedaan doordat minder traditionele materialen op de markt zijn gekomen.

De handleiding voor natuursteenverhardingen wil een technisch basisdocument vormen voor iedereen die bij een inrichtingsproject met natuursteen betrokken is. Ze is bedoeld voor ontwerpers, architecten, aannemers, publieke of private wegbeheerders, of leveranciers van materialen.

### ITRD-trefwoorden

2972 - VERHARDING ; 4508 - STRAATSTEEN ; 4053 - GEOLOGIE ; 0233 - NATUURLIJKE HULPBRONNEN ; 4555 - BOUWMATERIAAL ; 9011 - DIMENSIONERING ; 2885 - INRICHTING ; 3623 - VERWERKING ; 3847 - ONDERHOUD

**Extra term**  
NATUURSTEEN