

**3**

**BETON MET SPECIFIEKE EISEN OF BIJZONDERE SAMENSTELLINGEN**

In dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij de grote diversiteit van betonsamenstellingen. Voor het berekenen van die samenstellingen kan gebruik worden gemaakt van de richtlijnen zoals die in hoofdstuk 2 zijn besproken, tenzij er specifieke verschillen moeten worden genoemd.

De verschillende betonsamenstellingen zijn te verdelen in betonmengsels met bijzondere specificaties (zoals hogesterktebeton, schoon beton, vloeistofdicht beton e.d.), betonmengsels met hoge duurzaamheid, waarbij wordt stilgestaan bij de aantastingsmechanismen die de levensduur van een betonconstructie nadelig kunnen beïnvloeden, en bij betonmengsels die op een bijzondere wijze worden verwerkt (zoals met een glijbekisting, onderwaterbeton, spuitbeton e.d.).

Een deel van de stof in dit hoofdstuk is direct toe te passen in het ontwerpen van betonmengsels. Daarnaast bevat het hoofdstuk veel achtergrondinformatie, die de betontechnoloog paraat moet hebben om bij problemen de juiste beslissingen te kunnen nemen.

## INHOUDSOPGAVE

Pag.

3.1	Inleiding.....	3-4
3.2	Beton met bijzondere specificaties .....	3-4
3.2.1	Beton met verhoogde sterkte .....	3-4
3.2.1.1	Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering .....	3-5
3.2.1.2	Selectie grondstoffen.....	3-5
3.2.1.3	Mengselontwerp.....	3-6
3.2.1.4	Aandachtspunten bij werken met hogesterktebeton .....	3-7
3.2.2	Beton met afwijkende volumieke massa .....	3-8
3.2.2.1	Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering .....	3-8
3.2.2.2	Selectie grondstoffen.....	3-10
3.2.2.3	Mengselontwerp lichtbeton.....	3-12
3.2.2.4	Mengselontwerp zwaarbeton .....	3-14
3.2.3	Schuimbeton .....	3-15
3.2.3.1	Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering .....	3-15
3.2.3.2	Selectie grondstoffen.....	3-17
3.2.3.3	Mengselontwerp.....	3-18
3.2.3.4	Productie .....	3-18
3.2.4	Vloeistofdicht beton .....	3-18
3.2.4.1	Regelgeving.....	3-19
3.2.4.2	Vloeistofindringingskarakteristiek .....	3-19
3.2.4.3	Waterindringing .....	3-21
3.2.5	Colloïdaal beton.....	3-21
3.2.5.1	Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering .....	3-21
3.2.5.2	Selectie grondstoffen.....	3-21
3.2.5.3	Mengselontwerp.....	3-22
3.2.6	Vezelbeton.....	3-22
3.2.6.1	Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering .....	3-23
3.2.6.2	Selectie grondstoffen.....	3-24
3.2.6.3	Mengselontwerp.....	3-24
3.2.6.4	Beoordeling van vezelbeton .....	3-24
3.3	Bijzondere uitvoeringsmethoden (storten/aanbrengen/verwerken/afwerken) .....	3-25
3.3.1	Glijbekistingen .....	3-25
3.3.1.1	Glijnsnelheid en opstijfgedrag .....	3-25
3.3.1.2	Ontwerpen van betonspecies voor glijbekistingen.....	3-26
3.3.2	Onderwaterbeton .....	3-26
3.3.2.1	Ontwerp.....	3-26
3.3.2.2	Functionies van de vloer .....	3-27
3.3.2.3	Afmetingen.....	3-27
3.3.2.4	Sterkte .....	3-28
3.3.2.5	Duurzaamheid .....	3-28
3.3.2.6	Aanbrengen onderwaterbeton .....	3-29
3.3.2.7	Betonsamenstelling .....	3-29
3.3.2.8	Verwerkbaarheid .....	3-29
3.3.2.9	Samenhang .....	3-30
3.3.2.10	Sterkte(ontwikkeling).....	3-31
3.3.2.11	Ontwikkelingen .....	3-31
3.3.3	Wegenbouwbeton .....	3-32
3.3.3.1	Verwerking met de slipformpaver.....	3-32
3.3.3.2	Eisen aan de samenstelling.....	3-33
3.3.4	Beton voor monoliet afgewerkte vloeren .....	3-33

3.3.4.1	Aandachtspunten met betrekking tot de specie-eigenschappen	3-34
3.3.4.2	Lichte bestanddelen in toeslagmateriaal .....	3-36
3.3.4.3	Losliggende toplaag .....	3-36
3.3.5	Spuitsbeton.....	3-37

## 3.1 Inleiding

Alle beton is met betrekking tot de daaraan gestelde eisen of zijn samenstelling in zekere zin "bijzonder". Betonspecie wordt immers nooit "uit voorraad" geleverd; het wordt voor elke levering en toepassing apart geproduceerd.

Toch onderscheidt een aantal betonsoorten zich, omdat één specifieke eigenschap of omdat de samenstelling opvallend van meer gangbare betonsoorten afwijkt.

Soms is dit omdat aan specifieke eisen moet worden voldaan. In andere gevallen gaat het om bijzondere toepassingen of toevoegingen.

Het is duidelijk dat deze betonsoorten niet in heel duidelijk omschreven "categorieën" kunnen worden ingedeeld. Om bijvoorbeeld aan specifieke eisen te voldoen moeten soms bijzondere grondstoffen of samenstellingen worden toegepast. Dat kan ook nodig zijn indien er geen specifieke eisen aan eigenschappen worden gesteld, maar alleen de manier van verwerken duidelijk afwijkt. In de meeste gevallen verandert er iets bij de selectie van grondstoffen, bij het samenstellen van het beton en soms ook bij de productie, zoals de keuze van de mengprocedure.

In dit hoofdstuk wordt voor deze "bijzondere betonsoorten" de volgende indeling aangehouden:

Beton met bijzondere specificaties: § 3.2

- beton met verhoogde sterkte;
- beton met afwijkende volumieke massa: lichtbeton en zwaarbeton
- schuimbeton
- vloeistofdicht beton
- colloïdaal beton
- vezelbeton

Bijzondere uitvoeringsmethoden: § 3.3

- glijbekistingen
- onderwaterbeton
- wegebouwbeton
- beton voor monoliet afgewerkte vloeren
- spuitbeton

## 3.2 Beton met bijzondere specificaties

### 3.2.1 Beton met verhoogde sterkte

Hoewel de betonvoorschriften gelijke eisen stellen aan de grondstofkeuze en de samenstelling voor de in de voorschriften benoemde sterkteklassen C8/10 t/m C100/115, spreken we in de praktijk bij sterkteklassen hoger dan C50/60 meestal van hogesterktebeton (HSB). Deze benadering kan worden verklaard, omdat boven deze sterkteklasse doorgaans aanvullende eisen moeten worden gesteld bij de selectie van grondstoffen en soms ook speciale mengprocedures nodig zijn.

Beton in hogere sterkteklassen wordt vooral toegepast in op druk belaste constructieonderdelen. Hogesterktebeton combineert hoogwaardige mechanische eigenschappen met een hoge dichtheid en duurzaamheid.

De ontwikkeling van beton in steeds hogere sterkteklassen gaat nog door. In Nederland is al beton gemaakt met een kubusdruksterkte van 200 N/mm<sup>2</sup>. Vanuit experimenten op laboratoriumschaal zijn waarden tot 800 N/mm<sup>2</sup> gerapporteerd.

### 3.2.1.1 *Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering*

Een belangrijke stap om te komen tot een succesvolle toepassing van beton in hoge sterkteklassen is een zorgvuldige afstemming van de eisen uit de projectspecificatie, de mogelijkheden in de uitvoering en de aan het beton te stellen eisen. Ook hier is het belangrijk deze eisen te koppelen aan de eigenschappen in drie stadia of "fasen". Vooroverleg tussen ontwerper, aannemer en betonproducent is meestal noodzakelijk.

1. *Betonspecie*: mengen, transport, storten en verdichten. De producent moet zich realiseren dat de productie en daarbij met name het mengen van beton in hoge sterkteklassen meer tijd en meer mengenergie vraagt. Een praktische consequentie hiervan is dat de productiecapaciteit vermindert. Ook het storten en verdichten vraagt bijzondere aandacht. Betonspecie voor beton in hoge sterkteklassen heeft doorgaans een grote samenhang. Dit maakt de betonspecie moeilijker te verdichten en gevoeliger voor plastische krimp. Om problemen bij de verdichting te voorkomen wordt bij hogesterktebeton vaak gekozen voor een hoge consistentieklasse, zodat de specie als "verdichtingsarm" of zelfs zelfverdichtend kan worden toegepast.
2. *Verhardend beton*: Een hoge eindsterkte gaat veelal gepaard met een snelle sterkteontwikkeling. Dit betekent ook dat de snelheid waarmee de hydratatiewarmte vrij komt hoog is. Met deze warmteontwikkeling moet zowel bij het ontwerp als bij de uitvoering terdege rekening worden gehouden.
3. *Verhard beton*: Een hoge sterkte is in het algemeen gekoppeld aan een hoge duurzaamheid. Hogesterktebeton voldoet bijna "standaard" aan de eisen voor de verschillende milieuklassen met betrekking tot maximale water-cementfactor en minimaal cementgehalte. Het gebruik van speciale vulstoffen zoals silica fume kan wel een (onverwacht) donkere betonkleur opleveren.

### 3.2.1.2 *Selectie grondstoffen*

Het spreekt voor zich dat aan de selectie van de grondstoffen voor beton in hogere sterkteklassen bijzondere aandacht moet worden besteed. Vaak is het "standaardpakket" ontoereikend en moeten sommige grondstoffen speciaal worden ingekocht. Voor sterkteklassen C55/67 en hoger wordt vaak speciaal toeslagmateriaal gebruikt.

De samenwerking van het toeslagmateriaal met de cementmatrix is van belang bij beton in hoge sterkteklassen. Bij het ontwerpen van beton in hoge sterkteklassen spelen daarom ook homogeniteit, pakkingsdichtheid en microstructuur een belangrijke rol.

#### Homogeniteit

Homogene materialen zoals staal en aluminium hebben geringe interne piekspanningen. Beton is echter een heterogeen materiaal: de korrelgroottes, de sterktes en de stijfheden van de toeslagmaterialen en die van de cementsteen variëren sterk. De krachtoverdracht in het beton verloopt voor een groot deel via het korrelskelet, maar dit heeft tegelijkertijd microscheurvorming in de cementsteen en dus achteruitgang in sterkte tot gevolg. Om een hogere sterkte te bereiken moet de homogeniteit van het beton worden verbeterd. Dit bereiken we vooral door het verkleinen van de korrelgrootte van het toeslagmateriaal. Ook de aanhechting tussen cementsteen en toeslagmateriaal is belangrijk; deze kan worden verbeterd door te kiezen voor gebroken toeslagmateriaal.

### Pakkingsdichtheid

Hoe dichter het beton, des te sterker het materiaal. Dicht beton verkrijgen we door de pakkingsdichtheid van het mengsel te vergroten. Hogesterktebeton realiseren we met de gebruikelijke continue zeefkrommes. Nog hogere sterkteklassen zijn bereikbaar als we de korrelopbouw in het fijnste gebied verder optimaliseren.

### Microstructuur

De zwakste schakel in beton is de overgang tussen het toeslagmateriaal en de cementsteen. Door de microstructuur van de cementsteen te verbeteren kan ook de hechting tussen toeslagmateriaal en cementsteen verbeteren, waardoor het beton aanzienlijk sterker wordt. Dat kunnen we bijvoorbeeld realiseren door toepassen van gebroken toeslagmateriaal en toevoegen van silicafume.

#### 3.2.1.3 Mengselontwerp

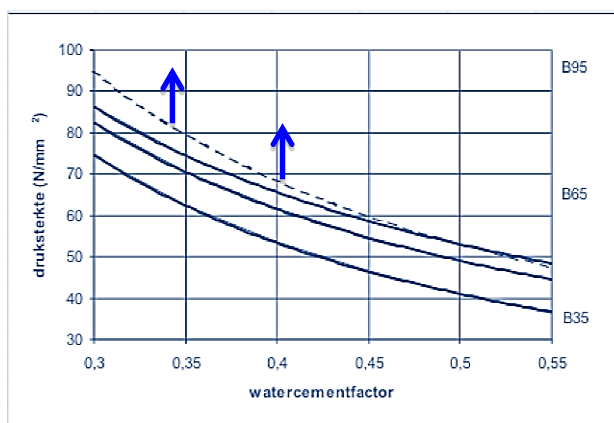
In hoofdstuk 2 "Samenstellen van beton" is vooral gekeken naar traditioneel beton in de gebruikelijke sterkteklassen, ongeveer tot en met sterkteklasse C35/45. Daar speelt de water-cementfactor een sleutelrol in het mengselontwerp. Dat is voor beton in hogere sterkteklassen niet anders. De maximale water-cementfactor in relatie tot de milieuklasse is voor hogesterktebeton feitelijk nooit maatgevend. Bij het ontwerpen van beton met hoge sterkte is de water-cementfactor lager dan 0,45. We moeten er wel rekening mee houden dat de relatie tussen de normsterkte van het cement en de kubusdruksterkte in dit gebied anders is dan bij de "normale" kubusdruksterkten. Zie figuur 3.1.

Bovendien moeten we ons realiseren dat over de relatie water-cementfactor en sterkte in het gebied (veel) lager dan  $wcf = 0,45$  minder bekend is.

De gewenste verwerkbaarheid wordt bereikt door toevoeging van plastificerende hulpstoffen. Met krachtige superplastificeerders (bekend onder de verzamelnaam polycarboxylaten) is dat mogelijk. Vaak is een intensievere menging nodig en soms speciale mengprocedures. Het gebruik van deze hulpstoffen in relatief hoge doseringen betekent tegelijk een hoog risico op ontmenging. Om dit risico te beperken worden zeer fijne vulstoffen zoals silica fume toegevoegd, die bovendien bijdragen aan de druksterkte.

Er bestaan geen simpele, eenduidige regels voor het mengselontwerp en al zeker geen standaardrecepten. Daarvoor heeft de interactie tussen de gebruikte grondstoffen een te grote invloed op de te bereiken prestaties. Daarom is bij het ontwerpen van beton in de hogere sterkteklassen geschiktheidsonderzoek noodzakelijk, tenzij uitgebreide ervaring met de toe te passen grondstoffen en samenstellingen beschikbaar is.

De wijze van uitvoeren van dit geschiktheidsonderzoek en de criteria voor de beoordeling van de resultaten zijn beschreven in Annex A van de NEN-EN 206.



Figuur 3.1 Relatie tussen water-cementfactor en druksterkte.

#### 3.2.1.4 Aandachtspunten bij werken met hogesterktebeton

De verwerking van de betonspecie voor beton met hoge sterkte vraagt bijzondere aandacht. De hoge mengselstabiliteit maakt verdichten lastiger. Al eerder is aangegeven dat deze mengsels veelal worden ontworpen als verdichtingsarme of zelfverdichtende specie, om te waarborgen dat de beoogde kwaliteit ook op de bouwplaats gerealiseerd kan worden.

Na het verdichten en afwerken moet snel worden begonnen met nabehandelen om plastische krimp te voorkomen.

De sterkteontwikkeling en de daaraan gekoppelde warmteontwikkeling kan onverwacht snel verlopen. Afhankelijk van het ontwerp vraagt dit aanvullende maatregelen voor de uitvoering.

Ook voor de ontwerper gelden bijzondere aandachtspunten.

Bij alle positieve kanten van een hoge dichtheid vraagt de brandwerendheid extra aandacht. De brandwerendheid van constructies met betrekking tot bezwijken is onder meer afhankelijk van de afmetingen van het bouwdeel, de grootte van de betondekking en de positie van de wapening. Voor de rekenkundige bepaling van de brandwerendheid wordt gebruikgemaakt van NEN 6071. Voorwaarde is dat het beton zodanig is samengesteld dat er geen risico op spatten aanwezig is. In zijn algemeenheid is dichter beton, dus ook hogesterktebeton, hiervoor gevoeliger. Om die reden zijn in CUR-Aanbeveling 95 "Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdelen in hogesterktebeton" (2003) aanvullende richtlijnen opgenomen ter vermijding van het risico op spatten.

Deze richtlijnen komen globaal neer op een beperking van het aandeel aan zeer fijne vulstoffen (zoals silica fume), grenswaarden voor de toegestane afmetingen en een maximum aan het evenwichtsvochtgehalte in de constructie.

Een heel andere optie is het toepassen van polypropyleenvezels in beton met hoge sterkte.

Bij sterke verhitting (door brand) smelten deze vezels en ontstaan kanaaltjes, waardoor de overdruk door dampvorming kan ontwijken.

#### "Spatten van beton"

Bij snelle verhitting ontstaat in beton een interne druk doordat vocht snel wordt omgezet in stoom, waarbij het volume sterk én heel snel toeneemt. In dicht beton wordt hierdoor de buitenlaag afgedrukt. Dit fenomeen wordt "spatten" genoemd.



*Figuur 3.2 Afgespatte toplaag.*

Indien niet aan alle voorwaarden in de aanbeveling wordt voldaan, moet ervan worden uitgegaan dat spatten kan optreden. In dat geval moet ten minste één van de volgende maatregelen worden genomen:

- toepassing van huidwapening. CUR-Aanbeveling 95 bevat de eisen die aan deze huidwapening worden gesteld. Bij deze maatregel mag ervan worden uitgegaan dat het 15 minuten duurt voordat de beschermende functie van de huidwapening is opgeheven;
- toepassing van ten minste 2,5 kg polypropyleenvezels per m<sup>3</sup> beton met een diameter van ten minste 0,010 mm en ten hoogste 0,020 mm en een lengte van minstens 6 mm en hoogstens 20 mm. In dit geval mag bij de berekening van de brandwerendheid van de volledige doorsnede worden uitgegaan.

Spatten kan worden voorkomen door beschermende maatregelen, zoals een hittewerende bekleding.

### 3.2.2 Beton met afwijkende volumieke massa

Onder beton met afwijkende volumieke massa verstaan we hier lichtbeton en zwaarbeton. Schuimbeton is hier een wat vreemde eend in de bijt en wordt in de volgende paragraaf apart behandeld.

Lichtbeton wordt in NEN-EN 206 gedefinieerd als beton met een (ovendroge) volumieke massa van ten minste 800 kg/m<sup>3</sup> en niet meer dan 2000 kg/m<sup>3</sup>.

Zwaarbeton is volgens NEN-EN 206 beton met een ovendroge volumieke massa boven 2600 kg/m<sup>3</sup>.

#### *3.2.2.1 Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering*

Doorgaans stelt de constructeur geen bijzondere eisen aan de volumieke massa. Dan kunnen we normaal grindbeton gebruiken. In bepaalde gevallen zal hij wel eisen aan de volumieke massa stellen, bijvoorbeeld als een constructie of constructiedeel een laag of juist een hoog eigen gewicht moet hebben. Dan moeten we respectievelijk lichtbeton of zwaarbeton gebruiken.

Met lichtbeton kunnen bruggen met een slankere vorm en/of een grotere overspanning worden gebouwd. Ook wordt lichtbeton regelmatig toegepast voor de productie van



geprefabriceerde elementen. Vooral de besparing op transportkosten is hierbij een overweging. Ook bij in het werk gestorte bruggen en viaducten wordt soms lichtbeton toegepast.

Zwaarbeton wordt bijvoorbeeld toegepast als stralingsscherm bij röntgenapparatuur en als veiligheidsconstructie in kernreactoren. Ook in de off-shore industrie kan de toepassing van zwaar beton zinvol zijn. Bedenk dat de schijnbare massa van normaal beton met een volumieke massa van  $2400 \text{ kg/m}^3$  onder water nog slechts circa  $1400 \text{ kg/m}^3$  is. Bij zwaar beton met een volumieke massa van  $3800 \text{ kg/m}^3$  is de schijnbare massa onder water circa  $2800 \text{ kg/m}^3$ . Een groot voordeel bij toepassing als golfbreker.

#### *Lichtbeton*

Voor de indeling in sterkteklassen hanteert de NEN-EN 206 voor lichtbeton een indeling die afwijkt van die voor normaal en zwaar beton. Dit omdat de relatie tussen de kubusdruksterkte en de cilinderdruksterkte bij lichtbeton afwijkt van de gebruikelijke relatie. De sterkteklasse wordt daarom niet met Cxx/xx aangeduid maar met LC.

De sterkteklassen voor lichtbeton lopen van LC 8/9 tot en met LC 80/88.

Verder kent NEN-EN 206 voor lichtbeton een indeling in klassen, afhankelijk van de volumieke massa:

*Tabel 3.1 Indeling van lichtbeton afhankelijk van de ovendroge volumieke massa overeenkomstig NEN-EN 206.*

klassenindeling naar volumieke massa	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
volumieke massa in $\text{kg/m}^3$	$\geq 800$ en $\leq 1000$	$> 1000$ en $\leq 1200$	$> 1200$ en $\leq 1400$	$> 1400$ en $\leq 1600$	$> 1600$ en $\leq 1800$	$> 1800$ en $\leq 2000$

De vermelding van de gewenste volumieke massa in de projectspecificatie vraagt speciale aandacht. Waar de betonvoorschriften uitgaan van een ovendroge volumieke massa, wordt in de projectspecificatie vaak de volumieke massa bedoeld zoals deze uiteindelijk in het werk wordt gerealiseerd. Het spreekt voor zich dat de afspraken hierover en de omschrijving in de uiteindelijk vast te leggen mengselspecificatie hierover duidelijk moeten zijn!

Hetzelfde geldt voor het vastleggen van de verwerkbaarheid. Zo zal een betonspecie met heel lage volumieke massa zich anders gedragen bij de bepaling van de consistentie dan een normaal of zwaarbeton. Zo hangt de "inzakking" bij de zetmaatmeting immers samen met het eigen gewicht.

#### *Zwaarbeton*

Zwaarbeton (ovendroge volumieke massa  $> 2600 \text{ kg/m}^3$ ) wordt doorgaans gespecificeerd met een "beoogde volumieke massa", waarbij grenswaarden voor minimum en maximum worden vastgelegd. Hoewel de verschillen hier minder groot zijn dan bij lichtbeton, is het ook bij zwaarbeton belangrijk duidelijk te specificeren "welke" volumieke massa wordt bedoeld. (bijvoorbeeld "ovendroog" of zoals in het werk wordt gerealiseerd).

Met betrekking tot de sterkteklassen en duurzaamheid gelden voor zwaarbeton dezelfde specificaties als voor normaal beton.

### 3.2.2.2 Selectie grondstoffen

In lichtbeton wordt de lage(re) volumieke massa verkregen door het vervangen van – een deel van – de toeslagmaterialen door lichte toeslagmaterialen. We onderscheiden natuurlijke en kunstmatig vervaardigde, lichte toeslagmaterialen.

In de natuur komen natuurlijke lichte toeslagmaterialen voor, bijvoorbeeld van vulkanische oorsprong. Dit zijn meestal poreuze korrels met een zodanig lage volumieke massa dat het ermee vervaardigde beton in de klasse lichtbeton valt (volumieke massa van het beton lager dan 2000 kg/m<sup>3</sup>). Voorbeelden zijn bims en lava. De toepassing ervan is beperkt.

Vaker toegepast worden de kunstmatig vervaardigde lichte toeslagmaterialen, vooral toeslagmateriaal uit geëxpandeerde klei. Deze kennen we ook van de hydrocultuur-korrels in plantenbakken. Daarnaast zien we geëxpandeerd natuurlijk gesteente en gesinterde vliegias als toeslagmateriaal in lichtbeton.

#### *Toeslagmaterialen voor lichtbeton*

Toeslagmaterialen met een volumieke massa ( $\rho_{rd}$ ) kleiner dan 2000 kg/m<sup>3</sup> behoren tot de lichte toeslagmaterialen. Hiervoor zijn de normen NEN-EN 13055-1 en NEN 3534 van toepassing. In deze normen zijn geen eisen vastgelegd voor de verschillende eigenschappen. Wel is vermeld welke beproevingsnorm moet worden gebruikt om de verschillende eigenschappen te bepalen. De producent of leverancier van het materiaal moet aangeven binnen welke bandbreedte de verschillende eigenschappen liggen.

De korrelgroep wordt, zoals gebruikelijk, aangeduid met d/D, waarbij de norm zeefmaten geeft voor het definiëren van de korrelgroep.

Voor lichtbeton worden naast enkele natuurlijke materialen, zoals bims en lava, vooral kunstmatig vervaardigde korrels gebruikt. De bekendste daarvan zijn korrels op basis van geëxpandeerde klei.

Deze korrels worden doorgaans aangeduid met hun droge losgestorte massa ( $\rho_b$ ), hetgeen meestal in hun naam tot uiting komt. Zo zal het getal 800 in licht toeslagmateriaal "Merk X, type 800" bijvoorbeeld aangeven dat de droge losstortmassa 800 kg/m<sup>3</sup> is. Deze waarde (de  $\rho_b$ ) heeft voor het berekenen van een mengselsamenstelling geen praktische betekenis.

De betontechnoloog rekent met de schijnbare volumieke massa ( $\rho_{rd}$ ). Deze ligt in het algemeen ongeveer een factor 1,65 hoger. Een droge losstortmassa van 800 kg/m<sup>3</sup> komt dus globaal overeen met een schijnbare volumieke massa van circa 1300 kg/m<sup>3</sup> (1,65 x 800).

Tabel 3.2 *Massa per volume van enkele toeslagmaterialen voor lichtbeton.*

benaming	schijnbare volumieke massa ( $\rho_{rd}$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]	schijnbare volumieke massa incl. geabsorbeerd water [kg/m <sup>3</sup> ]	(droge) losstortmassa ( $\rho_b$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]
styropor	25 – 50	25 – 50	
perliet/vermiculiet	100 – 400	125 – 800	60 – 250
geëxpandeerde klei	600 – 1500	700 – 1700	350 – 900
gesinterde vliegias	1500 – 2000	1600 – 2150	900 – 1200

Lichte toeslagmaterialen voor beton, mortel en injectiemortel moeten voldoen aan NEN-EN 13055-1 en NEN 3543.

### *Absorptie*

De poreuze korrels van licht toeslagmateriaal kunnen water opzuigen uit de betonspecie. Ook op dit punt verschilt licht toeslagmateriaal essentieel van normale toeslagmaterialen. De absorptie van water in een vochtig milieu door de poreuze korrels gaat aanvankelijk zeer snel en neemt daarna af. Van belang is vooral de snelheid waarmee de beginabsorptie verloopt. De absorptiesnelheid verschilt per soort licht toeslagmateriaal.

Voor fabrieksmatig vervaardigde, lichte toeslagmaterialen bedraagt de absorptie, uitgaande van droog materiaal, na een half uur tussen 5 en 25% (m/m). Dit absorptievermogen heeft gevolgen voor de dosering, de verwerking en de uiteindelijke betoneigenschappen. Tijdens transport en opslag kunnen de korrels vocht opnemen. Hierdoor zal nooit een geheel droge toeslag worden gedoseerd. Als de dosering in massadelen plaatsheeft, wegen we uiteraard het in de korrels aanwezige vocht ook mee. Dit water moeten we dan ook in rekening brengen. Daarbij kunnen we niet altijd van een gemiddeld vochtgehalte uitgaan. Bij opslag in de open lucht zal het rekenen met een gemiddeld vochtgehalte alleen al door weersomstandigheden (regenbui!) tot ontoelaatbaar grote afwijkingen leiden.

Licht toeslagmateriaal zal zelden volledig verzadigd zijn met water. Dit betekent dat de lichte korrels nog water willen opnemen. Dit absorptiewater onttrekken zij aan het aanmaakwater, waardoor de verwerkbaarheid zal teruglopen. De snelheid waarmee dat gebeurt, is afhankelijk van het vochtgehalte van het lichte toeslagmateriaal. Hoe droger het is, hoe sneller het omringende water wordt opgezogen.

Teruglopen van de verwerkbaarheid kunnen we op twee manieren voorkomen, door:

- het lichte toeslagmateriaal vooraf zo nat maken dat het verzadigd is met water, maar in de praktijk is deze methode moeilijk te realiseren en niet aan te bevelen;
- het nog te absorberen water extra toevoegen in de menger. Dat kan alleen als de betonspecie pas verwerkt wordt nadat het extra water volledig is geabsorbeerd.

### *Toeslagmaterialen voor zwaar beton*

Bij zwaarbeton wordt de hoge volumieke massa verkregen door toepassen van zware toeslagmaterialen. Daarvoor komen veel "droog gewonnen" groevematerialen zoals basalt, bariet en magnetiet in aanmerking.

IJzererts en sommige slakken kunnen eveneens als zwaar toeslagmateriaal worden gebruikt. Stalen ponsdoppen lijken niet echt voor de hand te liggen, maar worden regelmatig gebruikt vanwege de hoge volumieke massa. In tabel 3.3 zijn de volumieke massa's van enkele in zwaarbeton gebruikte materialen gegeven.

*Tabel 3.3 Richtwaarden voor de volumieke massa  $\rho_a$  van verschillende materialen voor zwaarbeton.*

materiaal	volumieke massa $\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]
basalt	2750 - 3150
ijzererts	3500 - 5100
magnetiet	3400 - 4300
bariet	4700 - 4900
hematiet	3300 - 3400
ijzererts	3300 - 3400
staalslakken	2800 - 3400
jarosietslak	3300 - 3600
loodslakken	3300 - 3700
staal(pons)doppen	ca.7850

### 3.2.2.3 Mengselontwerp lichtbeton

De uitgangspunten voor het ontwerpen van een toeslagmaterialenmengsel voor lichtbeton verschillen niet van die voor normaal beton. Het fabrieksmatig vervaardigde, lichte toeslagmateriaal heeft nauw begrensde afmetingen en wordt geleverd binnen nauw begrensde korrelgroepen. In combinatie met zand, dat meestal als fijne toeslag wordt gebruikt, leidt dit meestal tot discontinue mengsels. Meer zand geeft in het algemeen een betere verwerkbaarheid. Maar het zandpercentage moeten we dikwijls laag houden om de volumieke massa van het beton tot bijvoorbeeld 1200-1400 kg/m<sup>3</sup> (D1,4) te beperken.

Het gebruik van een luchtbelvormer kan helpen bij het "sturen op volumieke massa" en verbetert vaak ook de stabiliteit van de specie. De luchtbelvormer maakt het verschil tussen de volumieke massa van de vloeibare mortel en de lichte korrels daarin kleiner, waardoor de korrels wat minder de neiging hebben op te drijven.

Voor lichtbeton gaat de gebruikelijke relatie tussen de water-cementfactor en de druksterkte niet meer op. De lichte toeslagmaterialen zijn minder sterk dan de gebruikelijke dichte, harde toeslagmaterialen. De sterkte van de korrels wordt beïnvloed door veel factoren, waaronder de mate van porositeit, de structuur en de korrelvorm

Zoals gebruikelijk splitsen we het totaal vochtgehalte van het toeslagmateriaal in adsorptie (oppervlaktevocht) en absorptievocht. Dit laatste is echter over het algemeen veel hoger dan voor dichte materialen gebruikelijk. Door de porositeit van de korrels kunnen ze veel vocht opnemen. Let op: als gemeten wordt dat het vochtgehalte van licht toeslagmateriaal hoger is dan het absorptievermogen, is het verschil dus het aanhangend water (oppervlaktevochtgehalte).

In het algemeen geldt dat er een relatie is tussen de volumieke massa van het beton en de maximaal te bereiken druksterkte. Een D2,0 zal een hogere druksterkte hebben dan een D1,2. Toch kunnen bij een juiste mengselopbouw met een aantal fabrieksmatig vervaardigde materialen nog relatief hoge betondruksterkten worden bereikt.

Bij het ontwerpen van samenstellingen voor lichtbeton moet worden bedacht dat niet alleen de volumieke massa en de druksterkte kunnen afwijken.

Ook het vervormingsgedrag, de warmtegeleiding en bijvoorbeeld krimp en kruip kunnen sterk afwijken van de gebruikelijke waarden.

Bij de beproeving van lichtbetonproefstukken zien we een van normaal beton afwijkend bezwijkpatroon. Dit komt doordat de verhouding tussen bezwijksterkte en vervormbaarheid van cementsteen en toeslag afwijkt van die bij normaal beton. De veel zwakkere korrels van het lichte toeslagmateriaal zijn meestal bepalend voor de bezwijksterkte. In tegenstelling tot wat gebruikelijk is bij het gebruik van harde dichte toeslagmaterialen, kan een dikkere cementsteen (met gelijke water-cementfactor) nu wél leiden tot een hogere betonsterkte.

Alle hiervoor genoemde factoren bemoeilijken het ontwerpen van speciesamenstellingen voor lichtbeton aanzienlijk. Voor het ontwerpen van mengsels, die een bepaalde sterkte bij een maximale volumieke massa moeten opleveren, kunnen we ons slechts baseren op de gegevens van proefmengsels. Wel kunnen we rekenen aan de samenstelling van het pakket toeslagmaterialen die we moeten toepassen om de gewenste klasse van de volumieke massa te verkrijgen.

#### **Een voorbeeld:**

Voor een lichtgewicht betonconstructie, bestaande uit geprefabriceerde balken, kolommen en vloerelementen, is in het bestek bepaald dat de volumieke massa van het beton in de gebruiksfase ca. 1600 kg/m<sup>3</sup> moet bedragen (exclusief wapening).

De betonproducten fabrikant mag voor het berekenen van zijn betonsamenstelling rekening houden met een uitdroging van 4 % (m/m) ten opzichte van de speciemaassa.

Verder zijn in het bestek de volgende eisen gesteld:

- 350 kg CEM III/B 32,5 N LH
- consistentieklasse S3
- ten behoeve van de verwerkbaarheid moet een luchtbelvormer worden toegepast die in de betonspecie een luchtgehalte van 5 % realiseert.

De fabrikant heeft de beschikking over:

- licht toeslagmateriaal met een  $\rho_{td}$  van 1100 kg/m<sup>3</sup> (in droge toestand). Het vochtgehalte van het materiaal in opslag bedraagt 3 %. De maximale, totale absorptie die optreedt binnen vijf minuten na aanmaak is 15 %.
- betonzand met een vochtgehalte van 3,5 %.
- luchtbelvormer.

Verder wordt aangenomen dat de waterbehoefte van het mengsel ca. 185 kg per m<sup>3</sup> zal bedragen (exclusief absorptie) en dat de betonspecie ca. 10 minuten na menging wordt verwerkt.

**Uitwerking:**

1 m<sup>3</sup> betonspecie moet wegen:  $1600 / 0,96 = 1667$  kg (i.v.m. 4 % uitdroging)

De samenstelling van de cementlijm is:

	<b>kg</b>	<b><math>\rho_a</math></b>	<b>m<sup>3</sup></b>
cement	350	2950	0,119
water	185	1000	0,185
lucht	--- +		<u>0,050 +</u>
totaal:	535		0,354
toeslagmateriaal:	<u>1132</u>		<u>0,646</u>
	1667		1,000

0,646 m<sup>3</sup> toeslagmateriaal moet dus een massa hebben van 1132 kg.

$\rho_{td}$  van het toeslagmateriaal is 1100 kg/m<sup>3</sup>; het absorbeert echter 15% (m/m) aan water, zodat de rekenwaarde voor de volumieke massa is:

$$1,15 \times 1100 = 1265 \text{ kg/m}^3$$

Het toeslagmateriaal bestaat uit zand en licht toeslagmateriaal;

als er Z m<sup>3</sup> zand in het mengsel zit, geldt:

$$Z \times 2650 + (0,646 - Z) \times 1265 = 1132$$

$$\rightarrow Z = 0,227 \text{ m}^3$$

Het mengsel bestaat dus uit 0,227 m<sup>3</sup> zand en 0,419 m<sup>3</sup> licht toeslagmateriaal.

Nu de samenstelling van het toeslagmaterialenmengsel bekend is, kan de uitleveringsberekening gemaakt worden. Daarbij moet echter de waterdosering niet alleen gecorrigeerd worden voor het vocht in het zand, maar ook voor het extra water dat het lichte toeslagmateriaal nodig heeft.

Zand:

$$0,227 \text{ m}^3 \text{ zand met een massa } 0,227 \times 2650 = 602 \text{ kg}$$

$$3,5\% \text{ vocht} \rightarrow \text{het zand bevat } 0,035 \times 602 = 21 \text{ kg water}$$

Lichte toeslag:

$0,419 \text{ m}^3$  lichte toeslag met een massa  $0,419 \times 1100 = 461 \text{ kg}$

vochtgehalte: 3% → het lichte toeslag bevat  $0,03 \times 461 = 14 \text{ kg}$  water

te verwachten vochtabsorptie in de menger: 15%

absorptiewater in lichte toeslag:  $0,15 \times 461 = 69 \text{ kg}$

Water:

totale hoeveelheid water:  $185 - 21 - 14 + 69 = 219 \text{ kg}$

*Uitlevering per m<sup>3</sup>*

	kg droog	vocht	kg nat	kg mengmeester
cement				350
zand	602	3,5%	623	623
licht toeslagmateriaal	461	3,0%	475	475
water				219
totaal				1667

#### *Geschiktheidsonderzoek*

Bij het ontwerpen van lichtbeton is geschiktheidsonderzoek noodzakelijk, tenzij uitgebreide ervaring met de toe te passen grondstoffen en samenstellingen beschikbaar is.

De wijze van uitvoeren van dit geschiktheidsonderzoek en de criteria voor de beoordeling van de resultaten zijn beschreven in Annex A van de NEN-EN 206. Indien geschiktheidsproeven in het laboratorium worden uitgevoerd, moeten bovenstaande overwegingen betreffende verwerkbaarheid en vochtgehalte goed in acht worden genomen. Slechts dan kunnen problemen bij de praktische uitvoering worden voorkomen.

#### *3.2.2.4 Mengselontwerp zwaarbeton*

De technologie voor het samenstellen van zwaarbeton verschilt niet van die voor normaal beton. De volumieke massa van normaal beton bedraagt  $2200 \text{ à } 2400 \text{ kg/m}^3$ . Die van zwaarbeton is hoger, wat wordt bereikt door zwaarder toeslagmateriaal te gebruiken.

De bijzondere aard van deze zware toeslagmaterialen, zoals basalt, ijzererts en loodslakken, maakt het dikwijls niet gemakkelijk een goed homogeen en stabiel mengsel samen te stellen. Korrelvorm, korrelsterkte en gradering hebben allemaal invloed. Zo vragen slecht gegradeerde mengsels meer water voor de benodigde verwerkbaarheid. Dit kan tijdens de verwerking gemakkelijk leiden tot ontmenging, want de natuurlijke neiging hiertoe, het uitzakken van zwaar materiaal, wordt in zware betonspecie versterkt door de grotere volumieke massa van het toeslagmateriaal.

De berekening van de verschillende grondstoffen verloopt analoog aan die van normaal beton. Het berekenen van de korrelverdeling wijkt nauwelijks af, want de volumieke massa speelt hierin geen rol. De berekening van de samenstelling moet altijd op volumebasis worden uitgevoerd. Het gebroken materiaal kan wel een afwijkende gradering vertonen. Alleen in de uitleveringsberekening moeten we voor het grove toeslagmateriaal met de grotere volumieke massa hiervan rekening houden.

#### *Geschiktheidsonderzoek*

Ook bij het ontwerpen van zwaarbeton kan geschiktheidsonderzoek noodzakelijk zijn, tenzij ervaring met de toe te passen grondstoffen en samenstellingen beschikbaar is.

De wijze van uitvoeren van dit geschiktheidsonderzoek en de criteria voor de beoordeling van de resultaten zijn beschreven in Annex A van de NEN-EN 206.

### 3.2.3 Schuimbeton

Schuimbeton is in feite geen echt beton, maar een mortel. Het bevat immers geen toeslagmateriaal. De betonnorm NEN-EN 206 is dan ook niet van toepassing voor schuimbeton.

Schuimbeton bestaat uit een matrix van cementsteen en kunstmatig ingebrachte luchtbelletjes, soms aangevuld met fijn toeslagmateriaal in de vorm van heel fijn zand. Een variant op schuimbeton is polystyreen(schuim)beton. Hierin bestaat het toeslagmateriaal uit polystyreenbolletjes, meestal met een diameter van circa 3 mm. Soms worden de polystyreenbolletjes gecombineerd met schuim.

In Nederland wordt schuimbeton toegepast in de woning- en utiliteitsbouw alsmede in civiele werken. Door zijn lichte gewicht en de eenvoudige verwerking van de yoghurt-dunne specie is schuimbeton voor diverse toepassingen geschikt, bijvoorbeeld:

- werkvloeren;
- afschot- en/of isolatielagen op daken;
- lichte funderingslagen onder wegdekken, parkeerplaatsen enz. vooral in gebieden met zeer slappe ondergrond;
- isolatieondervloer bij op staal gefundeerde vloeren;
- isolatie van kruipruimten;
- vulmateriaal voor verlaten en lege tanks en/of leidingen.



*Figuur 3.3 Verwerken van schuimbeton.*

#### *3.2.3.1 Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering*

Zowel ten aanzien van de eigenschappen als de verschillende toepassingen is schuimbeton een geheel ander materiaal dan "normaal beton".

Dit betekent ook dat de eisen die aan schuimbeton in de projectspecificatie zullen worden gesteld, sterk afwijken van de voor beton gebruikelijke eisen.

De prestaties en beproevingen aan schuimbeton zijn niet geregeld via de betonvoorschriften. Voor schuimbeton kan CUR-Aanbeveling 59 worden gehanteerd. Deze Aanbeveling bevat aanwijzingen voor de vervaardiging en beproeving van schuimbeton.

De eigenschappen van schuimbeton zijn gekoppeld aan samenstelling en structuur en vooral aan de volumieke massa van het materiaal. Hierna is een aantal eigenschappen beschreven.

#### Volumieke massa

Schuimbeton wordt in de eerste plaats gekarakteriseerd door de volumieke massa. Het is gebruikelijk om dan de volumieke massa van de specie zoals aangebracht in het werk te benoemen en niet zoals normaal gebruikelijk de oven-droge volumieke massa.

Daarbij wordt de volgende voorkeursreeks aangehouden:

Tabel 3.4 Voorkeursreeks volumieke massa schuimbeton.

volumieke massa in kg/m <sup>3</sup>	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
--------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

#### Druksterkte

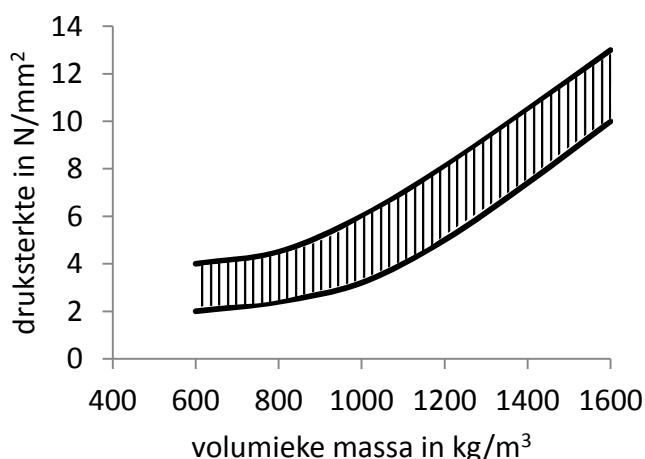
De *druksterkte* van schuimbeton wordt niet zozeer bepaald door de water-cementfactor, maar vooral door de volumieke massa. Overigens zijn ook alle andere eigenschappen van schuimbeton duidelijk gekoppeld aan de volumieke massa. Zo zal bij een volumieke massa tussen 400 en 600 kg/m<sup>3</sup> de druksterkte globaal tussen 0,5 en 2,5 N/mm<sup>2</sup> liggen.

Bij volumieke massa's boven circa 1400 kg/m<sup>3</sup> kan de druksterkte oplopen tot boven 10 N/mm<sup>2</sup>. Voor de druksterkte wordt de volgende voorkeursreeks voor de sterkteklassen gegeven:

Tabel 3.5 Voorkeursreeks sterkteklassen schuimbeton.

sterkteklasse	S	S1	S1,5	S2	S2,5	S3	S4	S6	S8	S10	S12
gemiddelde kubus-druksterkte $x_{12\text{ gem}}$	N/mm <sup>2</sup>	1	1,5	2	2,5	3	4	6	8	10	12
karakteristieke kubusdruksterkte $x_{12\text{ kar}}$	N/mm <sup>2</sup>	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	3,1	4,6	6,2	7,7	9,2

De *treksterkte* van schuimbeton is circa 10 tot 15% van de druksterkte.



Figuur 3.4 Relatie tussen volumieke massa en druksterkte van schuimbeton (bron: CUR-Aanbeveling 59).

De *elasticiteitsmodulus* van schuimbeton is zeer laag in verhouding tot die van grindbeton;



de waarden voor schuimbeton komen meer overeen met die van bitumineuze producten.

Ter indicatie: bij een volumieke massa tussen 400 en 600 kg/m<sup>3</sup> ligt de elasticiteitsmodulus op waarden rond de 1000-1500 N/mm<sup>2</sup>. Bij grindbeton ligt deze waarde in de orde van grootte van circa 30.000-35.000 N/mm<sup>2</sup>.

De *krimp* van schuimbeton, gemeten aan proefstukken na volledige uitdroging, ligt in de orde van grootte van 2-5 mm per m. Ongeveer 10x zoveel als van grindbeton.

De *thermische uitzettingscoëfficiënt* van schuimbeton is circa  $8 \times 10^{-6}$  per °C. Dit komt overeen met 0,008 mm per meter per °C. Dit gedrag komt globaal overeen met dat van grindbeton.

De *warmtegeleidingscoëfficiënt* is sterk afhankelijk van zowel de volumieke massa van het schuimbeton als het vochtgehalte. De  $\lambda$  -waarde van schuimbeton met een volumieke massa van 400-600 kg/m<sup>3</sup> is voor droog materiaal circa 0,10 W/m.K; in vochtige condities kan dit oplopen tot circa 0,15 a 0,20 W/m.K. Dit zijn slechts indicaties: het werkelijk niveau is sterk afhankelijk van de structuur en de samenstelling van het schuimbeton.

De *waterabsorptie* van schuimbeton is sterk afhankelijk van de volumieke massa. In het algemeen geldt dat bij een lagere volumieke massa de permeabiliteit groter is. Ook de structuur van het materiaal speelt een rol: met name de grootte en de verdeling van luchtbelletjes. Door gebruik van licht toeslagmateriaal of polystyreen korrels wordt het schuimbeton minder permeabel. De waterabsorptie neemt dan duidelijk af. Bij toepassingen van schuimbeton in een natte omgeving, waar het gewicht een belangrijk gegeven is, verdient het aanbeveling het materiaal in folie te verpakken.

Schuimbeton is een duurzaam materiaal dat ongevoelig is voor verrotting en schimmels. Het materiaal is goed bestand tegen allerlei weersinvloeden. Door de aanwezigheid van heel veel kleine luchtbelletjes is het materiaal uitstekend vorstbestand.

### 3.2.3.2 Selectie grondstoffen

Schuimbeton bestaat uit ten minste cement, water en schuim. Afhankelijk van de gewenste eigenschappen wordt daarbij ook nog gebruik gemaakt van:

- toeslagmateriaal: fijn zand, fijn licht toeslagmateriaal of bolletjes polystyreen;
- vulstoffen, zoals kalksteenmeel of poederkoolvliegias;
- hulpstoffen, zoals plastificeerders.

#### *Bijzondere eisen aan de grondstoffen:*

Als *cement* zijn alle normaal gebruikte cementsoorten mogelijk.

Als *water* moet bij voorkeur leidingwater worden gebruikt. Andere soorten water zijn alleen mogelijk indien hiermee ervaring is, dan wel geschiktheidsonderzoek is uitgevoerd.

Er zijn diverse *schuimmiddelen* als "schuimconcentraat" op de markt. Zij kunnen verschillen in de stabiliteit en de volumieke massa van het ermee vervaardigde schuim.

Als *toeslagmateriaal* wordt doorgaans fijn zand 0/1 of 0/2 gebruikt.

Bij gebruik van *vulstoffen*, met name poederkoolvliegias, is de interactie met het schuim een bijzonder aandachtspunt. Zoals ook in normale betonmengsels met een luchtbelvormer kan bij een (te) hoog koolstofgehalte in de poederkoolvliegias het schuim als het ware worden geabsorbeerd door de koolstof.

De toepassing van *plastificerende hulpstoffen* in schuimbeton vraagt in alle gevallen een gedegen vooronderzoek naar mogelijke interacties met bijvoorbeeld het schuim.

### 3.2.3.3 Mengselontwerp

In principe is het mengselontwerp van schuimbeton vrijwel gelijk aan dat bij lichtbeton. De plaats van het lichte toeslagmateriaal wordt hierbij ingenomen door schuim. Het schuim heeft doorgaans een volumieke massa tussen circa 50 en 70 kg/m<sup>3</sup>.

De gebruikelijke regels betreffende de relatie tussen water-cementfactor en sterkte en grenswaarden voor de water-cementfactor in relatie tot duurzaamheid, gelden niet voor deze mengseltypen.

In de praktijk ligt het cementgehalte tussen circa 100 en maximaal 350 kg/m<sup>3</sup>.

De water-cementfactor ligt tussen circa 0,50 en 1,0.

Omdat de temperatuur van schuimbeton door vrijkomende hydratiewarmte sterk kan oplopen (er hoeft maar weinig massa te worden opgewarmd), wordt vaak gebruik gemaakt van poederkoolvliegias om het cementgehalte en daarmee de warmteontwikkeling te beperken.

Het gaat voor deze cursus te ver om het mengselontwerp meer gedetailleerd te behandelen. Temeer daar schuimbeton vaak per project wordt ontworpen en speciale mengseltypen zoals polystyreenschuimbeton vaak slechts door enkele producenten worden aangeboden.

### 3.2.3.4 Productie

Dit onderwerp is hier ingevoegd omdat de productie van schuimbeton duidelijk afwijkt van de voor traditioneel beton gebruikelijke productiemethoden.

Bij de productie van schuimbeton wordt meestal eerst een basismortel gemengd, bestaande uit cement en water, eventueel met vulstoffen en/of een gedeelte zeer fijn zand.

Deze mortel wordt in een volgende processtap vermengd met een vooraf vervaardigd stabiel schuim dat de rol van toeslagmateriaal heeft. Dit schuim ziet eruit als scheerschuim.

Het mengen van basisspecie en schuim tot schuimbeton wordt in de praktijk zowel in stationaire mengers als in een continue proces gedaan. Belangrijk is daarbij de verhouding tussen deze componenten goed te beheersen, omdat deze bepalend is voor de te verkrijgen volumieke massa van de specie en daarmee voor de eigenschappen van de mortel en het verharde product.

#### Regelgeving/ Literatuur

CUR-Aanbeveling 59: "Vervaardiging en beproeving van schuimbeton"

CUR-rapport 160 "Constructieve eigenschappen en wateropname van schuimbeton"

CUR-rapport 181 "Werken met schuimbeton. Eigenschappen en toepassingen"

## 3.2.4

### Vloeistofdicht beton

De Wet Milieubeheer en de Wet Bodembescherming geven aan dat we maatregelen moeten nemen als we activiteiten ontplooiën die kunnen leiden tot bodemverontreiniging. Het Ministerie van VROM heeft hiervoor de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten (NRB) opgesteld. De NRB is een hulpmiddel voor het bepalen van het risico van activiteiten voor de bodem en omvat kennisdocumenten en beoordelingsrichtlijnen. De totstandkoming en het beheer van deze documenten vallen onder het Plan Bodembeschermende Voorzieningen (PBV).



*Figuur 3.5 Bij een vloeistofdichte vloer mag de vloeistof wel de constructie indringen, maar er aan de andere kant niet als vloeistof uitkomen.*

#### *3.2.4.1 Regelgeving*

Binnen de regelgeving van het Plan Bodembeschermende Voorzieningen (PBV) wordt gesteld dat een constructie als vloeistofdicht mag worden beschouwd, zolang de verontreinigende vloeistof gedurende de levensduur van de constructie de niet door die vloeistof belaste zijde van de constructie niet bereikt. Ofwel, de vloeistof mag wel de constructie indringen, maar mag er aan de andere kant niet als vloeistof uitkomen.

Voor de betontechnologische regelgeving zijn twee CUR/PBV-Aanbevelingen beschikbaar, te weten CUR/PBV-Aanbeveling 63 en 65.

#### *CUR/PBV-Aanbeveling 63*

Deze Aanbeveling beschrijft de bepaling van de vloeistofindringing op basis van de capillaire absorptieproef. Onder normale omstandigheden (en bij een uitwendige druk < 2 meter vloeistofkolom) wordt de indringing in beton van zowel waterige oplossingen als organische vloeistoffen nagenoeg volledig bepaald door capillaire absorptie.

De indringingsdiepte van een willekeurige vloeistof is daarbij afhankelijk van de poriënstructuur van het beton, de expositieduur en de belangrijkste eigenschappen van de vloeistof zoals oppervlaktespanning en viscositeit.

#### *CUR/PBV-Aanbeveling 65*

Deze Aanbeveling bevat regels voor het ontwerp, de materialen en de aanleg van vloeistofdichte betonvloeren en –verhardingen. Daarnaast bevat zij regels voor bescherm lagen die toegepast worden om constructies en verhardingen vloeistofdicht te maken.

Bij het ontwerp op vloeistofdichtheid zijn de volgende zaken essentieel:

- de detaillering van de constructie;
- de beheersing van de scheurwijdte;
- de vloeistofindringing.

#### *3.2.4.2 Vloeistofindringingskarakteristiek*

De vloeistofindringingskarakteristiek is voor elke betonsamenstelling verschillend. Een CUR/PBV-onderzoekscommissie (D29) heeft de invloed van de belangrijkste betontechnologische parameters onderzocht op het indringingsgedrag van verschillende vloeistoffen.

Op basis van de resultaten uit dit onderzoek is voor de onderzochte betonmengsels een 'bovengrens' vloeistofindringingskarakteristiek aangegeven.

Van deze 'bovengrens' vloeistofindringingskarakteristiek mag gebruikt worden gemaakt wanneer een betonsamenstelling valt binnen de grenzen van de gekozen randvoorwaarden.

Bij de gegeven 'bovengrens' vloeistofindringingskarakteristiek is een extra marge in acht genomen van 10 mm ten opzichte van de resultaten van de onderzochte mengsels. Dit is gedaan ter compensatie van de rekenkundige benadering en de natuurlijke spreiding in de resultaten.

Deze randvoorwaarden voor de betonmengsels waarvoor de "bovengrens vloeistofindringingskarakteristiek" gebruikt mag worden, zijn vermeld in onderstaand kader.

<p>Voor de betonmengsels waarvoor de 'bovengrens' vloeistofindringingskarakteristiek van toepassing is, zijn de randvoorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- cementsoort: CEM II/B-V of CEM III/B;</li> <li>- mengsels van CEM III/B met CEM I tot een maximum van 20% CEM I;</li> <li>- water-cementfactor <math>\leq 0,50</math>;</li> <li>- het gehalte aan cementpasta (= volume cement + volume water) mag ten hoogste <math>290 \text{ l/m}^3</math> bedragen;</li> <li>- toeslagmateriaal moet een harde en dichte structuur bezitten en bestand zijn tegen chemische aantasting door de betreffende vloeistof. Het dient in dit opzicht ten minste gelijkwaardig te zijn aan Nederlands rivierzand en -grind;</li> <li>- de korrelverdeling moet liggen binnen de in onderstaande tabel aangegeven bandbreedte;</li> <li>- het gehalte aan fijn materiaal (deeltjes <math>\leq 0,250 \text{ mm}</math>) moet kleiner zijn dan <math>160 \text{ l/m}^3</math>;</li> <li>- het luchtgehalte van de verse, verdichte betonspecie (zonder gebruik van LBV) moet kleiner zijn dan 3 % V/V;</li> <li>- de verwerkbaarheid van de betonspecie moet ten minste overeenkomen met consistentiegebied 3, waarbij geen neiging tot ontmenging of waterafscheiding aanwezig mag zijn.</li> </ul> <p>Eisen gesteld aan de korrelverdeling (zeefrest in % m/m)</p>				
zeef (mm)	$D_{\max} = 31,5 \text{ mm}$		$D_{\max} = 16 \text{ mm}$	
	min.	max.	min.	max.
31,5	0	2	0	0
16	11	25	0	5
8	23	50	20	35
4	50	65	35	55
2	60	80	50	70
1	65	85	60	80
0,5	75	90	80	95
0,25	90	95	90	97
0,125	95	100	95	100
<p>De randvoorwaarden geven uitsluitend aan voor welke betonmengsels de 'bovengrens' karakteristiek mag worden toegepast. Door aanvullend onderzoek kunnen de betreffende randvoorwaarden zelfs worden uitgebreid.</p> <p>Worden er over de betonsamenstelling eisen gesteld zodanig dat de samenstelling buiten de randvoorwaarden valt, dan mag de 'bovengrens' vloeistofindringingskarakteristiek niet worden toegepast.</p>				

Uitdrukkelijk wordt vermeld dat het hierbij gaat om een aanvulling op de reeds van toepassing zijnde voorschriften voor 'in het werk gestort beton' of de van toepassing zijnde normen voor betonproducten. Voor betonsamenstellingen die niet aan de hier genoemde randvoorwaarden voldoen, kan de vloeistofindringingskarakteristiek door middel van beproeving met de capillaire absorptieproef door de betonleverancier of door de leverancier van betonproducten zelf worden bepaald.

### 3.2.4.3 *Waterindringing*

Bij de procescontrole van beton, bestemd voor vloeistofdichte constructies, wordt vaak nog gebruikgemaakt van NEN-EN 12390-8 "Beproeving van verhard beton – Deel 8 Indringdiepte van water onder druk" (2000). In deze norm is de methode voor de bepaling van de waterindringing in beton beschreven. De proef wordt uitgevoerd op kubussen met een riblengte van 150 mm na ten minste 28 dagen verharden. Op het te beproeven oppervlak wordt gedurende 72 uur een waterdruk aangebracht van  $500 \pm 50$  kPa (ongeveer 5 bar). De waterindringing wordt bepaald door het proefstuk te splijten en de indringing van het water op het breukvlak te meten.

## 3.2.5

### Colloïdaal beton

Colloïdaal beton bezit een grote samenhang, bedoeld voor verwerking onder of aan het water, zonder uitspoelen. Omdat de specifieke eigenschappen en beproevingsmethoden voor dit beton niet zijn opgenomen in NEN-EN 206-1 en NEN 8005, is CUR-Aanbeveling 18 "Colloïdaal beton" opgesteld, waarin aanvullende richtlijnen zijn opgenomen.

Colloïdale betonspecie kan onder bepaalde voorwaarden vrij door het water vallen zonder dat uitspoeling van cementpasta en fijne delen optreedt.

#### 3.2.5.1 *Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering*

Naast de gebruikelijke specificatie van de sterkteklasse (of andere mechanische eigenschappen) en milieuklasse(n), wordt doorgaans ook de maximaal toegestane uitspoeling vastgelegd. Deze uitspoeling wordt bepaald volgens de proef, vastgelegd in CUR-Aanbeveling 18 "Colloïdaal beton". Deze eis is afhankelijk van de eisen vanuit de verwerkingsomstandigheden: wordt de specie verwerkt in (snel) stromend water, is er golfaanval (bijv. door scheepvaart), is er sprake van een grote valhoogte onder water bij verwerking?

Gezien het specifieke vloeigedrag van deze specie is het gebruikelijk met een zetmaat van circa 200 mm te werken.

#### 3.2.5.2 *Selectie grondstoffen*

Voor de selectie van de grondstoffen gelden geen bijzondere aanvullende eisen. Gezien het toepassingsgebied van dit beton moet het gebruik van lichte en/of poreuze toeslagmaterialen worden vermeden.

Om de gewenste colloïdale eigenschappen van de betonspecie te verkrijgen, moeten speciale hulpstoffen worden toegevoegd. Het is gebruikelijk hiervoor specifiek voor dit doel ontwikkelde waterretentiemiddelen te gebruiken.

Deze werken als een soort behangplaksel: ze 'verdikken' als het ware het water waardoor de beweeglijkheid van de fijne deeltjes aanmerkelijk afneemt. Daardoor wordt de samenhang van een specie zodanig verbeterd dat ontmenging, ook in water, wordt tegengegaan.

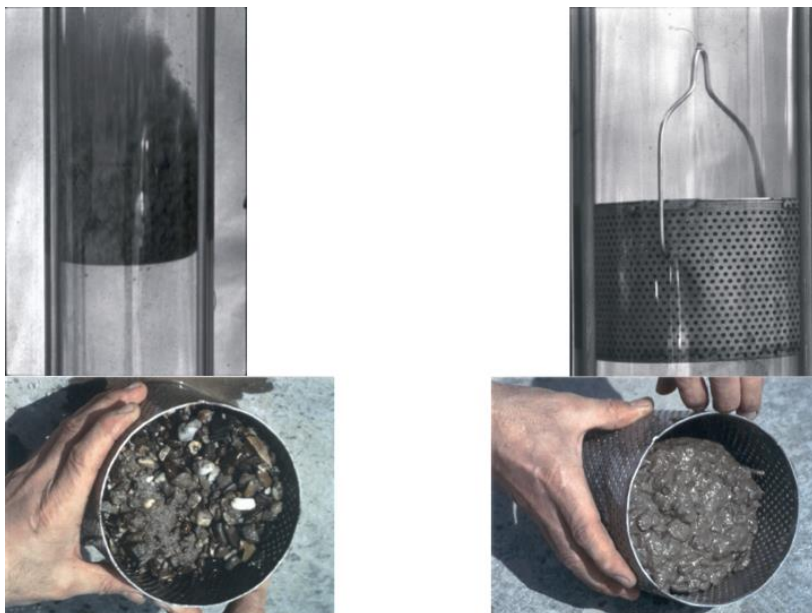
Het is mogelijk colloïdaal beton met een open structuur te maken door het weglaten van het grove gedeelte van het zand en het fijne deel van het grove toeslagmateriaal. Het waterretentiemiddel zorgt ervoor dat het mengsel van cementlijm en fijn zand niet uitzakt, maar aan de grove korrels blijft hangen.

### 3.2.5.3 Mengselontwerp

Het mengselontwerp verloopt op de gebruikelijke manier. Wel kan het gebruik van de speciale colloïdale hulpstoffen de waterbehoefte sterk verhogen. Hiermee moet bij het mengselontwerp rekening worden gehouden.



*Figuur 3.6 Storten colloïdaal beton.*



*Figuur 3.7 Tweemaal de uitspoelingsproef: links met normale betonspecie, rechts met colloïdaal beton.*

## 3.2.6

### Vezelbeton

Onder de noemer "vezelbeton" vallen in de praktijk vrijwel uitsluitend betonmengsels op basis van staalvezels en kunststofvezels (polypropyleen). Andere vezeltypen (aramide; glas, enz.) komen in de praktijk nauwelijks voor. Staalvezels worden toegepast om specifieke eigenschappen (zoals het scheurgedrag) van beton te verbeteren, waarbij

wapening constructief nog vrijwel altijd nodig is. De kunststofvezels worden met name toegepast om de betonspecie een verbeterde samenhang te geven waardoor het minder gevoelig wordt voor scheurvorming ten gevolge van plastische krimp.

In hoofdstuk 5.3 van de cursusbeschrijving BBT is uitgebreid ingegaan op de eigenschappen en toepassing van vezels in beton. Hieronder een beknopt overzicht.

### 3.2.6.1 Inventarisatie eisen uit projectspecificatie en uitvoering

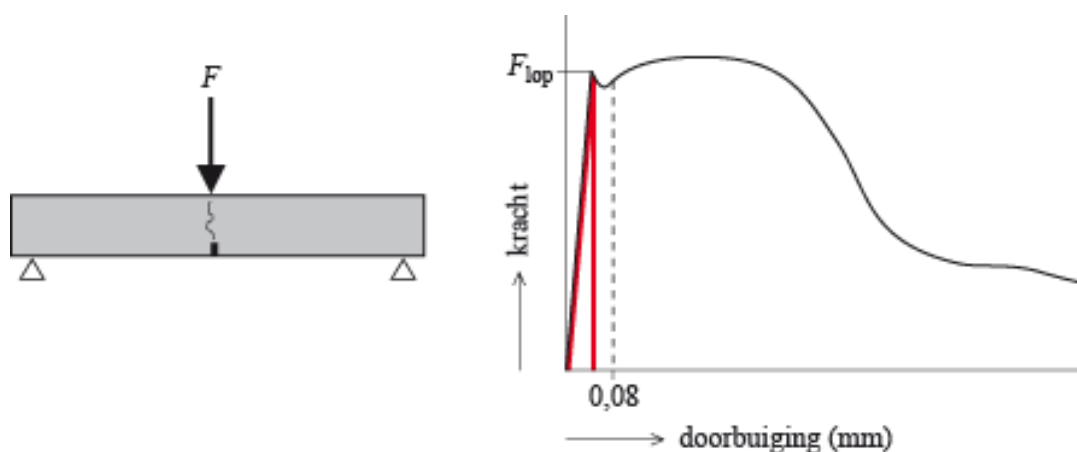
#### *Staalvezelbeton*

Staalvezels worden in beton toegepast enerzijds om de cementsteen te versterken (microniveau) en anderzijds als wapening (macroniveau). Het rekenen met staalvezels in beton vergt een totaal andere benadering dan het rekenen met gewoon gewapend beton.

De prestatie van staalvezels komt vooral tot uiting in de eigenschappen van het verharde beton:

- verbeterd nascheurgedrag/buigtaaiheid;
- verhoging scheurweerstand;
- betere scheurverdeling;
- verbeterde brandwerendheid;
- verbeterde stabiliteit.

Voor bepaalde toepassingen kunnen staalvezels zelfs de traditionele wapening geheel of gedeeltelijk vervangen. De ontwerper rekent bij staalvezelbeton met de zogenoemde buigtaaiheidswaarde waarmee het nascheurgedrag van het staalvezelbeton wordt gekarakteriseerd. Deze waarde kan in de projectspecificatie zijn opgenomen. De buigtreksterkte, de buigtaaiheid en de equivalente buigtreksterkte van staalvezelbeton worden gemeten volgens de in CUR-Aanbeveling 35 beschreven beproevingsmethode.



Figuur 3.8 Beproeven van staalvezelbeton.

#### *Beton met kunststofvezels*

In de nog plastische specie verbeteren kunststofvezels de samenhang van de specie. Hiermee kan betonspecie voor bijvoorbeeld in de grond gevormde palen een grotere stabiliteit verkrijgen. De verbeterde samenhang door deze vezels maakt betonspecie in de plastische fase minder gevoelig voor scheurvorming door plastische krimp.



Langs een heel ander mechanisme kunnen polypropyleenvezels de gevoeligheid voor afspatten verbeteren bij zeer hoge temperatuurbelastingen zoals brand. De snel wegs meltende vezeltjes creëren ontsnappingskanaaltjes voor de stoom die ontstaat uit het aanwezige vocht bij snel oplopende temperaturen in het beton.

De omschrijving van deze prestaties in de projectspecificatie is vaak niet eenduidig. Om de betoneigenschappen af te stemmen op specifieke prestaties is vrijwel altijd een geschiktheidsonderzoek noodzakelijk.

### 3.2.6.2 *Selectie grondstoffen*

#### *Staalvezels*

Staalvezels zijn in talloze varianten op de markt. De prestaties van de vezels lopen sterk uiteen en worden onder meer bepaald door de afmetingen (lengte, diameter), de vorm en de eigenschappen van de staalsoort waarvan ze gemaakt zijn. Hierdoor kan de benodigde dosering voor gelijke prestatie (in relatie tot de zogenoemde "buigtaaiheid") sterk verschillen.

#### *Kunststofvezels*

Zoals bij staalvezels worden ook bij de kunststofvezels diverse varianten aangeboden. Deze verschillen niet alleen in vorm en afmetingen, maar ook in het type kunststof.

Het meest worden polypropyleenvezels toegepast. Deze vezels hebben meestal een diameter tussen 0,018 en 0,032 mm en een lengte tussen 12 en 20 mm.

Polypropyleenvezels worden als losse vezels (monofilament) of in een netjesvorm (gefibrileerd) verwerkt. Afmetingen en vorm en mogelijke oppervlaktebewerking van de vezel zijn sterk medebepalend voor de prestatie.

### 3.2.6.3 *Mengselontwerp*

Voor zowel staalvezels als kunststofvezels geldt dat de prestatie van de vezel wordt bepaald door de eigenschappen (lengte, diameter, vorm, aanhechtingsgedrag), de hoeveelheid vezels per m<sup>3</sup> beton en een correcte aanpassing van de samenstelling van de betonspecie. Vezels hebben een relatief hoog specifiek oppervlak, waardoor de behoefte aan fijn materiaal, nodig om de vezels goed te omhullen, sterk toeneemt. Dit geldt voor alle vezels maar in het bijzonder voor de kunststofvezels.

Het is belangrijk dat de vezels goed homogeen in de betonspecie zijn verdeeld.

#### *Staalvezels*

De doseringsgrootte ligt meestal tussen 25 en 50 kg per m<sup>3</sup>; voor speciale toepassingen zijn veel hogere doseringen mogelijk. Bedenk dat de doseringsgrootte niet alleen afhankelijk is van de gewenste prestatie, maar meer nog van de eigenschappen van de vezel.

#### *Kunststofvezels*

De doseringsgrootte ligt in het algemeen tussen 600 en 2000 gram per m<sup>3</sup> beton. Ook hier kunnen de prestaties van verschillende vezels sterk uiteenlopen.

### 3.2.6.4 *Beoordeling van vezelbeton*

In de meeste gevallen zijn de gebruikelijke meetmethoden voor het bepalen van de consistentie niet erg geschikt om de verwerkbaarheid van vezelbeton te definiëren. De aanwezigheid van de vezels beïnvloedt de meting in sterke mate. Ervaring met de productie dit type betonspecie speelt een belangrijke rol.



In het kader van de procescontrole bij de vervaardiging van de specie wordt vaak de meting op het beton zonder vezels uitgevoerd. De op die wijze geconstateerde afwijkingen zullen ook zichtbaar / merkbaar optreden in het beton waaraan de vezels zijn toegevoegd. Een corrigerende maatregel waardoor het beton zonder vezels voldoet aan de verwachting zal er toe leiden dat ook het beton met vezels de gewenste eigenschappen heeft. Uiteraard kan dit pas als de relaties tussen het een en ander op basis van onderzoek goed zijn vastgelegd.

Ook de plaats waar de vezels aan de specie wordt toegevoegd (in de betoncentrale of in de truckmixer op het werk), is van belang. In de certificatieregelingen voor staalvezelbeton wordt daarom onderscheid gemaakt tussen “staalvezelbeton” en “beton met staalvezels”. Staalvezelbeton moet, naast de eisen aan beton met staalvezels, aantoonbaar voldoen aan eisen aan de buigtreksterkte, buigtaaiheid en de equivalente buigtreksterkte. Beton met staalvezels bevat de gevraagde hoeveelheid staalvezels en bij de productie daarvan wordt alleen de homogeniteit van de verdeling van de staalvezels in de betonspecie beoordeeld.

### **3.3 Bijzondere uitvoeringsmethoden (storten/aanbrengen/verwerken/afwerken)**

#### **3.3.1 Glijbekistingen**

Het principe van het verwerken van betonspecie met een glijbekisting, is eenvoudig. Men neme een bekisting van ongeveer 1,20 m hoog (let wel: de bekisting heeft géén bodem en is dus van onderen open!). Vul de bekisting in lagen met betonspecie in een zodanig tempo dat een continu proces ontstaat, waarbij de kist in kleine stapjes kan worden opgevijzeld. Aan de bovenzijde wordt in een continu proces betonspecie gestort, aan de onderzijde moet het beton zodanig zijn opgesteven/verhard dat het zijn vorm behoudt en de erop uitgeoefende belasting aankan.

Een heel simpel principe dat in uitvoering een behoorlijk vakspecialisme omvat. In de praktische uitvoering komt er vanzelfsprekend meer bij kijken: naast het storten en afwerken van de betonspecie moeten er meer werkzaamheden worden uitgevoerd. Bijvoorbeeld aanbrengen van wapening, sparingen, controle van maatvoering en bekisting enz.

Glijbekistingen zijn vooral interessant voor betonconstructies met een grotere hoogte. Een voordeel van werken met glijbekistingen is de mogelijkheid gedurende de uitvoering de afmetingen geleidelijk te wijzigen. Hierbij kunnen zowel de wanddikte, als bijvoorbeeld de diameter bij een schoorsteen of koeltoren continu worden gevarieerd. Het werken met een glijkist maakt hoge bouwsnelheden mogelijk. Snelheden tussen 2,5 en 4 meter per dag zijn gebruikelijk. In een continue proces van 7 dagen per week betekent dat tussen de 17 en 28 meter per week!

##### *3.3.1.1 Glijnsnelheid en opstijfgedrag*

De afstemming tussen de glijnsnelheid van de bekisting en het opstijfingsgedrag van de betonspecie is een kritische parameter en kan als volgt worden verduidelijkt.

De betonspecie wordt steeds laagsgewijs in de bekisting gestort, terwijl de bekisting langzaam naar boven schuift. Dat betekent dat een bepaalde laag na enige tijd onder uit de bekisting komt. De afstand tussen de "vers gestorte laag" en de onderzijde bekisting is circa 800 – 900 mm. Dit betekent dat de bekisting met een zodanige snelheid moet glijden, dat deze 800 á 900 millimeter worden overbrugd in dezelfde tijd als het beton nodig heeft om voldoende stijfheid op te bouwen.

Een getallenvoorbeeld: als *gerekend vanaf het moment van storten* het beton in 6 uur de benodigde stijfheid/sterkte opbouwt om aan de onderzijde gelost te kunnen worden, betekent dat ook dat de bekisting in die 6 uur 800 á 900 mm moet afleggen. Dit komt neer op een gemiddelde glijsnelheid van 130 á 150 mm per uur. Dit is gemiddeld circa 3,35 meter per etmaal.

### 3.3.1.2 *Ontwerpen van betonspecies voor glijbekistingen*

Feitelijk wijkt het ontwerpen van betonspecie voor gebruik in glijbekistingen nauwelijks af van het ontwerp van normaal beton. Er zijn wel enkele specifieke aandachtspunten. Zo moet de betonspecie, aanvullend op de "normale besteksbepalingen" ten aanzien van verwerkbaarheid, sterkte en duurzaamheid, voldoen aan de volgende eisen:

- Mengselopbouw: de betonspecie moet een goede samenhang hebben, stabiel zijn en niet te vet/plakkerig.
- De verwerkbaarheid/zetmaat moet binnen een zeer kleine bandbreedte liggen. De betonspecie moet zijn goede verwerkbaarheid behouden gedurende verwerken en verdichten.
- Het opstijvingsgedrag moet voorspelbaar, beheerst en gecontroleerd zijn.

In de praktijk verdient het de voorkeur vóóraf afspraken te maken over een reeks betonsamenstellingen met verschillende bindtijden. De "glijmeester" kan dan tijdens de uitvoering die specie afroepen die het best past bij de door hem gewenste glijsnelheid. De samenstellingen die kunnen worden gekoppeld aan deze bindtijden kunnen dan voor aanvang van het werk in een reeks geschiktheidsonderzoeken worden beoordeeld.

Tijdens de productie moet de betontechnoloog steeds alert zijn op mogelijke wijzigingen die de bindtijd zouden kunnen beïnvloeden. Denk daarbij aan verschillen tussen partijen en/of fabricaten van het cement of hulpstoffen, verandering van specietemperatuur, wijzigingen van water-cementfactor enz. enz.

Uiteraard heeft aanpassing van de samenstelling ook invloed op het uiterlijk (kleur) van het beton. Als het de bedoeling is dat het beton, nadat het uit de kist komt niet verder wordt afgewerkt of met ander materiaal bedekt, kan het aanpassen van de samenstelling zeer ongewenste effecten hebben op het uiterlijk van het beton.

## 3.3.2 Onderwaterbeton

Op tenminste één punt verschilt het werken met onderwaterbeton van de andere toepassingen van beton: door de verwerking van de betonspecie onder water is visuele controle heel moeilijk. Feitelijk wordt in troebel water een constructie gerealiseerd waaraan de nodige eisen worden gesteld. Het resultaat wordt pas zichtbaar op het moment dat de bouwput droogvalt. Ook de eventuele manco's komen dan letterlijk "boven water". Om verrassingen zoveel mogelijk uit te sluiten, moeten hoge eisen worden gesteld aan de uitvoering van het onder water storten van de betonspecie.

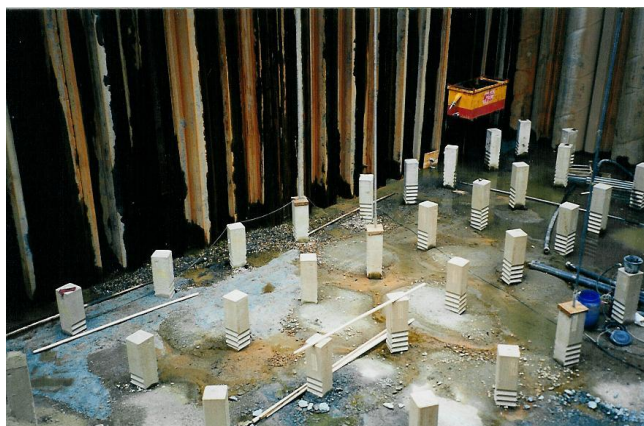
### 3.3.2.1 *Ontwerp*

De constructeur is verantwoordelijk voor het formuleren van de eisen ten aanzien van veiligheid, sterkte en duurzaamheid. Bij het ontwerpen van een onderwaterbetonvloer is dat niet anders. Bij het niet voldoen aan deze eisen zal het functioneren van de onderwaterbetonvloer gevaar lopen of kan zelfs sprake zijn van calamiteiten. Lekkage van de vloer mogen we hierbij aanmerken als een gebrek, terwijl bij bezwijken van de vloer onder de waterdruk van een calamiteit kan worden gesproken. Een ander belangrijk aspect van het ontwerp is de te accepteren variatie in dikte van de constructie

### 3.3.2.2 *Functies van de vloer*

Een onderwaterbetonvloer kan als 'werkvloer' dienen of deel uitmaken van de definitieve constructie. Gedurende het bouwproces heeft de vloer vooral een waterkerende functie. Als de functie van de onderwaterbetonvloer slechts tijdelijk is, dan is enige mate van lekkage niet onoverkomelijk. Enig lekwater kan gemakkelijk door pompen worden verwijderd. Voor een definitieve constructie is de waterdichtheid van de onderwater-betonvloer veel belangrijker.

In ieder geval vormt de onderwaterbetonvloer door zijn massa een tegenwicht tegen de waterdruk. Hoe dieper de betonvloer onder het grondwaterniveau ligt, des te groter is de opwaartse druk op de vloer.



*Figuur 3.9 Onderwaterbetonvloer met trekankers.*

Ofschoon het meestal om dikke vloeren gaat, is de massa vaak toch nog te gering om de opwaartse kracht van het grondwater volledig te weerstaan. Daarom wordt de vloer vaak verankerd aan trekelementen.

### 3.3.2.3 *Afmetingen*

Vaak hebben onderwaterbetonvloeren enorme afmetingen. Dit is natuurlijk een direct gevolg van de toepassing: parkeerkelders onder winkelcentra, bouwputten voor de toeritten van tunnels.

De benodigde hoeveelheid kubieke meters beton voor een gemiddelde onderwaterbetonvloer bedraagt al gauw zo'n 1.500 m<sup>3</sup>, met uitschieters naar wel 15.000 m<sup>3</sup>. In verband met de planning, fasering of de praktische uitvoerbaarheid worden vloeren vaak in compartimenten verdeeld. Niettemin zijn de afmetingen van dergelijke compartimenten niet gering. Vloeren met een lengte van 100 m<sup>1</sup> zijn niet uitzonderlijk.

De dikte van een ongewapende betonvloer wordt bepaald door een optimalisatie tussen ontwerp en uitvoering. De ontwerper houdt rekening met het verticale evenwicht, de horizontale krachten vanuit de bouwkuip, de sterkte van de vloer en de eventuele aanwezigheid van trekankers. Uit zijn berekening volgt een minimale dikte van de vloer. Deze minimale dikte moet worden vermeerderd met een zogenoemde tolerantie, omdat tengevolge van de uitvoering variaties in de dikte van de vloer kunnen ontstaan.

De variatie in de dikte aan de onderzijde van de vloer wordt bepaald door de bodemgesteldheid en de methode van ontgraven. Voor klei- en veengrond is die variatie  $\pm 0,25$  m en voor zandgrond  $\pm 0,15$  m. De variatie aan de bovenzijde van de vloer wordt bepaald door de toegepaste stortmethode. Vloeren met een dikte kleiner dan 0,8 m worden

in verband met de uitvoeringstoleranties vrijwel nooit toegepast. Meestal ligt de dikte van onderwaterbetonvloeren rond de 1,0 – 1,5 m.

Hiermee valt de ontwerper al direct met zijn neus in de betontechnologie. In beton met deze afmetingen kan de temperatuur door vrijkomende hydratatie warmte fors oplopen. Om scheuren door thermische krimp te vermijden is het soms noodzakelijk de vloeren te dilateren. Door een onbeheerste scheurvorming kan de waterkerende functie in het geding komen.

Dilataties worden gemaakt door vóór het storten van het onderwaterbeton op de bodem van de bouwkuip of in een wand zogenoemde scheurinleiders of krimpkokers (zie figuur 3.10) te plaatsen. Het voordeel van het aanbrengen van scheurinleiders is dat tegelijkertijd een injectiemogelijkheid kan worden ingestort.

Na het droogzetten van de bouwkuip worden de scheuren waterdicht geïnjecteerd.



*Figuur 3.10 Voorbeeld van een krimpkoker aangebracht in een wand.*

#### *3.3.2.4 Sterkte*

In afwijking van normale betonconstructies is de belasting op onderwaterbetonvloeren in de bouwfase vaak groter dan in de gebruiksfase. Als gevolg van het leegpompen van de bouwput geeft de maximale waterdruk de grootste belasting op de vloer. Als de constructie daarna verder wordt opgebouwd, wordt de vloer steeds minder belast. Dit betekent dat de gevraagde karakteristieke (kubus)druksterkte al aanwezig moet zijn in de constructie voordat begonnen wordt met het leegpompen van de bouwkuip.

#### *3.3.2.5 Duurzaamheid*

Meestal worden aan onderwaterbetonvloer geen bijzondere eisen gesteld voor wat betreft de duurzaamheid. Waterdichtheid van deze (veredelde werk)vloer is de belangrijkste eigenschap.

Duurzaamheid speelt alleen een rol als de onderwaterbetonvloer deel uitmaakt van de definitieve constructie. Vanuit de milieuklasse worden via de betonvoorschriften eisen gesteld aan de water-cementfactor en het minimum cementgehalte.

Is de onderwaterbetonvloer niet constructief, dus niet gewapend, en dit geldt tot nu toe voor de meeste onderwaterbetonvloeren, dan valt het beton voor de onderwaterbetonvloer in milieuklasse X0 (geen risico op corrosie of aantasting).

Dit betekent een maximaal toelaatbare water-cement/bindmiddelfactor van 0,70 en een minimaal vereist cement-/bindmiddelgehalte van 200 kg per m<sup>3</sup>.

Er is echter een tendens ook onderwaterbetonvloeren te wapenen, hetzij met traditionele wapening hetzij met staalvezel.

#### *3.3.2.6 Aanbrengen onderwaterbeton*

De keuze van de stortmethode ligt bij de aannemer. Gangbare methoden voor het aanbrengen van onderwaterbeton zijn de ventielmethode en de Hop-dobbermethode. Diverse varianten van deze stortmethoden zijn in de loop der tijd ontwikkeld en toegepast, terwijl het principe van de betreffende methoden ongewijzigd is gebleven.

Bij relatief kleine hoeveelheden, tot enkele honderden kubieke meters, kan colloïdaalbeton een financieel aantrekkelijke oplossing zijn. Bij grote hoeveelheden loont de investering in een speciale stortmethode meestal en zal een colloïdaal mengsel meestal niet economisch zijn vanwege de hogere materiaalprijs.

#### *3.3.2.7 Betonsamenstelling*

Bij het bepalen van de mengselsamenstelling moeten de eisen vanuit het ontwerp en de uitvoering worden gecombineerd. De constructeur stelt eisen ten aanzien van sterkte en duurzaamheid. De uitvoering heeft met name behoefte aan de juiste verwerkbaarheid en samenhang.

De betontechnoloog moet vaststellen met welke grondstoffen en met welke samenstelling hij de combinatie eisen kan realiseren.

Om voldoende inzicht in de eigenschappen van de onderwaterbeton(specie) te krijgen, zal vaak een geschiktheidsonderzoek moeten worden uitgevoerd. Bij reeds eerder toegepaste mengsels kan men terugvallen op eerdere onderzoeken, vermits deze niet ouder zijn dan een jaar.

#### *3.3.2.8 Verwerkbaarheid*

Er is een tendens onderwaterbeton steeds plastischer te verwerken. Was voor enkele jaren terug een zetmaat van gemiddeld 180 mm normaal, tegenwoordig wordt veelal een zetmaat van  $220 \pm 20$  mm gehanteerd bij aankomst op het werk.

Een dergelijke hoge verwerkbaarheid is om verschillende redenen noodzakelijk:

- voor een goede vulling van de damwandnissen en de omhulling van de trekelementen;
- om te kunnen voldoen aan de vlakheidseisen, waarvoor een voldoende horizontaal vloeigedrag noodzakelijk is;
- vanwege het onvermogen onderwaterbetonspecie te verdichten; de hoge vloeibaarheid moet de specie een zelfverdichtende werking verschaffen.



*Vlakke onderwaterbetonvloer*



*Onvlakke onderwaterbetonvloer*

*Figuur 3.11 Een hoge verwerkbaarheid is noodzakelijk voor het verkrijgen van een vlakke onderwaterbetonvloer.*

Een hoge verwerkbaarheid kan niet gerealiseerd worden zonder hulpstoffen.

De basisspecie wordt ontworpen in consistentieklasse S3 en met behulp van plastificerende hulpstoffen naar een verwerkbaarheid gebracht hoog in consistentieklasse S4 / F4.

Bij voorkeur worden normale plastificeers toegepast. De reden hierachter is dat men het liefst al een zo hoog mogelijke verwerkbaarheid haalt uit de blanco basisspecie zonder hulpstof. Hiermee wordt de kans op het teruglopen van de verwerkbaarheid, bijvoorbeeld als gevolg van verkeersopstoppingen, verkleind.

Om een te snelle terugloop van de verwerkbaarheid tegen te gaan wordt veelal aan de specie voor onderwaterbeton een vertrager toegevoegd.

Ook mogelijk te verwachten zettingen in de ondergrond kunnen zo door de vertraagde betonspecie worden opgevangen. Voor de terugloop van de verwerkbaarheid is het behoud van de gewenste zetmaat gedurende 1 uur na aankomst op het werk een redelijke eis.

De hoge verwerkbaarheid betekent tegelijkertijd dat te steile hellingen, bijvoorbeeld voor de inritten van tunnels, minder goed uitvoerbaar zijn. De maximaal realiseerbare helling is 1:10. Om het wegzakken van de betonspecie te voorkomen wordt op dergelijke hellingen geen grotere zetmaat toegepast dan 160 mm. Een dergelijk 'lage' zetmaat gaat echter ten koste van de zelfverdichtende werking van de betonspecie en de te realiseren vlakheid. (Bedenk dat onderwaterbeton niet kan worden verdicht.) Wil men toch steiler, dan zal men voor een andere uitvoeringstechniek moeten kiezen. Dit kan door bijvoorbeeld de gewenste helling trapsgewijs te realiseren.

#### *3.3.2.9 Samenhang*

Bij een hoge verwerkbaarheid is een goede samenhang een absolute voorwaarde.

Parameters die de samenhang in de betonspecie borgen, zijn de korrelverdeling in combinatie met hoeveelheid fijn materiaal. Fijn materiaal (< 0,250 mm) komt uit het cement en eventueel van een vulstof en fijn zand. Minimaal is een hoeveelheid van 150 liter fijn vereist.

Als aanvulling op de hoeveelheid fijn materiaal is de toepassing van poederkoolvliegias een voor de hand liggende optie. De meeste betoncentrales zijn tegenwoordig ingericht op een dosering van poederkoolvliegias. Vervanging van een gedeelte van het cement door poederkoolvliegias (k-waardeconcept) helpt ook om de warmteontwikkeling in het onderwaterbeton te beperken.



#### *3.3.2.10 Sterkte(ontwikkeling)*

Onder controleproefomstandigheden is de mengsamenstelling bepalend voor de sterkteontwikkeling. Bij de sterkteontwikkeling in het werk spelen nog andere factoren een rol, zoals de mate van verdichting en het temperatuursverloop in de constructie. Anders dan beton boven water is het inbrengen van verdichtingsenergie in onderwaterbeton niet mogelijk. De stortmethode, de eigenmassa en het vloeigedrag van de betonspecie bepalen de zelfverdichtende werking van onderwaterbetonspecie.

Meer bepalend voor de sterkteontwikkeling van onderwaterbeton is het temperatuurverloop in de vloer. Deze kan, zelfs onder water, nog flink oplopen. Bij vloeren met een vrij normale dikte kan de temperatuur in de vloer oplopen tot wel 50°C.

Een nadeel van deze betrekkelijk hoge temperatuur is het gevaar voor scheuren door krimp bij het weer afkoelen.

Een gevleugelde kreet van onze beroemdste voetballer aller tijden luidt echter: elk nadeel heb' z'n voordeel'. De hogere temperatuur in de constructie maakt ook dat de sterkteontwikkeling aanzienlijk sneller verloopt dan onder de controleproefomstandigheden. En dat is winst, want, zoals al eerder is gemeld is meestal niet de eindsterkte maatgevend. Na het aanbrengen van het onderwaterbeton wordt een rustperiode ingepland, waarna de bouwkuip wordt leeggepompt. Deze periode bedraagt meestal 7-8 dagen. Voor men met het leegpompen begint, wil men zekerheid hebben of de betonvloer sterk genoeg is om de opwaartse druk van het water te weerstaan. De constructeurs geven aan welke sterkte hiervoor nodig is. Veelal is deze sterkte gelijk aan de gevraagde C-waarde.

Een voorspelling van het temperatuurverloop moet door de technoloog worden meegenomen om een inschatting van de sterkteontwikkeling te maken.

Mocht de positieve hulp van de temperatuur niet voldoende zijn, dan kan hij de aanvangssterkte verder sturen met behulp van de cementkeuze (cementsoort of sterkteklasse cement) of water-cementfactor.

Om te kunnen beoordelen of het onderwaterbeton in de vloer voldoende sterkte heeft opgebouwd om de bouwkuip te kunnen leegpompen, worden metingen aan de vloer zelf uitgevoerd.

In het verleden was het gebruikelijk verhardingskubussen te vervaardigen en deze in de bouwkuip onder water op het beton te laten verharden. Dergelijke kubussen werden in een emmer en aan een touw naar beneden gelaten, zodat ze op het moment van beproeven eenvoudig weer naar boven konden worden gehaald. Deze methode is niet zo representatief, omdat het temperatuurverloop in de kubus sterk afwijkt van de temperatuur in de betonvloer. Tegenwoordig wordt vrijwel altijd gebruikgemaakt van de 'methode gewogen rijpheid' en worden voldoende thermokoppels in de vloer meegestort om de temperatuurontwikkeling te kunnen volgen.

#### *3.3.2.11 Ontwikkelingen*

Traditioneel wordt veel onderwaterbeton ongewapend toegepast. Echter er is een tendens dat de bouwputten dieper worden. Met het dieper worden van de bouwputten voldoet het ongewapende onderwaterbeton niet meer aan de eisen. Door de hogere waterdrukken en soms ook door de andere funderingssystemen, moet de vloer grotere belastingen en soms meer vervorming kunnen opnemen.

Met een gewapende vloer zou aan deze eisen kunnen worden voldaan, alleen bestaan er praktische bezwaren bij de toepassing van wapening:

- het aanbrengen van wapening onder water vraagt op zich al de nodige inspanningen.;
- indien aanwezig, is de vraag of de trekelementen altijd wel op de beoogde plaats zijn terecht gekomen;

- het daarna slibvrij maken en houden van de wapening is een kritische en moeilijke operatie;
- tijdens het storten is er weinig controle op het goed omhullen van de wapening.

Hierdoor zien we dat als alternatief voor traditionele wapening de toepassing van staalvezels in onderwaterbetonvloeren toeneemt.

### 3.3.3

#### Wegenbouwbeton

Bij de bouw van wegen (onze "infrastructuur") wordt beton in veel verschillende constructies toegepast: bruggen, viaducten, schampkanten, enzovoort. In deze paragraaf behandelen we onder de term "wegenbouwbeton" die toepassingen waar de weg zelf van beton wordt gemaakt.

##### *3.3.3.1 Verwerking met de slipformpaver*

Betonwegen worden machinaal aangelegd met een zogenoemde slipformpaver. Een slipformpaver is te vergelijken met een glijbekisting die langzaam, horizontaal vooruit beweegt. Hij rijdt op rupsen over een funderingslaag. Deze funderingslaag kan bestaan uit een verdicht zandbed, een ongebonden materiaal zoals granulaat of een gebonden materiaal zoals een asfaltlaag.

De slipformpaver verdeelt de betonspecie over de breedte van de weg, verdicht de specie en werkt het betonoppervlak af in de juiste vorm (juiste afschot) en op de juiste hoogte. Een slipformpaver is in staat zeer veel energie te leveren voor de verdichting. Dit is ook wel nodig gezien het droge, aardvochtige karakter van de betonspecie. De verdichting heeft plaats met hoogfrequente hydraulische of elektrische trilnaalden. Achter de machine blijft de betonspecie, zonder bekisting, vormvast staan. Een erg goed voorbeeld van beton(specie) met een goede groene sterkte!



*Figuur 3.12 Slipformpaver.*

De droge, aardvochtige betonspecie wordt vaak niet getransporteerd met een betonmixer, maar met een kiepwagen.. Bij ongewapende betonwegen kan de betonspecie direct vanaf de wagen voor de slipformpaver worden gestort.



Bij doorgaand-gewapende betonwegen is dit niet mogelijk door de aanwezige wapening en wordt de betonspecie gestort in een container en vandaar door een graafmachine vlak voor de rijdende slipformpaver gestort.

### 3.3.3.2 *Eisen aan de samenstelling*

De verwerking van de betonspecie met de slipformpaver stelt heel specifieke eisen aan de betonsamenstelling en de verwerkbaarheid. De praktijk leert bovendien dat niet elke slipformpaver hetzelfde betonmengsel kan verwerken. Daardoor zijn mengsels niet van de ene naar de andere toepassing te kopiëren. Niet alleen de eigenschappen van de slipformpaver, ook de ondergrond en de omgeving kunnen in belangrijke mate bij het opstarten van een werk is dan ook absoluut noodzakelijk. We beperken ons hier tot een aantal algemene aanwijzingen.

Een betonweg wordt gemaakt met droog dan wel aardvochtig beton. Na de slipformpaver zal de betonbaan op eigen kracht, vormvast moeten blijven staan. Dit noemen we groene sterkte. De verwerkbaarheid van de betonspecie zal liggen in de consistentieklasse C1 met een verdichtingsmaat van 1,20 tot 1,40.

In het algemeen vergt groene sterkte een goede korrelopbouw van het toeslagmateriaal en een laag watergehalte. Bij een teveel aan water zal het beton gaan vloeien en de groene sterkte worden doorbroken. Vergelijk dit met het maken van zandkastelen op het strand. Met droog zand kunnen we niet bouwen en met teveel water valt het zand weer uit elkaar.

Als we teveel water toevoegen aan de specie zal er niet voldoende groene sterkte zijn voor de vormvastheid. Tegelijk is voor een gladde afwerking van de toplaag en mogelijk het aanbrengen van een "bezemstreek" voldoende pasta aan het oppervlak nodig. Daarom moet de specie ook voldoende fijn materiaal (< 0,25 mm) bevatten. Gangbare waarden liggen rond de 160 l fijn materiaal per m<sup>3</sup>.

Al met al betekent dit dat wegenbouw beton vraagt om een relatief hoog pastagehalte en een maximaal watergehalte zonder dat de groene sterkte verloren gaat. Mocht dit in de praktijk echter wel gebeuren, dan zullen de zijanten van de betonbaan kunnen gaan uitbuiken.

### 3.3.4 Beton voor monoliet afgewerkte vloeren

De toepassing van betonspecie in monoliet af te werken vloeren stelt een aantal bijzondere eisen aan de betonspecie-eigenschappen en de uitvoering. Niet voor niets is voor dit toepassingsgebied een aparte norm van kracht: NEN 2743: 'In het werk vervaardigde vloeren - Kwaliteit en uitvoering van monolithisch afgewerkte betonvloeren en -verhardingen'.

#### *Randvoorwaarden betonsamenstelling*

In de eerste plaats moet beton voor vloeren natuurlijk voldoen aan de eisen in NEN-EN 206-1 in samenhang met NEN 8005.

De aanbevelingen vanuit NEN 2743:

- een verwerkbaarheid overeenkomend met schudmaat: 450 mm tot 600 mm;
- beperken van de krimp door een optimale keuze van soort en hoeveelheid bindmiddel, alsmede de water-bindmiddelfactor (bij voorkeur zo weinig mogelijk cement en een lage wcf);

- de keuze van de cementsoort mede afstemmen op het gewenste tijdstip van afwerken en het beheersen van temperatuurspanningen door hydratatie van het cement (bindmiddel);
- beperken van 'bleeding' door een goede korrelopbouw en een gehalte fijn materiaal  $< 0,250$  mm van ten minste 140 liter per  $m^3$ ;
- de adhesie van een mengsel mag niet te groot worden, omdat het beton dan niet goed kan worden geschuurd zonder dat er onvolkomenheden in het oppervlak ontstaan;
- de toe te passen sterkteklasse minimaal C20/25 en het bindmiddelgehalte ten minste 320 kg per  $m^3$ .

Men heeft vastgesteld dat een verhoogd luchtgehalte kan leiden tot losliggende toplagen van het verharde beton (zie 3.3.4.4) Om die reden wordt bij voorkeur geen luchtbelvormer toegepast maar een specie met voldoende lage wcf ( $< 0,45$ ) toegepast.



*Figuur 3.13 Vlindermachine*

#### *3.3.4.1 Aandachtspunten met betrekking tot de specie-eigenschappen*

De aanleg van monoliet afgewerkte vloeren is een kritisch proces, waarbij relatief kleine verschillen in de specie-eigenschappen al storend kunnen zijn bij de uitvoering of zelfs tot schade kunnen leiden. Belangrijke eigenschappen zijn een constant opstijfgedrag en voldoende stabiliteit van de specie.

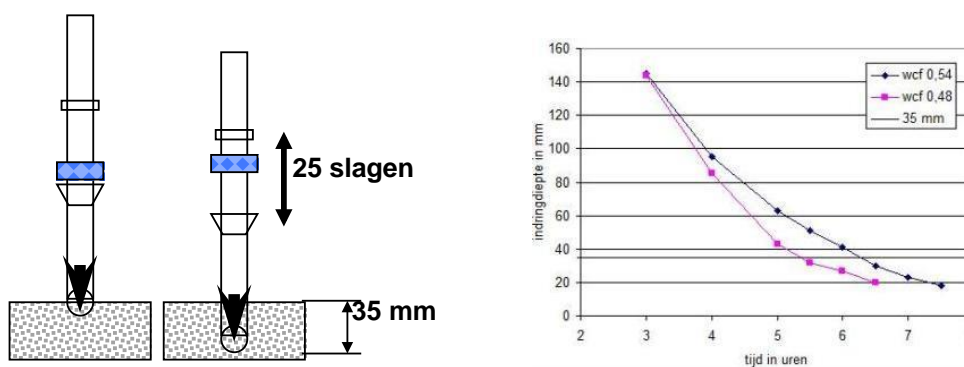
##### *Speciestabiliteit*

De specie moet stabiel zijn tijdens transport en verdichting. Gevoeligheid voor ontmenging bij enige 'over'verdichting moet worden vermeden.

##### *Opstijfgedrag*

Verder moet het opstijvingsgedrag van de specie bekend zijn. Dit wordt naast temperatuur en water-cementfactor voor een belangrijk gedeelte bepaald door de cementsoort. Het verschil in beginbinding van CEM II/B-V 42,5 N of CEM III/B 42,5 N kan aanzienlijk zijn. In overleg met het vloerenbedrijf kan bijvoorbeeld besloten worden een mengsel van hoogovencement en portlandcement toe te passen. Zoals reeds opgemerkt, is het van groot belang dat de betonspecie met een constante zetmaat wordt geproduceerd. Grote wisselingen in consistentie (dus water-cementfactor) veroorzaken een verschillend

opstijfgedrag van het verhardende beton. Dit leidt tot grote problemen bij het afwerken, waar met name het tijdstip waarop de bewerkingen beginnen, zeer kritisch ligt. Storten en verdichten is een continu proces dat niet onderbroken mag worden. Bij de planning van het transport moet hiermee terdege rekening worden gehouden. Het opstijfgedrag kan zowel aan de geleverde betonspecie (bijvoorbeeld in een bouwkuip) als op de vloer in het werk worden bepaald. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de Humm-sonde.



Figuur 3.14 Afbeeldingen Humm-sonde en grafische weergave metingen.

#### Gebruiksaanwijzing Humm-sonde

Stel proefondervindelijk vast wat de indringdiepte is nadat met het valgewicht van de sonde 25 slagen op het betonspecieoppervlak zijn uitgevoerd. Voer de eerste metingen aan de vloer uit op het moment dat het betonoppervlak gereed lijkt te zijn voor monolietafwerking.

Ga hierbij als volgt te werk:

- houdt het gekartelde bovendek van de Humm-sonde tussen duim en wijsvinger, zó, dat de sonde loodrecht naar beneden wijst; plaats de punt van de Humm-sonde op het oppervlak van de af te werken betonvloer;
- hef het valgewicht van de sonde op tot tegen de aanslag en laat het gewicht 'vrij vallen'; bepaal de totale indringing (in mm) van de Humm-sonde na 25 van deze sondeslagen;

Voor elk meettijdstip dient deze indringing 3 maal op (ongeveer) dezelfde locatie te worden bepaald; de mediaan van deze 3 metingen geldt als meetresultaat. Wanneer de indringing van de sonde ongeveer 35 mm bedraagt, kan het monoliet afwerken starten.

N.B.: indien tijdens een meting wordt vastgesteld, of de indruk ontstaat, dat de punt van de sonde boven op een obstakel (bijvoorbeeld een grindbiggel, wapening) staat, dan moet deze meting worden overgedaan.

#### Nabehandeling

Een vloer wordt gekenmerkt door een bijzonder groot oppervlak ten opzichte van de inhoud. Dat maakt de vloer zo kwetsbaar tijdens de uitvoering en gedurende de eerste dagen na de aanleg. Beton moet voldoen aan de te stellen eisen voor de sterkteklasse en milieuklasse.

#### Staalvezels

Bij veel monolithisch afgewerkte vloeren worden staalvezels toegepast. Deze toepassingen beperken zich vooral tot vloeren die direct op de ondergrond worden aangebracht (vloeren "op staal"). Afhankelijk van de dosering van de vezels wordt de buigtreksterkte (feitelijk de

"nascheursterkte") van de vloerconstructie verhoogd.

Om een goede menging van de staalvezels in de betonspecie te verkrijgen is het noodzakelijk een voldoende hoog consistentiegebied te kiezen. Het mengen kan zowel in een centrale menger bij de betoncentrale als in de truckmixer op het werk gebeuren. Het spreekt voor zich dat bij toevoegen en doormengen van staalvezels op de bouwplaats, goede afspraken en een adequate controle absoluut noodzakelijk zijn om problemen (onjuiste dosering, niet homogeen verdeelde vezels) te voorkomen.

#### 3.3.4.2 *Lichte bestanddelen in toeslagmateriaal*

Een bijzonder aspect bij de samenstelling van beton voor monolithisch afgewerkte vloeren, is de eventuele verontreiniging van toeslagmateriaal met lichte bestanddelen zoals oerhout. Deze zware houtdeeltjes en versteend hout uit het toeslagmateriaal (meestal grind) manifesteren zich na verloop van tijd aan het oppervlak. Zelfs hoeveelheden die ver beneden de toegestane verontreiniging liggen, kunnen tot onaanvaardbare hoeveelheden putjes in het oppervlak leiden. Het grind voor dit soort vloeren moet uiterst secuur visueel worden gecontroleerd. Ook kan het toepassen van de gebruikelijke toegestane dosering van BSA-granulaten (tot 20%) bij dit soort vloeren tot oppervlakteproblemen leiden.

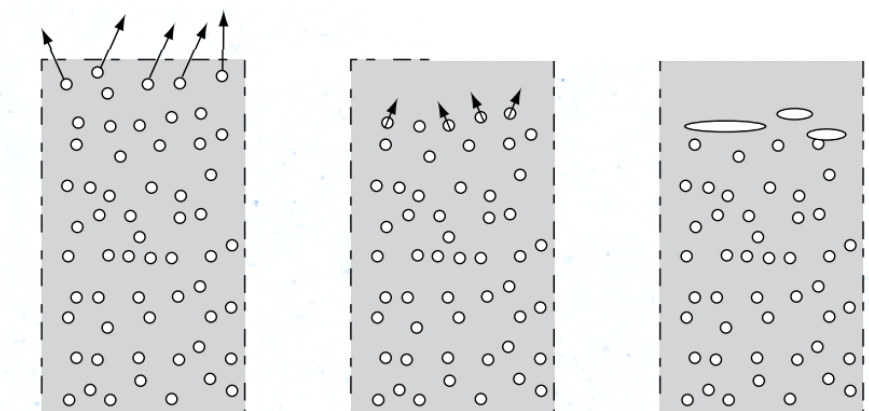
#### 3.3.4.3 *Losliggende toplaag*

De toepassing van beton in monoliet afgewerkte vloeren is een relatief groot afzetgebied voor betonmortelbedrijven. Gezien het belang van deze toepassing wordt in deze paragraaf aandacht geschonken aan een van tijd tot tijd voorkomende schade: de losliggende, of wellicht beter, de loslatende toplaag.

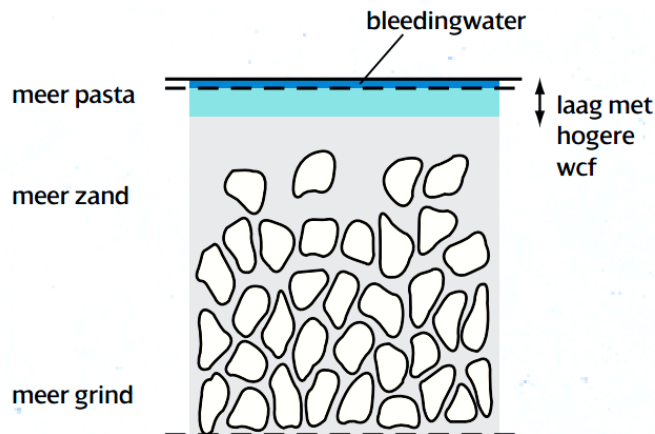
Voor het loslaten van de toplaag zijn veel oorzaken mogelijk. Het is heel vaak moeilijk schade in een bepaalde situatie duidelijk aan een oorzaak te koppelen.

Veelgenoemde oorzaken voor deze schade:

- betonspecie met een verhoogd luchtgehalte;
- onvoldoende stabiele betonspecie;
- te vroeg opstijven van de toplaag;
- invloed van de afwerking.



Figuur 3.15 *Luchtblazen onder de toplaag.*



Figuur 3.16 Zwakke (ontmengde) laag onder toplaag door instabiele betonspecie.

### 3.3.5

#### Spuitbeton

Spuitbeton is betonspecie die met perslucht op een ondergrond wordt gespoten en daarbij gelijk wordt verdicht. Traditioneel wordt beton eerst gemengd, vervolgens getransporteerd, in een bekisting gestort, verdicht en afgewerkt. Bij spuitbeton heeft het mengen, transporteren, aanbrengen en verdichten in één keer plaats. Hier is geen bijzonder mengsel voor nodig, zodat de betonsamenstelling bij spuitbeton kan voldoen aan de normale betonvoorschriften. Het spuiten van beton is echter wel degelijk anders dan het storten van beton. Spuitbeton heeft het grote voordeel dat een bekisting niet nodig is.

Het aanbrengen van spuitbeton kan met twee methoden gebeuren: de droge en de natte methode. Bij de droge methode wordt de droge mortel door middel van lucht door een slang getransporteerd en wordt pas bij de spuitmond water toegevoegd.

Bij de natte methode wordt het water al voor het transport door de specie gemengd. Vervolgens wordt de specie door een slang gepompt. Bij de spuitmond wordt lucht toegevoegd om het beton te verspuiten op de ondergrond.

Tabel 3.6 Spuitbeton: kenmerkende eigenschappen bij de droge en de natte methode.

	droge methode	natte methode
toepassing	constructieve reparaties grote reparaties	plaatselijke reparaties esthetische toepassingen indien weinig overlast gewenst is
water-cementfactor	0,25 – 0,45	0,35 – 0,55 (soms plus plast.)
krimpeffecten	minder gevoelig door lage wcf	gevoeliger gemiddeld wat hogere wcf
constructieve reparaties	zeer geschikt	minder geschikt
laagdikte	dikkere lagen mogelijk	dunne lagen (20 – 30 mm)
rebound (terugslag)	20 - 50%	10 – 20%
stofvorming	meer	minder

